

17733/*Ab. 50.*

A MÉRNÖKI TOVÁBBKÉPZŐ INTÉZET KIADVÁNYAI

M. 50. FÜZET

OLTAY KÁROLY

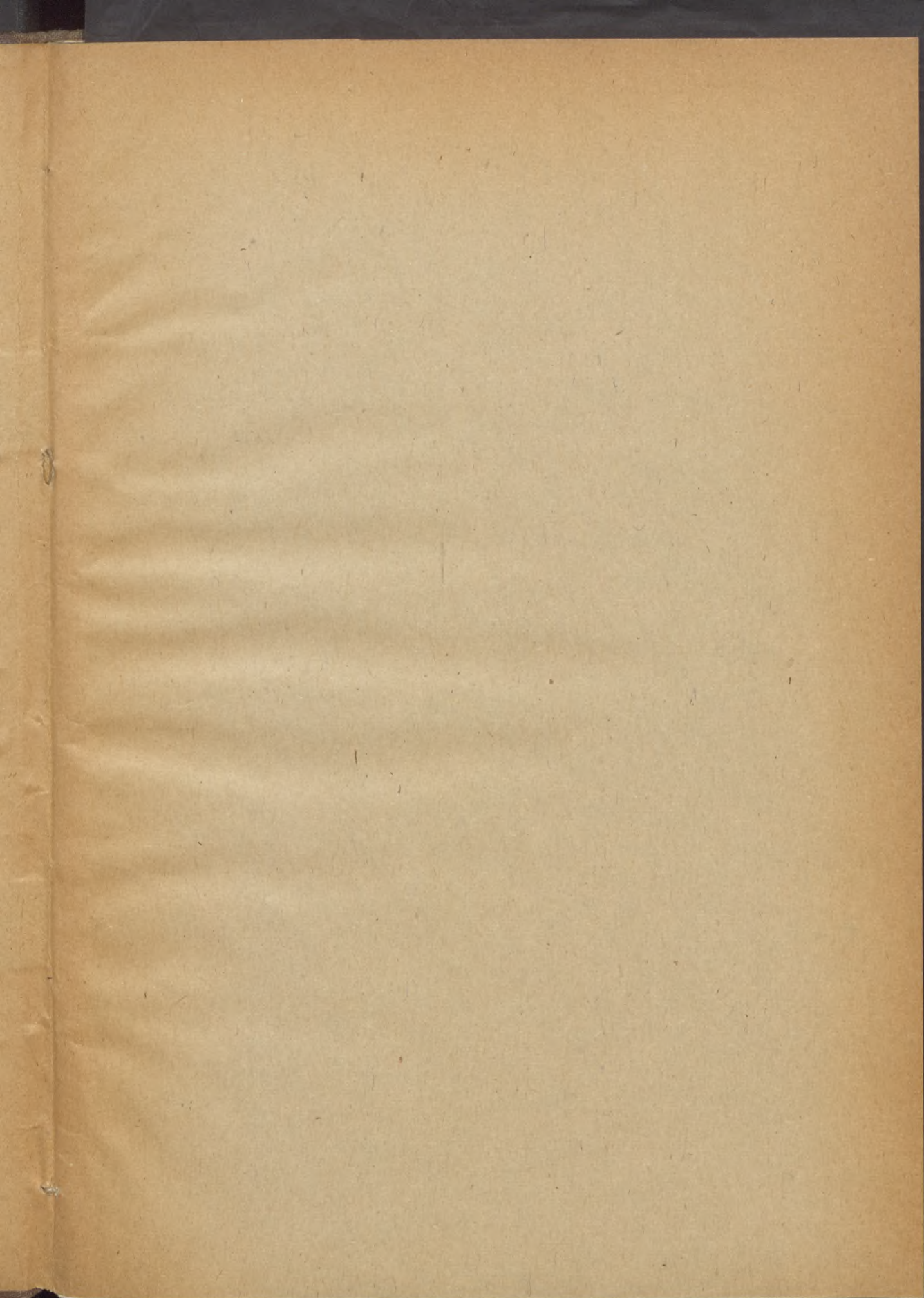
RELATÍV GRAVITÁCIÓ-MÉRÉS INVARIÁBILIS INGÁKKAL

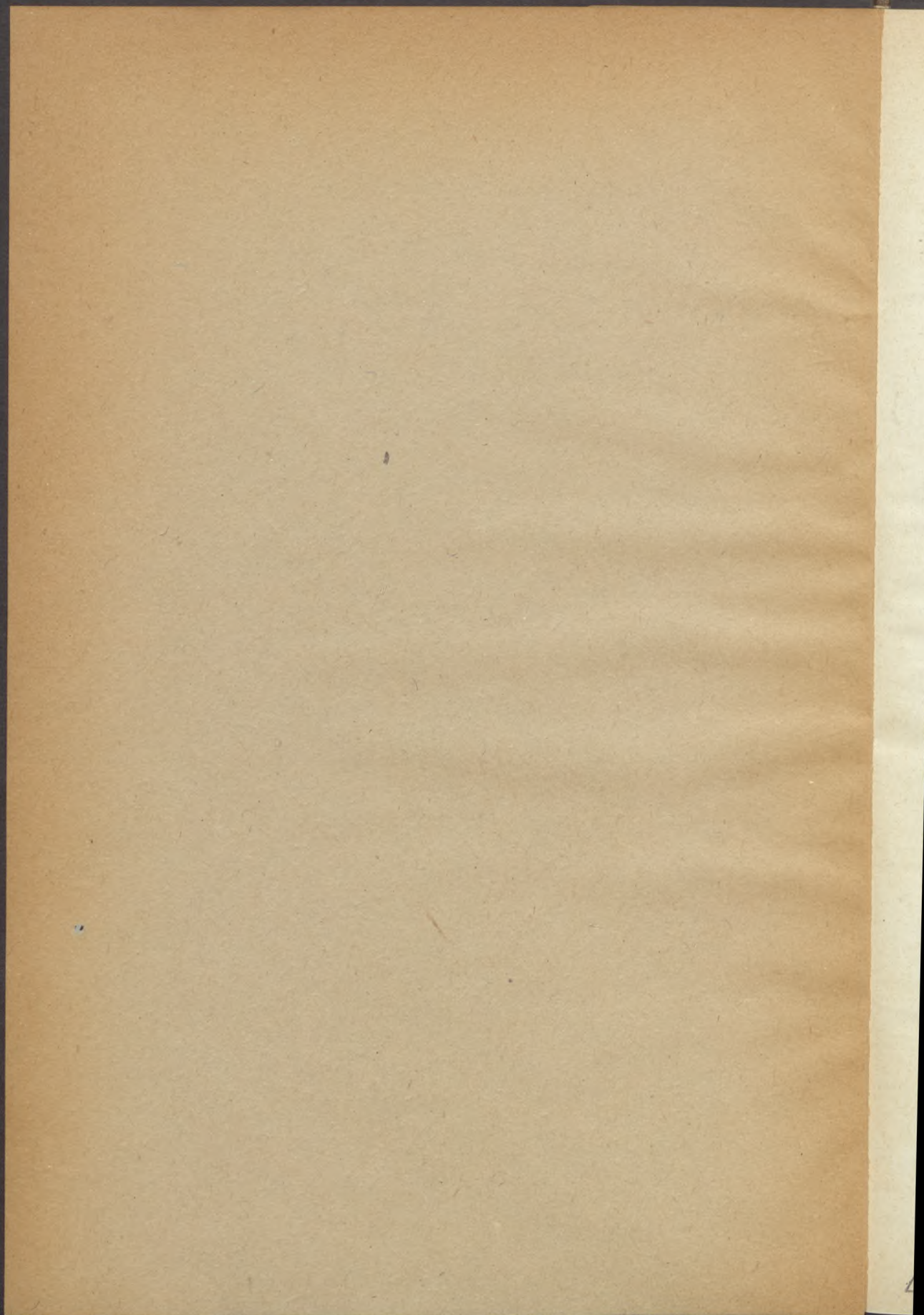
A MÉRNÖKI TOVÁBBKÉPZŐ INTÉZET
1943. ÉVI TANFOLYAMAINAK ANYAGA

=====
M. 50. FÜZET
=====

BUDAPEST, 1944

KIRÁLYI MAGYAR EGYETEMI NYOMDA





Oltay Károly:

Relatív gravitáció-mérés invariábilis ingákkal.

BEVEZETÉS.

A nehézségi erő és annak gyorsulása a geodéziában nemcsak a felsőrendű szintezésekben jelentős, de fontos szerepet játszik a felső geodéziában a Föld alakjának meghatározása szempontjából, továbbá a geofizikában a Föld belsejében lévő tömegeloszlás megállapítására nyújt értékes adatokat. Ugyanis a nehézségi erő nem állandó, a különböző helyeken és magasságokban különböző. Ugyanazon magasságban (niveau felületen) bekövetkező változása összefüggésben van a Föld alakjával, továbbá a Föld és pedig különösen a külső kéreg tömegének eloszlásával. Kis mértékben ugyanazon a helyen sem állandó, tehát értéke az időtől is függ. A földi nehézséggyorsulást nagyon sok tényező befolyásolja s ezért értékeinek interpretálásakor mindig tekintettel kell lenni arra, hogy a *nehézségi erő* *rezultáns erő*.

A nehézségi erőnek kétségtől van szabályos változása, amely empirikus úton levezethető, *interpolatorikus* képletbe önthető.

A képlet formája a következő:

$$g = g_0 (1 + \alpha \sin^2 \varphi - \beta \sin^2 2\varphi) + \gamma m$$

ahol g_0 , α , β , γ jelentik az empirikus úton meghatározandó együtthatókat,¹ φ a földrajzi szélességet és m a tengerszín feletti magasságot.

Ez az ú. n. *Helmert-féle* képlet s ez szolgáltatja a nehézséggyorsulás ú. n. *szabályos* értékét.

Hangsúlyozom, hogy a képlet interpolatorikus, vagyis a szabályos értéket annál jobban adja meg, minél nagyobb számú és a föld területén minél egyenletesebben elosztva végzett abszolút nehézségmérések alapján állapítjuk meg az együtthatók értékeit.

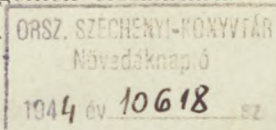
Az eddig végzett nehézséggyorsulás mérések alapján már is megállapítható, hogy a g változásai ugyanazon szinten nem nagyok, továbbá, hogy a szabályos értékről való eltérései főleg a *külső* földkéreg tömegeloszlásának egyenlőtlenségeire vezethetők vissza.

Ez az utóbbi tapasztalat gyakorlati szempontokból nagyon fontos, mert ez teszi lehetővé azt, hogy a tényleg mért g értékek eltéréseiből következtetést vonhassunk a külső kéreg tömegének eloszlására.

Oltay: Relatív gravitáció-mérés invariábilis ingákkal.



17.733/M.50



1



1. A nehézséggyorsulás mérése ingák segítségével.

Az inga lengésideje függ a nehézséggyorsulástól, minél nagyobb az, annál gyorsabban leng az inga.

A matematikai ingáról (1. ábra) tudjuk, hogy lengésideje

$$t = \pi \sqrt{\frac{h}{g}} \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2 \frac{a}{2} + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \sin^4 \frac{a}{2} + \dots \right\}$$

ahol h az inga hossza,

a a lengő inga amplitúdója.

A fizikai inga lengésidejét az előbbi képletből kaphatjuk, ha h helyébe az alábbi kifejezést írjuk:

$$h = \frac{J}{ms}$$

1. ábra.
A matematikai inga.

ahol J az ingatest tehetetlenségi nyomatéka a forgás tengelyére nézve, m az inga tömege, s pedig a súlypont távolsága a forgástengelytől.

A képletek világosan mutatják, hogy az inga lengésideje függvénye a nehézséggyorsulásnak és fordítva.

Ha tehát mi egy adott fizikai ingára megállapíthatjuk a J , m , s és a értékek, továbbá a t lengésidet, akkor ezekből számítható a nehézségi erő abszolút értéke.

Az ilyen méréseket nevezzük *abszolút ingaméréseknek*.

Gyakorlatilag az abszolút ingaméréseket a fizikai inga ama fajtájával végzik, amelyet *reverziós ingának* neveznek.

A reverziós ingán (2. ábra) két lengő él találunk. Ezek d távolsága Huygens (1657) megállapítása szerint szabályozható úgy, hogy a lengéside mind a két élen ugyan az a T legyen.

Ez esetben

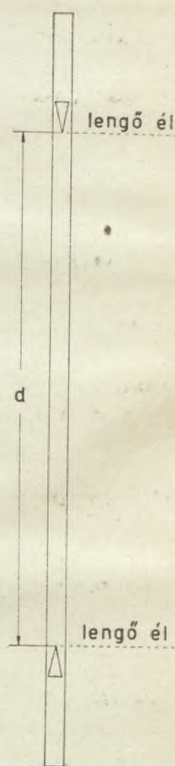
$$T = \pi \sqrt{\frac{d}{g}}$$

Tehát két mennyiséget kell mérni, a T lengésidet és az élek távolságát d -t.

Ezek mérése, tekintettel az elérendő nagy pontosságra, igen körülményes, különösen az éltávolságok nagyon szabatos megmérése okoz sok nehézséget s kíván egészen különleges komparáló berendezést.

Ezért ilyen *abszolút* méréseket csak egyes, különleges felszerelésű laboratóriumokban szoktak végezni.

A többi pontokon pedig, az abszolút mérés helyéről kiindulva, az egyszerűbben végezhető *relatív* mérésekkel



2. ábra.
A reverziós inga vázlatja.

¹ Helmert szerint az 1912-ig végzett nehézségmérések alapján

$$\begin{aligned} g_0 &= 978.052 \\ \alpha &= 0.005285 \\ \beta &= 0.000007 \end{aligned}$$

A negyedik együttható értéke pedig

$$\gamma = 0.0003086$$

határozzuk meg a nehézséggyorsulás értékek *különbségeit* s ezek révén aztán az abszolút értékeket.

Ezidőszerint a legrészletesebb és legrészletesebb abszolút méréseket Potsdamban a *Geodätisches Institut*-ban végezték s az itt meghatározott érték szolgál kiindulásul a relatív meghatározásokban (potsdami rendszer).

2. Relatív mérések invariábilis ingákkal.

Változatlan hosszúságú ingákkal, csupán lengésideő megfigyelések útján, a nehézséggyorsulás értékek *különbségeit* lehet megállapítani. Előre bocsátom, hogy a relatív meghatározások — kellően, gondosan végzett méréseket feltéve — szabatosabbak, mint az abszolút meghatározások s ezért, ha a mérésbe olyan helyet is bekapcsolunk, ahol abszolút mérés történt, úgy a relatív mérésekkel levezetett értékek ugyanolyan pontosak, mint a kiindulásul szolgáló abszolút meghatározásból eredő érték.

a) Az ingák.

A relatív ingamérésben használt ingák sárgarézből, bronzból vagy invaracélból készülnek.

Alakjukat a 3. és a 4. ábra mutatja.

Ez a jól bevált alak még *Sterneck*-től származik.

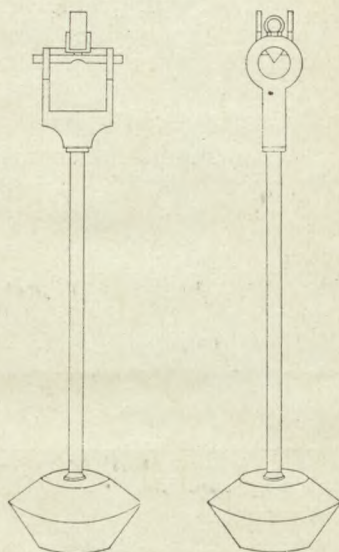
Nagyon fontos, hogy az él és a súlypont közti távolság meg ne változzon s ezért először is a kopásnak a lehetőségig való csökkentésére a lengő élet nagyon kemény anyagon (achát testen) kell kiképezni, másodszor pedig az achát testet mereven kell kapcsolni az ingaszár felső részével. Ezt azért kell hangsúlyoznom, mert a *Sterneck*-ingákon az achát testet a foglalatában *papiros* betétekkel merevítették. A papiros azonban nedvességszívó s így tágulhat és összehúzódhat, ami az achát testet s vele az élet is elmozdítja.

Ez volt az egyik oka annak, hogy *Sterneck* ingái nem voltak elegendő módon invariábilisak.

Az inga hosszára nézve legcélszerűbbnek bizonyult a 0.5 mp lengésidejű hosszúság (mintegy 25 cm). Ezért a relatív mérésben használt ingák ú. n. *fél mp*-es ingák.

Kísérleteztek rövidebbel is, t. i. olyanokkal, amelyeknek lengésidejük 0.25 mp , de ezek nem bizonyultak elegendő pontosaknak, mert kis tömegük miatt a gyakorlati alkalmazáskor elkerülhetetlen megrázkódtatások hatását nem tudták leküzdeni s ezért lengésidejüket csak kisebb pontossággal lehetett megállapítani.

Az ingákon felül, üvegre készített tükröket találunk. Itt is nagy gondot kell fordítani arra, hogy a tükrök mereven, lötyögés nélkül legyenek az ingaszár felső részére erősítve.



3. ábra.
A *Sterneck*-
inga nézete.

4. ábra.
A *Sterneck*-
inga nézete.

Az inga anyagának megválasztásakor a fő szempont az, hogy az anyagnak lehetőleg ne legyenek molekuláris változásai, továbbá, hogy tágulási együtthatója lehetőleg kicsi legyen. Az első szempontból az invar anyag — a nikkel-acél ötvözet — nem előnyös, ennél gyakran tapasztalhatunk ugrásszerű hosszváltozásokat, amik a belső feszültségek hirtelen kioldódásából származnak.

Az ingákat elkészülésük után gondosan temperálni kell, hogy az anyagban levő feszültségeket kioldjuk. A temperálás főként termikus kezelésből áll, de jó, ha mechanikus úton rázásnak is kitésszük. Mérésre csak akkor lehet őket használni, ha elegendő módon állandóknak bizonyulnak.

A hosszak a molekuláris változásokra bekövetkező esetleges megváltozásának megállapítása céljából mindig legalább *két* ingát kell alkalmazni, de még sokkal jobb, ha négyet használunk. Ebben az esetben t. i. az ingák lengésidejének *relatív* megváltozásai elárulják a nagyobb hosszváltozásokat, tehát módot nyújtanak a hosszváltozások megállapítására.

Ilyen módon az invariábilis feltételének kielégített voltáról meggyőződést szerezhetünk.

Méréseimben eleinte 4, később 8 darab sárgaréz inga állott rendelkezésemre. Ezek közül eleinte a 112, 113, 114 és 115-öt használtuk. Ezek adatai a következők:

1. Táblázat. Az ingák adatai.

Az inga	115	113	112	114
súly grammban	1269	1249	1285	1256
súlypont távolsága	210,0	208,0	210,0	208,3
fajsúly	7,88	7,88	7,88	7,88

b) Az ingák lengetése. *Ingastatív*.

A mérésben használt ingák lengetése az *ingastatív*on (5. ábra) történik.

Ez a négy inga esetén a következő szerkezetű:

Alul egy vastag fenéklemezt találunk, mely felül síkra van csiszolva és kiálló részein három talpesavarral van felszerelve.

Ebből felnyúlik egy hengeres oszlop, erre van erősítve az a lemez, melynek felül síkra csiszolt achát lapjain az ingák lengenek.

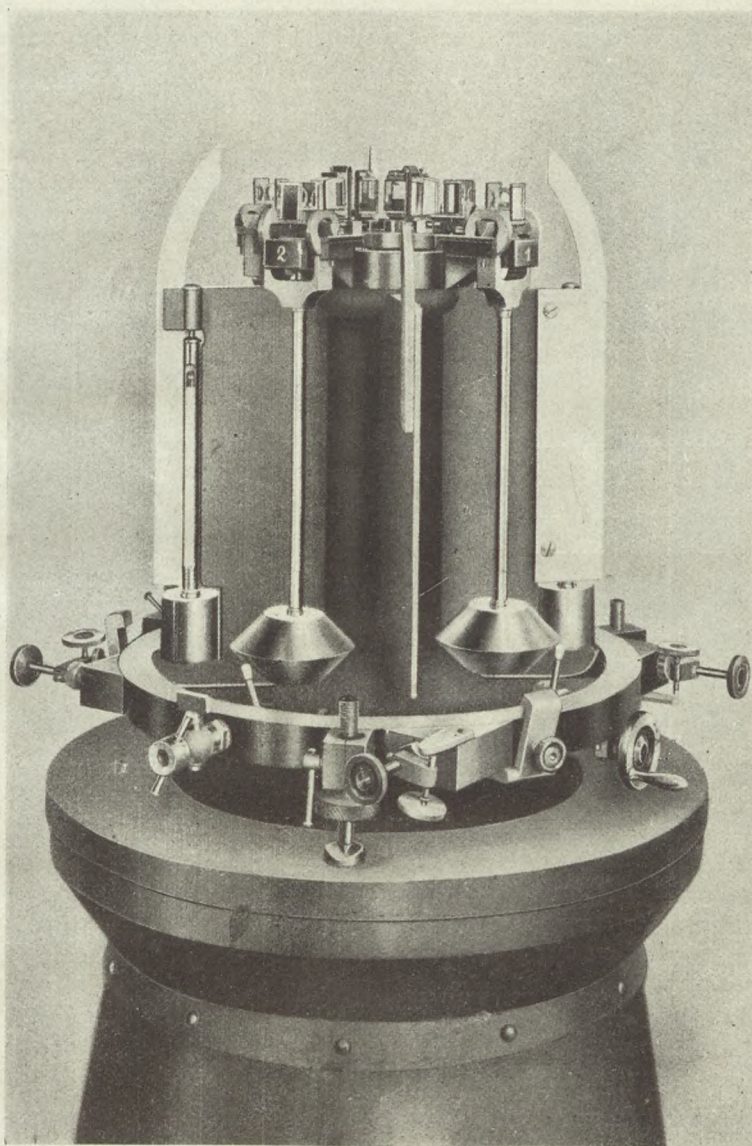
Az ingák között falak vannak, hogy az ingák által mozgatott levegőtömeg a többi ingára ne hathasson.

Az ingákat az achát test oldal élére (pihenő élek) lehet emelni az ú. n. arretáló csavarral.

Az ingaéleket ugyanis kímélni kell s ezért az ingák a statív szilárd achátlapjára csak akkor kerülnek, amikor az ingát lengés idejének meghatározása céljából lengésbe hozzuk.

Az ingák amplitudója kívülről kezelhető mikrométeresavarral állítható be.

Lengésbe hozatala ugyancsak kívülről végezhető el egy kar segítségével, melynek az ingatesttel érintkező részét hőszigetelés céljából csontból készítik.



5. ábra. A négyingás statív (a porosz Geodéziai Intézet modellje).

Az ingatér hőmérsékletének megállapítására két higanyhőmérő szolgál, melyekről közvetlenül 0.2° , becsléssel 0.02° olvasható le.

Ezeknél a higanytartó edény az inga anyagával azonos hengeres tömegbe van ágyazva, a kapilláris csövet ugyancsak az inga anyagából

készült szár veszi körül. Ennek vastagsága azonos az ingaszár vastagságával.

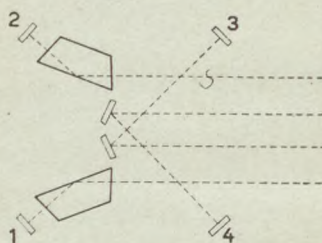
A törekvés az, hogy a higanyhőmérők a lehetőségig az ingák hőmérsékletét mutassák.

A statívot teljes terjedelmében egy *kettősfalu búrával* borítjuk le.

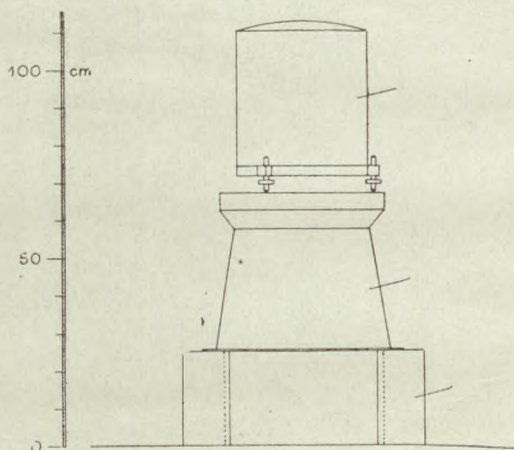
Ez az alsó lemez gondosan csiszolt felületére kerül s ezáltal olyan tökéletes zárast létesítünk, hogy az ingateret esetleg evakuálni is lehet.

Persze ez feltételezi, hogy az ingastatívot szállítás közben nagyon óvatosan kezeljük, nehogy az érintkező felületek megsérüljenek.

A statív felső részén van a *Borrass-féle* tükrözőberendezés (6. ábra), amely lehetővé teszi, hogy a négy ingát ugyanazon irányból figyelhessük meg.



6. ábra. A Borrass-féle tükröző berendezés.



7. ábra. Az ingastatív elhelyezése a mérés alatt. Oldalnézet.

A berendezéshez tartozó két tükrő és két prizma állító csavarokkal van felszerelve s ezek segítségével mind a négy tükrön jelentkező képeket egy távcső látmezejébe lehet belevinni.

Az ingastatívot mérés alatt belül üres, súlyos *rézpillérre* helyezzük, melyet méréseimben egy súlyos *vasbetonpillérre* gipszeztünk (7. és 8. ábra).

Az utóbbit ugyancsak gipsszel erősítettük az észlelőhelyiség burkolatára.

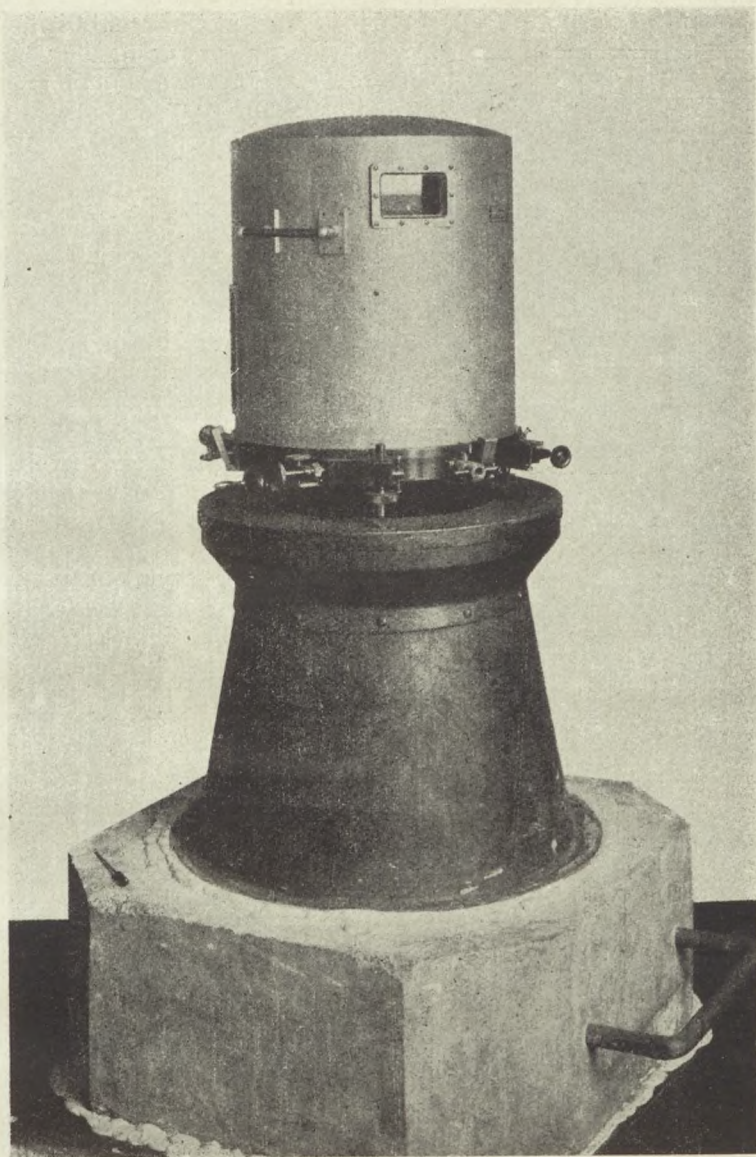
A statív talpesavarjait külön csavarokkal lehet rögzíteni.

Ez fontos, mert az alátámasztásnak a lengéssidőmérés alatt a lehetőségig mozdulatlanoknak kell lennie.

Az ingaéleknek a mérés alatt vízszinteseknek kell lenniök s ezért az alátámasztásra szolgáló achátlemezek felső lapját libella segítségével vízszintessé kell tenni.

Fontos, hogy a libellával való vízszintessé tétel alkalmával az achátlap ugyanolyan terhelés alatt legyen, amilyen alatt van akkor, amikor az ingát ráhelyezzük és azon lengetjük.

Ezért a vízszintessé tételre szolgáló libellát külön testre szerelik, amely teljesen olyan kiképzésű, mint az inga, csak a szára rövidebb (9. ábra).



8. ábra. Az ingastatív elhelyezése a mérés alatt. Perspektív kép.

3. A koincidencia módszer.

Az inga lengésidejét nagy szabatossággal kell mérni, mert a lengés-
időben 0.00000025 mp,

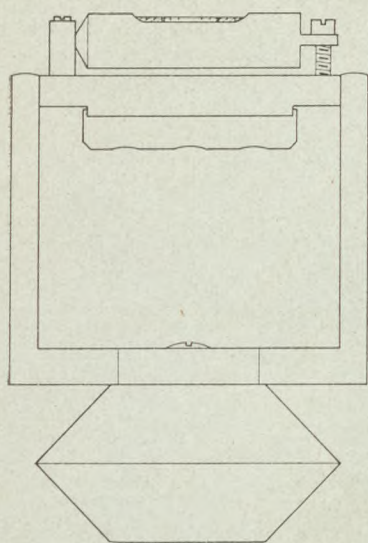
azaz, 2.5×10^{-7} mp hiba a nehézséggyorsulásban

0.001 cm/mp²,

azaz egy milligal¹ hibát jelent.

¹ A nehézség gyorsulás CGS egységét gal-nak nevezik.

A milligal ennek ezredrészét jelenti, azaz $1 \text{ milligal} = \frac{1}{1000} \text{ gal} = 0.001 \text{ cm/mp}^2$.



9. ábra.

Az ingastatív libellájának nézete.

Ha tehát mi az utóbbi pontosságot akarjuk elérni, akkor a *lengésidőt egy-két 10,000,000-od mp pontossággal kell meghatároznunk.*

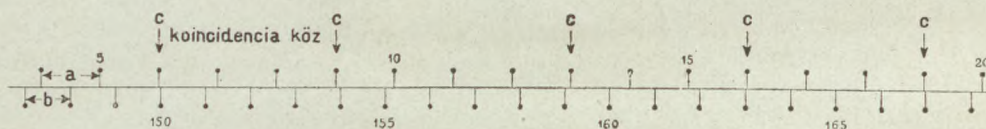
Ezt a nagy pontosságot egy különleges eljárással, az ú. n. *koincidencia-módszerrel érhetjük el.*

Ennek lényege a következő:

Képzeljünk két egyenletes pontsort (beosztást). Helyezzük őket egy más alá (10. ábra).

Ha a két pontsor intervallumai, a és b egyenlők, akkor a pontsorok egyes elemei közti távolságok mindenütt egyformák. Ha azonban $a \geq b$, akkor ezek a távolságok változók, vagyis a két pontsor elemei közelednek egymáshoz, illetve távolodnak egymástól és amint az eltérés közel egyenlő az egyik pontsor intervallumával, akkor a két pontsor egy-egy eleme egymással összeesésbe, *koincidenciába* kerül.

A *koincidenciát* az jellemzi, hogy a szomszédos elemeknél az eltérések nagyobbak és ellenkező előjelűek, továbbá, hogy két *koincidencia* közt az egyik skála n elemének a másik skálán $n + 1$, vagy $n - 1$ elem felel meg.

10. ábra. A *koincidencia-módszer* alapelve.

A *koincidencia* lehet *teljes*, vagyis a két elem távolsága 0, és lehet *közelítő*.

A *koincidencia teljes* akkor lesz, ha az $a - b$ különbséggel az π -t, illetve a b -t maradék nélkül lehet osztani, azaz ha az

$$\frac{a}{a - b}$$

egyenlő valami n egész számmal.

Ellenkező esetben a *koincidencia részleges* lesz, azaz az eltérés nem egyenlő 0-al, de mindenesetre kisebb $\frac{a - b}{2}$ -nél.

Két *koincidáló* hely közti részt *koincidencia-köznek* (időbeosztások esetén *koincidencia-időköznek*) nevezzük.

A *koincidenciák szakaszosan* ismétlődnek, a szakaszokon belül az egyes elemek száma n az egyik sorban és $n + 1$, vagy $n - 1$ a másikban.

Az n -érték függ a -tól és az $a - b$ -től. Minél kisebb az $a - b$ -érték, annál nagyobb n .

A *koincidenciákat* nagyon jól fel lehet használni a két pontsor összehasonlítására.

Például képzeljük el, hogy a két pontsor két különböző óra másod-perceinek felel meg, vagyis megadják a két óra által mutatott *időpontokat*.

Ha most a két órát egymással össze akarjuk hasonlítani, akkor meg kell állapítani két, elvileg tetszőlegesen választható elemnek egymástól való távolságát.

Ilyen két elemnek a koincidáló elemeket választjuk, mert ezeknél az eltérés vagy egészen 0, vagy attól nagyon kevésbé eltérő mennyiség, ha az $(a-b)$ érték kicsi.

Az eltérés ugyanis mindenestre kisebb, mint $(a-b)$.

A koincidencia elvén alapulnak a beosztásokkal kapcsolatosan használt nóniuszok s ezen az elven alapul az akusztikai nóniusz is.

4. A lengésidő megmérése.

A koincidencia-módszert a lengésidőmérésre a következőképpen alkalmazzuk.

A lengésidőmérésre olyan másodperces *ingaóra* szolgál (*koincidencia-óra*), amely kontaktusokat ad (11. ábra). *Ingaórát* kell használni, mert csak annál lehet elérni az órajárásban szükséges nagy egyenletességet. Régebben (Sterneck), *kronométerekeket* használtak, később könnyen szállítható *félmásodperces ingaórákkal próbálkoztak*, de ezekkel erős járás-ingadozásaik miatt kellő pontosságot elérni nem lehet.

A koincidencia-óra ingája *invár*-anyagból (nikkel-acélötvözetből) készül, hogy a hőmérsékletváltozásra bekövetkező hosszváltozások minimálisak legyenek.

A koincidencia-óra ingájának felső részén, ahhoz mereven erősített karocskák vannak, amelyeknek végei az óraházhoz erősített tengelyek körül forgó emelőkkel érintkezhetnek (12. ábra).

Az érintkezés alkalmával *áramzárás* következik be, az érintkezés megszűntekor az áramkör *megszakad*.

Az ingaóra tehát ilyen felszereléssel alkalmas jeladásra s evvel az óramásodpercek regisztrálására.

A regisztrálás lehet *másodperces* (mind a két oldalon van kontaktuskar), vagy *két másodperces* (csak az egyik oldalon van kontaktuskar).

Az áramkörbe relaiszt iktathatunk be.

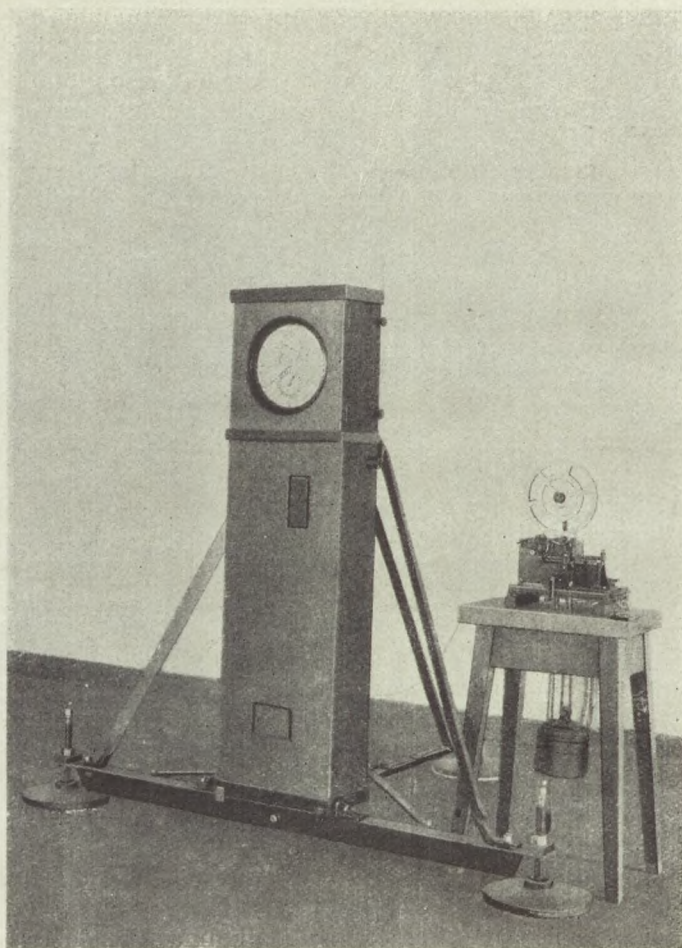
A relais a lengésidő megméréseire szolgáló *koincidencia-készülékbe* van elhelyezve. A koincidencia-készüléket a 13. ábra mutatja.

Áll egy elektromágnesből, mely az óra áramkörébe van iktatva. Ha ez az áramkör záródik, az elektromágnes leránt egy rugó által feszített hosszabb kart. Viszont nyitáskor a rugó visszarántja a kart s azt egy ütőzökhöz feszíti. Ezek a műveletek hangtűneménnyel, kattogással járnak.

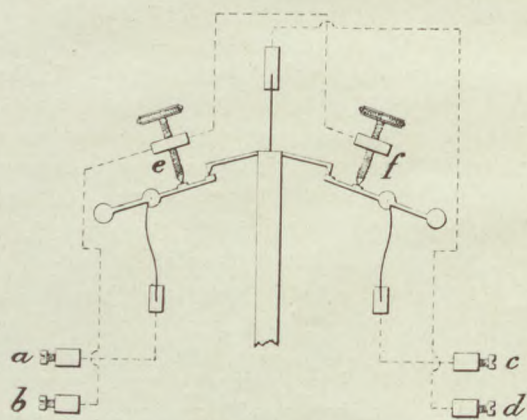
Másodpercenként, vagy ha kétfős kontaktus van, kétmásodpercenként halljuk a nyitásnak, illetve a zárásnak megfelelő kattogást.

Megfelelő erősségű rugó alkalmazása esetében az *áramnyíláskor* a rugó szabatosan (azonnal) mozgatja a kart s ezért ezeket a jeleket kell venni.

A kar végén lefelé nyúló lemez van s ezen egy vékony vízszintes nyílás. Ez a nyílás egy másik nyílás előtt mozoghat, amely a koincidencia-készülék külső borítólemezen van.



11. ábra. A koincidenca-óra a kronográfal.



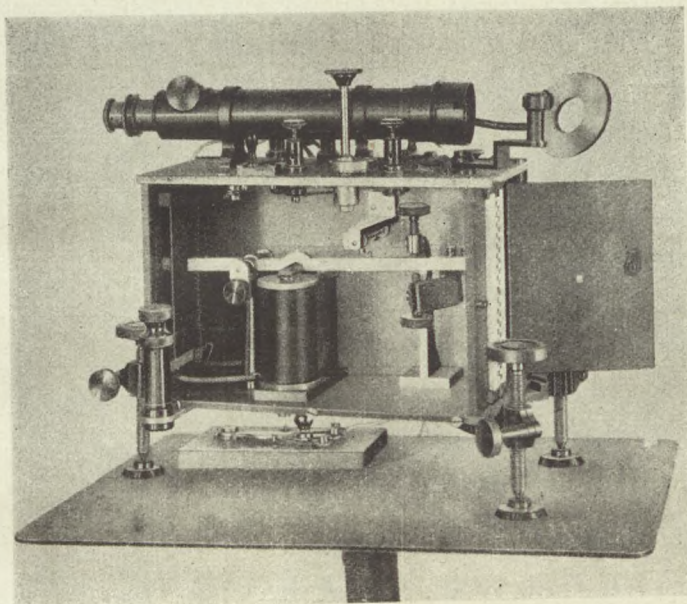
12. ábra. Az órainga kontaktusainak vázlata.

A mozgó lemez mögött fényforrást (elektromos lámpát) találunk s ezért, ha a két nyílás egyenlő magasságban van, szembe nézve vékony fénycsíkot látunk.

Az óra lengései tehát fényjelekre vannak átváltoztatva. Amint az órainga atmegy legmélyebb helyzetén, fényjel villan fel.

A koincidencia-készülék felső részén szátkereszttel felszerelt (geodéziai) távcső van.

A távcsővel az inga tükrére nézünk, tehát benne a tükörben keletkező képeket láthatjuk.



13. ábra. A koincidencia-készülék.

A távcsövet úgy állítjuk, hogy a nyugvó helyzetben levő inga tükrébe nézve, a vízszintes szál a mozdulatlan fénynyílásra mutasson.

Ezzel a vízszintes szál kijelöli az inga legmélyebb helyzetét.

Megjegyzem, hogy a fénynyílás felett és alatta 3 mm-es beosztás van úgy elhelyezve, hogy a mozdulatlan nyílás annak kezdő (nulla) osztásvonásával egyezik. Ez a beosztás az ingatükör közvetítésével a távcsőben is látszik s vele meg lehet mérni a lengőinga amplitudóját.

A skálát azonban el is lehet fedni s ez esetben a távcsőben csupán a fénynyílást, illetve a felvillanó fényjeleket látjuk.

Helyes távcsőbeállítás esetén a fényjelek a távcső vízszintes száljával esnek egybe.

Ha most az ingát lengésbe hozzuk s feltesszük, hogy az inga lengésideje nem kerek 0,5 mp, hanem attól eltér, akkor a felvillanó órafényjelek csak akkor fognak a vízszintes szálra esni, ha mind a két inga a függőleges helyzetben van.

Egyébként a fényjelek távolsága mindig más és más lesz, a fényjelek végigpándorolnak a látmezőn.

Az ingamélypontok találkozását nevezzük *koincidenciának*.

A szomszédos koincidenciák közt eltelt időből lehet megállapítani az inga lengésidejét.

A meghatározás lényegét a 14. ábrán láthatjuk.

Itt *felül* az inga lengésidők (mély ponttól, mély pontig) *alul* az óra lengésidők láthatók.

Koincidencia akkor következik be, ha két mélypont összeesik.

Ennek időpontjait az óra után meg lehet állapítani s két ilyen közötti időtartam a *koincidencia időköz* c .

Ha felteszem, hogy az inga t lengésideje valamivel nagyobb, mint 0.5 mp, akkor az ábra szerint

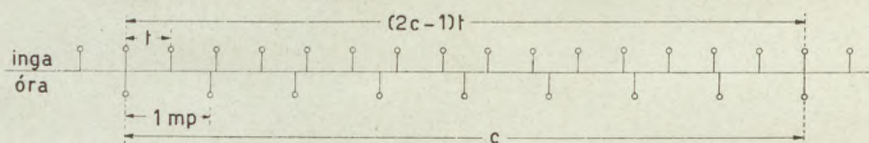
$$t(2c - 1) = C,$$

vagyis

$$t = \frac{C}{2c - 1}$$

vagyis hozzáadva és levonva $\frac{1}{2}$ -et, az összevonás után

$$t = \frac{1}{2} + \frac{1}{4c - 2}$$



14. ábra. Az órainga és a mérőinga mélypont helyzetei.

Ha pedig t kisebb 0.5 mp-nél, akkor

$$= \frac{1}{2} + \frac{1}{4c + 2}$$

A mérés lényege tehát a *koincidencia időköz megállapításában áll*.

Az elérhető pontosságról fogalmat kapunk, ha előállítjuk a t differenciálját dt -t

$$dt = - \frac{1}{(2c - 1)^2} dc$$

vagyis az elérhető pontosság függ a koincidencia időköz nagyságától és meghatározásának pontosságától.

Minél nagyobb a koincidencia-időköz, annál nagyobb az elérhető pontosság.

Tehát az inga készítésekor, annak hosszának megállapításával arra kell törekedni, hogy a koincidencia-időköz minél nagyobb legyen.

Minimális értéke 30 mp szokott lenni, de a mi ingánkon sokkal nagyobb volt, nevezetesen átlagban 180 mp.

Vagyis ingáinkra nézve a differenciálképlet az alábbi

$$dt = - 0,000\,007,77\,dc.$$

Ami a dc -t illeti, méréseimben egyetlen koincidencia-időpont meghatározásának középhibája

$$\pm 0,28 \text{ mp}$$

volt.

Ámde mindig a 10-szeres koincidencia-időközt mértük 6-szoros ismétléssel, vagyis a végeredményül levezetett koincidencia-időköz középhibája

$$\pm \frac{0,28}{10\sqrt{6}} = \pm 0,0011 \text{ mp}$$

Ebből következik, hogy a lengésidő középhibája

$$M_t = \pm 0,000\,000\,09 = \pm 0,9 \times 10^{-7} \text{ mp}$$

A koincidencia-módszerrel tehát a lengésidőt $1/10,000.000$ -od pontossággal lehet megállapítani.

5. A lengésidő végleges értékének megállapítása.

A lengésidőmérés teljes berendezésének egybeállítását a 15.—18. ábrákon látjuk.

A fenti módon levezetett lengésidő azonban annak még nem a végleges értéke, mert azt még *redukálni kell végtelen kis amplitudóra, 0° hőmérsékletre, 760 mm légnyomásra, csillagidőre és teljesen szilárd alátámasztásra.*

A redukálásra az alábbi képlet szolgál:

$$t = t' - c_a a^2 - c_d d - c_\tau \tau + c_{A\tau} A\tau + c_g g - e.$$

Ahol t' az észlelt lengésidő mp -ben,

a az inga átlagos amplitudója,

τ az ingák mérés alatti középhőmérséklete (Celsius-fok),

$A\tau$ az egy óra alatti hőmérsékletváltozás,

d az észlelés alatti közepes relatív légsűrűség, $0^\circ C$ hőmérsékletű, 760 mm légnyomású száraz levegőre, mint egységre vonatkoztatva,

g az óra napijárása, csillagidő mp -ben,

e az alátámasztás együttlengése miatti javítás.

A c -vel jelölt mennyiségek *állandók* és pedig

c_a az amplitudó-állandó,

c_d a légsűrűségi állandó,

c_τ a statikai hőmérsékleti állandó,

$c_{A\tau}$ a dinamikai hőmérsékleti állandó,

c_g az órajárási állandó.

6. Redukálás végtelen kis amplitudóra.

A végtelen kis amplitudóra való redukálást, a tényleges amplitudó kicsiségére való tekintettel, az alábbi képlettel végezhetjük el:

$$t_o = t \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{a}{2} \right)$$

vagyis a redukció nagysága

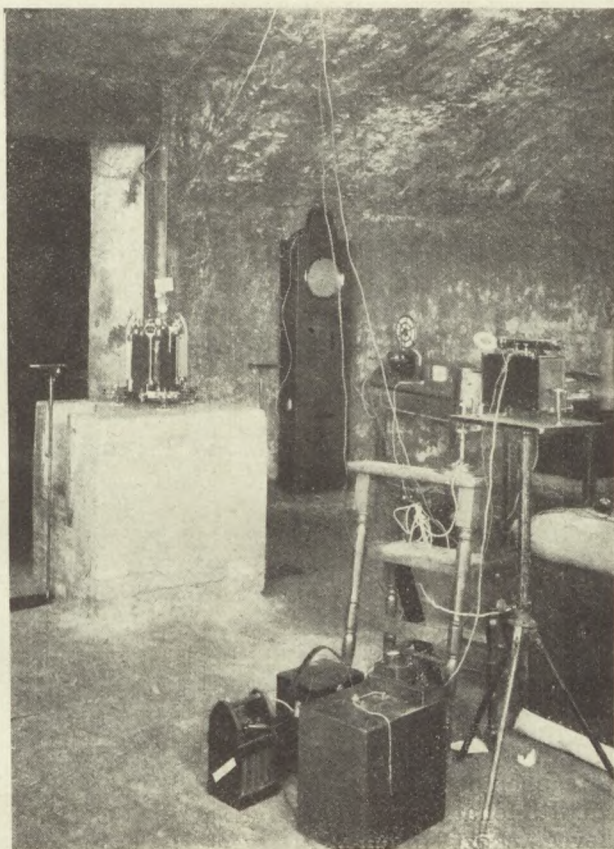
$$- c_a a^2$$



15. ábra. Az ingafelszerelés a budapesti főalapponton.



16. ábra. Az ingafelszerelés a budapesti főalapponton.



17. ábra. Az ingafelszerelés a bécsi észlelések alkalmával.

ahol

$$c_a = \frac{t}{16} \frac{1}{3438^2} = 265 \times 10^{-11} \text{ mp}$$

ha az a amplitudót ívpercekben fejezzük ki.

Az amplitudót skálarészekben olvassuk le.

Egy skálarész nagysága 3 mm , tehát az ennek megfelelő szög ívpercben

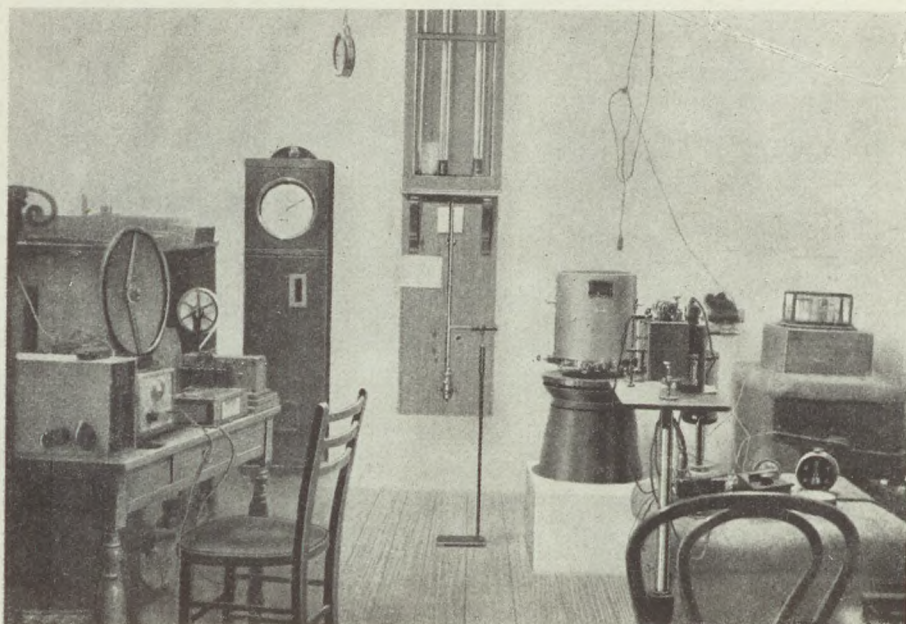
$$3438 \frac{3}{2d}$$

ahol d az objektív középpontja alatt elhelyezett skála távolsága az ingatükörtől.

Ez a távolság a fényúton mérendő, tehát két részben mérendő le, t. i. a skálától a segédtükörig (vagy segédprizmáig) és a segédtükörtől az ingatükörig.

A d értéke a koincidencia-készülék elhelyezésétől függ, ugyanazon állomáson tehát *állandó* érték.

Az amplitudó átlagos értéke méréseimben mintegy $17'$ volt.



18. ábra. Az ingafelszerelés a páduai észlelések alkalmával.

7. Redukálás a légsűrűség változása miatt.

Az inga levegőben leng, tehát mozgásával a környező levegőrészt is mozgásba hozza. Itt tehát számolni kell 1. avval a surlódással, amely az ingatest és a levegő közt fellép, 2. a levegő felhajtó erejével és 3. az együttlengő levegőtömeggel. Ha tehát az ingateret mérés alatt nem evakuáljuk, akkor a fenti hatásokra tekintettel kell lennünk.

A tapasztalatok és kísérletek szerint az azonos légsűrűségekre való redukálást teljesen elegendő a

$$c_d d$$

képlettel elvégezni, ahol c_d egy empirikus úton meghatározandó ú. n. *műszerállandó* jelent, a d pedig a *relatív* légsűrűséget.

Bessel a c_d -re képletet is levezetett.

Szerinte

$$c_d = \left(t_0 \frac{1 + k \cdot 0,001293}{2} \frac{1}{\gamma} \right) \left(1 - 0,001324 \cos 2\varphi - \frac{H}{R} \right)$$

ahol

t_0 az inga lengésideje a tengerszínen, 45° földrajzi szélességen,

γ az inga fajsúlya,

φ az észlelési hely földrajzi-szélessége,

H az észlelési hely tengerszín feletti magassága,

R a gömbnek képzelt Föld sugara,

k pedig egy állandó, melynek nagysága az inga alakjától és külső felületének minőségétől függ.

Ingáimra a k értéket empirikusan határoztam meg olyan módon, hogy az ingákat különböző légnyomású ingatérben lengettem.

E meghatározások szerint

a 115 ingára	$k = 0,580 \pm 0,013$
113 „	$k = 0,617 \pm 0,006$
112 „	$k = 0,597 \pm 0,012$
114 „	$k = 0,614 \pm 0,010$

Vagyis a középíngára nézve

$$k = 0.60$$

Ugyanazt a meghatározást elvégezve a 108—111 ingacsoportra

$$k = 0.63$$

értéket kaptam.

Mivel c_d -nek a η , H és R változásaira bekövetkező megváltozásai nem nagyok, azért nagyobb földterületekre azok átlagos értéke vehető.

Ezekkel számítva, méréseink területén értékei a következők:

115 ingára	650.1×10^{-7} mp
112 ingára	664.7
113 ingára	657.4
114 ingára	665.5
közép	659.4
108 ingára	668.7×10^{-7} mp
109 ingára	669.5
110 ingára	671.7
111 ingára	678.3
közép	672.0

A relatív légsűrűség számítására az alábbi képlet szolgál:

$$d = B \left(1 - \frac{3}{8} \frac{\delta}{B} \right) \frac{1}{760} \frac{1}{1 + 0,00367 \tau}$$

ahol B az ingatér légnyomása mm -ben,

τ az ingatér hőmérséklete Celsius-fokban,

δ a vízgőzfeszültség.

A relatív légsűrűség változásai nem nagyok, úgy, hogy a redukció állandóban levő bizonytalanság mindig egy tízmilliomod másodpercnél kisebb hibát okoz a lengésidőben.

8. Redukálás a hőmérséklet változása miatt.

Nagyon kell törekedni az ingatér hőmérsékletének egyenletességére, de ezt teljesen sohasem lehet elérni s ezért a bekövetkező hőváltozások hatását redukálással kell tekintetbe venni.

Az ingatérben két *higanyhőmérő* van, amelyekről közvetlenül 0.2° -ot, becsléssel pedig 0.02° -ot lehet leolvasni. A higanyhőmérők az ingatest anyagából készült olyan testbe vannak erősítve, amelyek alakja közel megegyezik az inga alakjával.

Higanyhőmérők esetén számolni kell a hőmérsékleti tehetetlenséggel (*termikus inercia*) is azaz avval, hogy a higany hamarabb veszi fel a hőmérsékletváltozásokat, mint az inga réz, illetve invár anyaga.

Ezért a redukálás nemcsak *statikai*, hanem *dinamikai* is kell hogy legyen, amennyiben nagyobb hőváltozások fordulnak elő.

A *statikai redukálás* a

$$c_r \tau$$

képlettel történik, ahol

τ az inga hőmérséklete,

c_r pedig a statikai hőmérsékleti állandó.

A *statikai hőmérsékleti állandó* meghatározása empirikus úton történik. Erre a célra olyan különleges berendezés kell, mely az ingatérben tehetővé teszi alacsony és magas hőmérséklet létesítését. A potsdami Geodéziai Intézet létesített ilyen berendezést s itt történt az állandók meghatározása.

Az állandók értékei a következők:

a 115 inga hőmérsékleti állandója	48.24×10^{-7}	± 0.10
112 inga hőmérsékleti állandója	47.76	± 0.07
113 inga hőmérsékleti állandója	46.67	± 0.13
114 inga hőmérsékleti állandója	48.12	± 0.07

közép 47.70

a 108 inga hőmérsékleti állandója	47.56	± 0.12
109 inga hőmérsékleti állandója	47.67	± 0.16
110 inga hőmérsékleti állandója	47.52	± 0.20
111 inga hőmérsékleti állandója	47.80	± 0.07

közép 47.64

Ezek szerint a hőmérséklet hatása eléggé tekintélyes, mert 0.02 Celsius hőváltozásra az inga lengésideje *egy tízmilliomod* másodpercre változik meg.

A *dinamikai hőmérsékleti állandó* arra szolgál, hogy tekintetbe lehessen venni azt a különbséget, ami az inga valóságos hőmérséklete és a higanyhőmérőn leolvasott hőmérséklet között van. Ugyanis mindaddig, amíg a hőmérséklet állandó, a higanyhőmérő eléggé pontosan mutatja az ingatest hőmérsékletét, amint azonban a hőmérséklet változik, azt a higanyhőmérő hamarabb veszi fel, mint az inga s így a hőmérőn tett leolvasás nem azonos az inga hőmérsékletével.

A *dinamikai hőmérsékleti redukció*.

$$c_{Ar} A \tau$$

ahol τ jelenti Celsius fokban az egy óra alatt bekövetkező hosszváltozást, c_{Ar} pedig a dinamikai hőmérsékleti állandót.

A *dinamikai hőmérsékleti állandó* meghatározására azokat az észleléseket használtam fel, melyekben az ingastatív a szabadban felállított sátorban volt elhelyezve (Pankota, Világos, Kúvin).

Ez észlelések szerint a 112, 113, 114, 115 ingacsoportra

$$c_{Ar} = 35,2 \times 10^{-7} \text{ mp.}$$

Ugyancsak ezt az értéket használtuk a 108, 109, 110, 111 ingacsoportra is, tekintve, hogy ennek hőmérői ugyanolyan alakúak és tömegűek voltak, mint a másik csoport hőmérői.

A dinamikai hőmérsékleti állandó és a vele való redukálás a gyakorlatban ritkán került alkalmazásra, mert mindig arra törekedtünk, hogy az ingastatívt egyenletes hőmérsékletű helyiségekben, rendszeren pincékben helyezzük el. Ez esetben az ingatér hőmérsékleti gradiensei csupán század fokot tesznek ki, tehát hatásuk elhanyagolhatóan kevés.

9. Redukálás csillagidő-másodpercre.

A *koincidencia-óra másodperce nem azonos az időegységül használtos csillagidő-másodperccel* s ezért külön mérésekkel meg kell állapítani az óra napi járását, g -ét.

Ha ezt ismerjük, akkor a csillagidő-másodpercre való redukálás az alábbi képlettel történik:

$$c_g g$$

ahol C_g jelenti az ú. n. óra állandót

$$c_g = \frac{t}{86400} mp$$

azaz félmásodperces ingákra

$$58 \times 10^{-7} mp.$$

E szerint az óra járását $0.01 mp$ -re pontosan kell megállapítani, mert ennyi az inga lengésidejében 0.6 tízmilliomod másodpercet tesz ki.

Az órajárás hibája tehát erősen befolyásolhatja a lengésidőt s ezért az óra járása a legnagyobb gonddal állapítandó meg.

A *koincidencia-óra* járását vagy asztronómiai úton, közvetlen észleléssel határozzuk, vagy közvetett úton a rádió időjelek segítségével.

Közvetlen úton asztronómiai megfigyelésekkel kell meghatározni.

Erre a célra könnyen szállítható univerzál-műszerrel kell időmeghatározásokat végezni.

Legegyszerűbb erre a *Döllen-féle* módszer, melynél délcillagoknak az a *Ursae minoris* függőleges síkján való átmenetek idejéből vezetjük le a helyes időpontot s az ettől való eltérés adja meg az óra állását.

Az óraállás meghatározását legalább kétszer kell elvégezni, hogy megkapjuk az óra járását.

Célszerűen azonban minden állomáson legalább három időmeghatározást kell végezni, mert csak így kapunk teljes ellenőrzést az óra járására.

Nagyon fontos, hogy az észlelőhely hőmérséklete állandó legyen, mert a hőváltozás befolyásolja az ingaóra járását.

A levezetett órajárás természetesen az észlelések alatti átlagos légnyomásra vonatkozik s ezért azt redukálni kell mindig ugyanarra a légnyomásra és pedig 760 mm-re.

A közvetlen meghatározásnak hátránya, hogy nagyobb műszerfelszerelés szükséges hozzá, hogy a végrehajtása eléggé nehézkes, sok számítással jár és főleg, hogy hosszadalmas, mert csak derült időben végezhető el.

Az ingaészleléshez csak akkor lehet hozzáfogni, ha megvan az első időmeghatározás s csak akkor lehet befejezni, ha már a harmadik időmeghatározás is készen van. Ezért a legkedvezőbb esetben is legalább két nap kell, de átlagban 3–4 nappal kell számolni.

Ezen a hátrányon próbáltunk azzal segíteni, hogy a kiinduló állomáson (*Budapesten*) elhelyeztünk egy másik másodperces ingaórát és időmeghatározásokat csak itt végeztettünk. A lengésidő mérése használt koincidencia-órát a telefonvezeték felhasználásával elektromos úton összehasonlítottuk a főórával.

Ezzel az eljárással az ingaállomás észlelése független lett az időjárás-tól, tehát a mérés programszerűen s így sokkal gazdaságosabban végezhető.

A végrehajtás azonban nehézkes s korlátozva vagyunk az ingahely kiválasztásában, mert ott telefonállomásnak kell lenni.

Ezért ezt az eljárást csak a *Budapest* közvetlen környékén levő ingaállomások észlelésénél alkalmaztuk.

A rádió nagyarányú fejlődése egy más eljárás alkalmazását tette lehetővé.

Ugyanis egyes asztronómiai intézetek (időszolgálatok) bizonyos időpontokban jól ellenőrzött *időjeleket* adnak s most már ezeket használjuk fel az óra járásának megállapítására.

Ezek az *időjelek* különbözők s közülük legcélszerűbben az ú. n. *ritmikus időjelek* használhatók fel. Ezeknél az asztronómiai állomás megfelelő berendezése egy bizonyos előre megadott időponttól kezdve, egyforma időközökben rövid ideig (0'2 mp) tartó (pontoszerű) rádiójeleket ad le. Az időtartam valami kevéssel (mintegy 0'02 mp-cel) kisebb, mint egy csillagidő-másodperc.

Ezeket a jeleket rádióvevőberendezéssel fel lehet fogni s egy relais közbeiktatásával a Morse-készülék egyik karjára lehet átvinni. Ha most a másik kart a koincidencia-óra kontaktusainak áramkörével kapcsoljuk, akkor a mozgó szalagon két pontsört kapunk s így megállapíthatjuk valamely rádiójelnek megfelelő óraidőpontot.

A rádióidőjeleket az adóállomáson kívül több asztronómiai állomás is felfogja s időmérőberendezésükkel szabatosan megállapítják az egyes jelek pontos időpontjait s azokat időszakos jelentéseikben közzéteszik.

A *Bureau International de l'Heure* kilenc asztronómiai állomás időmeghatározásait dolgozza fel s ezek eredménye a *l'heure définitive*, amely 0'01 mp-re pontos.

Legutóbbi méréseinkben ezt az eljárást alkalmaztuk külön erre a célra szolgáló olyan rádióvevőkészülékkel, amely a fenti módon regisztrálta az időjeleket.

Ez a közvetett módszer nagyon jól bevált, a mérés vele gazdaságos, az időjárástól független, elmarad a külön műszerfelszereléssel végzendő közvetlen időmeghatározás s a vele kapcsolatos sok számítás.

Az órajárás meghatározásában elért szabatoság teljesen kielégítő. Nagy előnye, hogy módunkban van általa nemcsak napról-napra meghatározni a koincidencia-óra járását, de egy napon belül is ellenőrizhetjük azt, tehát meggyőződhetünk annak esetleges változásairól.

Előnye továbbá, hogy az ingahely megválasztásában semmi korlátozás nincs.

A ritmikus időjelek útján való órajárásmeghatározás pontosságára végzett kísérleteim szerint a végeredményül megállapított *órajárás* közép-teljes hibája $\pm 0'006$ mp-re tehető ami a lengésidőben $\pm 0'4 \times 10^{-4}$ mp-et tesz ki.

10. Redukálás szilárd alátámasztásra. Együttlengés.

A függőleges helyzetét elhagyó inga a statív felső részére vízszintes értelemben is erőt ad át s ez, ritinikus megisméltlődésével lengésbe hozza a mindig elasztikus alátámasztást és pedig nemcsak a statívet és az ingapilléreket, de bizonyos mértékben a padozatot is, amelyen a pillér nyugszik.

Ez a mozgás, amelyet az *alátámasztás együttlengésének* neveznek, parányi ugyan, de nem annyira, hogy hatása a mozgó inga lengésidejére elhanyagolható lenne.

A lengésidőmérésekben tehát számolnunk kell azzal, hogy az inga nem mozdulatlan, hanem kis mértékben *lengő* alátámasztáson végzi mozgását.

Mivel relatív mérésekről van szó, azért, ha az alátámasztás mozgása ugyanaz volna minden állomáson, akkor hatása a lengésidő különbségéből kiesnék.

A tapasztalat szerint azonban még akkor is, ha valamennyi állomáson teljesen ugyanaz az alátámasztás technikai berendezése, az együttlengés értéke lényegesen különböző lehet. Ez részben a különböző altalaj és padozat más-más rugalmasságának, részben az alátámasztás egyes részei közti, nem egyforma összeerősítésnek (gipszezésnek) következménye.

A következőkben röviden *együttlengésnek* fogjuk nevezni azt a számértéket, amellyel az inga lengésidejét meg kell javítani, hogy az a lengésidő teljesen szilárd alátámasztásra vonatkozzék.

Méréseimben az együttlengés számértékének meghatározására egy *dinamikai* eljárást, az ú. n. *két inga módszert* használtam.

Az együttlengés értékének meghatározására ugyanis *statikai* és *dinamikai* módszerek ismereteseek.

Ezek közül az utóbbiak azok, amelyekkel az együttlengés értékét olyan körülmények között állapítjuk meg, mint amilyenek között a mérések végbemennek.

A dinamikai módszerekhez két-két — körülbelül azonos lengéssikú — inga kell.

Műszeremen két-két inga egymással szemben leng, tehát ezeknek körülbelül azonos lengéssikjuk van.

A módszer abból áll, hogy a két inga közül az egyiket (*hajtott inga*) az amplitudó-csavar óvatos kicsavarásával teljesen nyugalomba hozzuk, a másikat (*hajtó inga*) pedig mintegy 25° amplitudóval megindítjuk.

Az elasztikus alátámasztás mozgása lassankint lengésbe hozza az előbb még nyugodtan álló ingát (a hajtott ingát) s ha most ugyanabban az időben mérjük a *hajtó* és *hajtott* inga amplitudóját, ezekből ki lehet számítani az együttlengés értékét.

E munka terjedelme nem engedi meg, hogy az együttlengésnek és a fenti módszernek elméletével részletesen foglalkozzam.

Az alkalmazott módszert a *Potsdami Geodéziai Intézet* és különösen annak egyik tudós professzora, *Borrass E.* fejlesztette ki.¹

Ha *e*-vel jelöljük az állvány együttlengése miatti redukciót, úgy a *Borrass* levezette képlet az értéket a következőképen adja:

¹ *E. Borrass*: Bestimmung der Polhöhe und der Intensität der Schwerkraft in der Nähe des Berliner Meridians von Ankona bis Elsterwerda.

² *E. Borrass*: Relative Bestimmungen der Intensität der Schwerkraft auf den Stationen Bukarest etc.

$$e = \frac{a' t t'}{a \pi T} \left\{ 1 + C_2 \left(\frac{\pi T}{t t'} \right)^2 + \dots \right\}$$

és pedig:

$$C_2 = \frac{1}{6} \tau^2 - \frac{1}{3} e e'$$

ahol

a a hajtott inga amplitudója,
 a' a hajtott inga amplitudója,
 t a hajtó inga lengésideje az elasztikus állványon,
 t' a hajtott inga lengésideje az elasztikus állványon,

$$\tau = \frac{1}{2} (t - t')$$

T a mozgás kezdetétől az amplitudó méréséig eltelt idő másodpercekben.

e' a hajtott ingára vonatkozó együttlengési redukció.

Az e és e' között a következő összefüggés van.

$$\frac{e'}{e} = \frac{G' h'}{G h} \left(\frac{t}{t'} \right)^3$$

ahol G és G' az ingák súlyát, h és h' a súlypont távolatát jelenti.

A képletben szereplő magasabbrendű tagok kis τ esetében elhanyagolhatók, sőt, ha az egyik ingára helyezett súly segítségével a τ -t úgy szabályozzuk, hogy

$$\tau^2 = 2 e e'$$

akkor a következő egyszerű képlet szolgál az együttlengés számítására:

$$e = \frac{a'}{a} \frac{t t'}{\pi T}$$

Méréseimben az utóbbi eljárást követtem s így a számításra az egyszerűsített képletet használtam.

Az együttlengés-meghatározás lényege tehát az, hogy *ugyanabban az időpillanatban le kell olvasni úgy a hajtó, mint a hajtott inga amplitudóját.*

Az egyidejűséget eléréndő, az amplitudó-leolvasásokban a következő séma szerint jártam el:

$l^m \quad l^s$: amplitudó-mérés a *hajtó* ingán,
 $l^m \quad 3l^s$: amplitudó-mérés a *hajtott* ingán,
 $l^m \quad l^s$: amplitudó-mérés a *hajtott* ingán,
 $l^m \quad 3l^s$: amplitudó-mérés a *hajtó* ingán.

A leolvasott amplitudók közepei egyidejűeknek tekinthetők s azokat véve a és a' -nek, belőlük az együttlengés egy értéke kiszámítható.

Méréseimben az amplitudó-leolvasásokat akkor kezdtem meg, amikor a hajtott inga amplitudója már nem volt nagyon csekély, mert kis amplitudók esetén az esetleges apró rázkódtatások is erősen befolyásolhatják a lengés szabatos folyamatát s vele az amplitudó nagyságát is.

Az amplitudók mérését úgy kezdtem meg, hogy a fenti séma szerint észlelt első sorozat ideje a mozgás kezdetétől számítva 16^m legyen.

Ezután még *négy* sorozatot mértem *két-két* másodperces intervallumokban.

Az együttlengésmeghatározás eme módszerében a végeredmény pontossága lényegesen függ attól, hogy mennyire sikerült az egyik ingát lecsillapítani, vagyis, hogy mennyire sikerült azt a kezdeti feltételt kielégíteni, hogy az egyik inga amplitudója 0 legyen akkor, amikor a másikat megindítjuk.

Tekintettel arra, hogy a legnagyobb gonddal és óvatossággal végzett lecsillapítás esetében is, a nyugalmi helyzet individuális érzékelése miatt mindig félni lehet a kezdeti feltétel nem teljes elérésétől, azért a fenti mérést minden állomáson legalább *háromszor* végeztem el minden ingapár irányában, mindig újonnan végzett lecsillapítással, amiáltal a fenti hiba az egyes sorozat-közepekben *véletlen* jellegű hibaként szerepel.

Az együttlengés redukcióinak állomásonkénti változását nagyon jól mutatja a II. táblázat, amely a 105 állomás redukcióit foglalja egybe.

A táblázat utolsó rovatában a padozat minőségét is belejegyeztem.

E szerint az I. irányban 29 és 196, a II. irányban pedig 35 és 141 közt változik az együttlengés értéke.

Az átlagos értékek pedig az I. irányra 58, a II. irányra pedig 66.

Amint látható, az együttlengés állomásonkénti változásai eléggé tetemesek s mert az ingastatív, továbbá annak elhelyezése (7. és 8. ábra) mindenütt teljesen egyforma volt, kétségtelen, hogy az együttlengést a padozat, sőt az altalaj minősége is befolyásolja.

Kötött, agyagos altalaj esetében az együttlengés mindig nagyobb értékű, mint laza, homokos altalajon s ez annyira törvényszerű, hogy az együttlengés értékéből következtetni lehet az altalaj kötött vagy laza voltára.

Az I. táblázat szerint az átlagos értéktől való eltérések nagyok s ezért a relatív ingamérések elvégzése alkalmával minden egyes felállítás után nagyon gondos mérésekkel kell megállapítani az együttlengés értékét s különösen ügyelni kell arra, hogy az együttlengés meghatározásának szisztematikus hibái kiküszöböltesse.

Méréseinkben az együttlengésmeghatározás középhibája

$$+ 0,8 \times 10^{-7} \text{ mp}$$

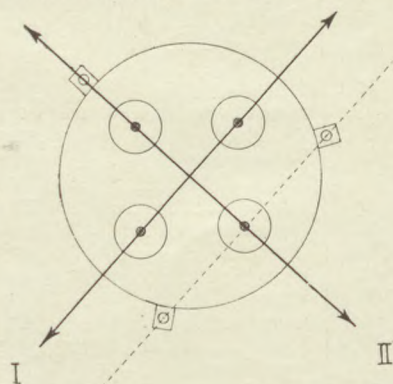
értékű volt, ami igazolja, hogy fontos redukcióelemek meghatározását minden egyes állomáson nagy gonddal igyekeztünk elvégezni.

*

A II. táblázat adatai szerint a II. irányban az együttlengés mindig erősebb, mint az I. irányban.

Amint a 19. ábra mutatja, az I-es lengési sík párhuzamos a statív két talpesavarjának irányával, a II-es pedig erre merőleges.

Az I. irányban a statív stabilitása nagyobb s ez okozza azt, hogy az I-es irányban az együttlengés *kisebb*, mint a II. irányban.



19. ábra. A lengéssíkok iránya és a talpesavarok.

II. TÁBLÁZAT.

Az együttlengés értéke az egyes állomásokon.

Sorszám	Állomás	Kelet	Együttlengés tizmilliomod másodpercben		A padozat minősége. illetve anyaga
			I irány	II irány	
	Potsdam I.	1908. VIII. 21	68	84	Cementbe rakott téglá
2.	Pankota	X. 2	74	74	Televény föld
3.	Világos	X. 7	80	78	" "
4.	Liváda	X. 9	72	78	" "
5I.	Kuvin I.	X. 17	104	86	Agyagburkolat
5II.	Kuvin II.	X. 21	54	82	Televény föld
6.	Temes-Hidegkút	X. 28	84	70	Agyagburkolat
7.	Arad	XI. 3	44	52	"
8.	Makó	XI. 14	122	112	"
9	Szeged	XI. 22	41	47	Aszfaltozott beton
10.	Baja	XII. 5	42	50	Agyagos téglatörmelék
11.	Szabadka	XII. 14	60	70	Agyagburkolat
	Potsdam II.	1909. I. 16	54	64	Cementbe rakott téglá
12.	Gyergyóalfalu ..	1911. VII. 24	62	68	Vert föld
13.	Szászrégen	VII. 31	98	90	Vert agyag
14.	Marosvásárhely..	VIII. 13	58	64	Törmelékes feltöltés
15.	Marosludas	VIII. 24	68	84	" "
16.	Bucsin	VIII. 31	80	140	" "
17.	Nagyenyed	IX. 12	62	68	" "
18.	Kecskemét	IX. 30	54	82	Homok
19.	Borosjenő	1913. V. 21	64	114	Vert agyag
20.	Borossebes	V. 30	44	48	Beton
21.	Honctó	VI. 7	60	63	Televény föld
22.	Kőrösbánya	VI. 14	42	46	Beton
23.	Abrudbánya	VI. 25	94	94	Vert föld
24.	Aranyosbánya ..	VII. 1	56	60	" "
25.	Nagyszeben	VII. 15	54	61	" "
26.	Vízakna	VII. 28	85	85	Döngölt föld
27.	Nagyselyk	VIII. 3	71	63	Vert föld
28.	Kiskapus	VIII. 10	66	69	" "
29.	Dicsőszentmárton	VIII. 20	48	48	Cementbe rakott téglá
30.	Nagysármás	VIII. 29	67	66	Vert föld (agyag)
31.	Martonvásár	1914. IV. 13	44	50	Beton
	Potsdam I.	1915. VI. 25	44	56	Cementbe rakott téglá
	Potsdam II.	VII. 13	47	58	" " "
32.	Vágór	IX. 24	51	58	" " "
33.	Berezó	IX. 27	51	57	" " "
34.	Szenice	X. 8	61	68	" " "
35.	Egbell	X. 22	57	64	" " "
36.	Morvaszentjános	XI. 9	86	104	" " "
37.	Bpest fizikai Int.	1916. VII. 15	43	55	" " "
38.	Bp. Földtani Int.	VIII. 2	44	48	Aszfalt
39.	Rákosfalva	VII. 30	41	46	Cement
40.	Mátyásföld	VII. 26	47	51	Beton
41.	Kispest	VIII. 9	45	49	Cement
42.	Dunaharaszti ...	VIII. 4	69	80	Vert föld
43.	Óbuda-Aquincum	VII. 22	43	42	Doloment
44.	Újvidék	1918. VI. 7	58	65	Cementbe rakott téglá
45.	Venac	VI. 13	107	141	Vert föld
46.	Ruma	VI. 20	196	91	" "
47.	Kurd	1923. V. 7	70	62	" "
48.	Erzsébetpuszta ..	V. 15	62	73	Vert föld
49.	Budafapuszta ...	V. 27	80	64	" "
50.	Svábhegy Cs. vizes.	1927. VI. 30	54	63	Cementlapok

Sorszám	Állomás	Kelet	Együttlengés tizmilliomod másodpercben		A padozat minősége, illetve anyaga
			I irány	II irány	
51.	Fót	1927. VII. 3	55	68	Cement
52.	Gödöllő	VII. 8	51	60	Cementlapok
53.	Pécel	VII. 15	64	69	Homok
54.	Üllő	VII. 18	55	65	Döngölt homok
55.	Pilis	VII. 22	65	75	„ homokos agyag
56.	Cegléd	VII. 28	64	77	„ agyag
57.	Szolnok	VIII. 4	55	59	Beton
58.	Kisújszállás	VIII. 9	58	65	Homokba rakott téglá
59.	Püspökladány ..	VIII. 13	44	53	Beton
60.	Hajdúszoboszló ..	VIII. 18	46	56	„
61.	Debrecen	VIII. 23	42	53	Cementlapok
62.	Budafok	VIII. 30	48	59	Beton
63.	Kápolnásnyék ..	1928. VI. 26	46	57	Simított beton
64.	Székesfehérvár ..	VII. 4	64	78	Szénporos agyag
65.	Lepsény	VII. 11	56	66	Tégla
66.	Kádárta	VII. 17	52	63	Döngölt agyag
67.	Zire	VII. 20	63	73	„
68.	Bakonypéterd ..	VII. 28	62	71	Vert föld
69.	Győr	VIII. 1	59	70	Betonba rakott téglá
70.	Ács	VIII. 3	62	66	Vert föld
71.	Tata	VIII. 9	53	67	Homokfeltöltés
72.	Bicske	VIII. 13	47	56	Beton
73.	Torbágy	VIII. 17	69	83	Agyagos homok
74.	Balatonboglár ..	1929. VII. 11	82	111	Homokfeltöltés
75.	Fonyód	VII. 17	68	68	Döngölt homokos agyag
76.	Keszthely	VII. 19	92	94	Vert föld
77.	Sümeg	VII. 27	54	65	Simított beton
78.	Pápa	VIII. 1	64	80	Döngölt agyag homokos
79.	Celldömölk	VIII. 7	66	76	„ „ „
80.	Szombathely	VIII. 9	55	65	Simított cement
81.	Sopron	VIII. 15	43	55	Betonba rakott műkölap
82.	Kapuvár	VIII. 23	48	58	Beton
83.	Magyaróvár	VIII. 24	45	56	„
84.	Wien Techn. H.	1930. IV. 7	45	53	„
85.	Wien Sternwarte	IV. 13	30	42	Lapjával rakott téglá
86I.	Országos Levéltár	1931. I. 7	40	48	Beton
86II.	„ „	VI. 21	39	50	„
87.	Cinkota	VI. 27	57	74	Termett talaj
88.	Nagytaresca	VII. 6	55	74	Vert föld
89.	Esztergom	1932. VI. 28	34	40	Simított beton
90.	Mór	VII. 2	46	47	Agyagos homok
91.	Városlőd	VI. 7	35	40	Simított beton
92.	Zalaegerszeg	VII. 11	48	48	Lapjával rakott téglá
93.	Szentgotthárd ..	VII. 15	42	45	Simított beton
94.	Lenti	VII. 19	36	37	Tégla
95.	Gelse	VII. 23	44	44	Döngölt agyag
96.	Kaposvár	VII. 29	32	35	Simított beton
97.	Pécs	VIII. 1	29	36	Doloment
98.	Siklós	VIII. 5	42	45	Beton
99.	Szekszárd	VIII. 9—11	50	57	Agyagos homok
100.	Dunaföldvár	VIII. 14	50	57	„ „
101.	Felső-Ireg	IX. 13	49	56	„ „ termett t.
102.	Tihany	IX. 18	37	39	Mozaik lapok (műkö)
103.	Somogyvár	IX. 22	59	58	Föld
104.	Süttő	1933. IV. 4	50	56	Föld (homokos)
105.	Vác	IV. 8—9	61	72	Föld (agyagos)
	Közép...		58.5	65.5	

A teljesség szempontjából összeállítottam az *ugyanazon helyen, különböző felállítások alkalmával nyert együttlengéseket is és pedig a III. táblázatban Budapestén az elektrofizikai laboratóriumban a IV. táblázatban Budapestén a Geodéziai Intézet gravitációs főpontján (pillérjén) való felállításoknak megfelelő együttlengéseket találjuk meg.*

III. TÁBLÁZAT. *Együttlengésértékek a budapesti elektrofizikai laboratóriumban.*

Sor-szám	Állomás	Kelet	Együttlengés tízmilliomod másodpercben		Eltérés a középtől	
			I. irányban	II. irányban	I.	II.
1.	Budapest I.	1908. IX. 20	55	57	-9.2	-3.0
2.	II.	XII. 30	36	52	+9.8	+2.0
3.	I.	1911. VII. 14	52	62	-6.2	-8.0
4.	II/a	1913. IX. 20	40	45	+5.8	+9.0
Közép			45.8	54.0		

IV. TÁBLÁZAT. *Együttlengésértékek a budapesti főállomáson.*

Sor-szám	Állomás	Kelet	Együttlengés tízmilliomod másodpercben		Eltérés a középtől	
			I irányban	II irányban	I	II
1.	Budapest	1911. II. 15	36	42	+ 5.4	+ 8.8
2.	II/b	1913. IV. 14	42	47	- 0.6	+ 3.8
3.	I/b	X. 6	38	46	+ 3.4	+ 4.8
4.	II/b	1914. IV. 2	44	50	- 2.6	+ 0.8
5.	I.	IV. 27	48	54	- 6.6	- 3.2
6.	II.	1915. VII. 4	48	61	- 6.6	-10.2
7.	I.	IX. 12	43	56	- 1.6	- 5.2
8.	II.	XII. 10	41	50	+ 0.4	+ 0.8
9.	I.	1916. VII. 4	47	58	- 5.6	- 7.2
10.	II.	VIII. 12	39	46	+ 2.4	+ 4.8
11.	I.	1918. V. 16	43	51	- 1.6	- 0.2
12.	II.	VII. 6	36	45	+ 5.4	+ 5.8
13.	I.	1923. IV. 21	39	46	+ 2.4	+ 4.8
14.	II.	VI. 26	46	56	- 4.6	- 5.2
15.	I.	1927. VI. 27	54	63	-12.6	-12.2
16.	II.	IX. 11	46	58	- 4.6	- 7.2
17.	I.	1928. V. 12	48	58	- 6.6	- 7.2
18.	II.	VIII. 23	48	58	- 6.6	- 7.2
19.	I.	1929. VI. 25	47	57	- 5.6	- 6.2
20.	II.	IX. 3	47	57	- 5.6	- 6.2
21.	I.	1930. III. 14	48	57	- 6.6	- 6.2
22.	II.	IV. 25	38	51	+ 3.4	- 0.2
23.	I.	XII. 20	40	50	+ 1.4	+ 0.8
24.	II.	1931. I. 17	40	49	+ 1.4	+ 1.8
25.	III.	III. 2	38	52	+ 3.4	- 1.2
26.	I.	VI. 19	37	52	+ 4.4	- 1.2
27.	II.	VI. 9 14	38	50	+ 3.4	+ 0.8
28.	I/a	VIII. 24	38	52	+ 3.4	- 1.2
29.	I/b	VIII. 31	36	48	+ 5.4	+ 2.8
30.		1933. I. 17	31	36	+10.4	+14.8
31.	I.	III. 27	31	36	+10.4	+14.8
32.	II.	IV. 14-15	30	34	+11.4	+16.8
Közép			41.4	50.8		

Az egyes értékek között mutatkozó eltérések okát csupán az *ingastatív különböző rugalmassági állapotára* vezethetjük vissza, ami készülékünkön elsősorban a talpcsavarok kevésbbé, vagy erősebben becsavart volta miatt állhat elő.

Megjegyzem, hogy az ingastatív talpcsavarjainál lötyögések nem fordulhatnak elő, mert minden talpcsavar külön kötőcsavarral van felszerelve s a felállítás után, az ingaészlelés megkezdése előtt ezeket a kötőcsavarokat mindig erősen meghúztuk.

*

Kísérleteket végeztünk arra nézve is, hogy a *talpcsavarok kijebb-beljebb csavarásával előállítható alacsonyabb, vagy magasabb statív helyzet hogyan befolyásolja az együttlengést.*

A *talpcsavarok teljes becsavarásával*, vagyis a *legalacsonyabb* statív helyzetben végzett együttlengésmérések *kisebb*, a *teljes kicsavarással*, vagyis a *legmagasabb* statív helyzettel végzettek pedig lényegesen nagyobb értékeket adtak, amint ezt az V. táblázat eredményei mutatják.

V. TÁBLÁZAT.

Kedvező és kedvezőtlen talpcsavarhelyzet hatása.

Sorszám	Az együttlengési redukció értéke tízmilliomod másodpercben			
	a) Talpcsavarok a legkedvezőbb helyzetben (alacsony)		b) Talpcsavarok a legkedvezőtlenebb helyzetben (magas)	
	I. irány	II. irány	I. irány	II. irány
1.	27.7	31.6	52.6	56.9
2.	25.7	32.3	52.8	56.4
3.	26.6	32.2	52.1	57.3
Közép	27	32	52	57

Az ingastatív magassági helyzete tehát erősen befolyásolja a statív együttlengő képességét s ezért *méréseinkben nagy gondot fordítottunk arra, hogy az ingastatív talpcsavarjai mindig a legkedvezőbb helyzetben legyenek.*

Véleményem szerint az ingastatívok szerkesztésekor, illetve már meglévő készpéldányok esetében azok használatakor a fenti körülményre okvetlenül tekintettel kell lenni.

*

Kísérleteket végeztünk, továbbá fali konzolon való elhelyezéssel is.

Az ilyenén végzett együttlengésmérések eredményeit a VI. táblázat mutatja.

Mivel ez esetben az ingastatív egy nagytömegű falba¹ erősített teljesen merev és masszív vaskonzolon nyugodott, együttlengés csupán a statív rugalmassága miatt állhat elő.

Amint a táblázat mutatja, a fali konzolra való helyezés esetén az együttlengés kisebb s jól látható, hogy a két irányba való lengetés hatása ugyancsak nem egyforma, vagyis a statív a II. irányban rugalmasabb, mint az I. irányban, s így az együttlengés is nagyobb.

¹ Az épülettől teljesen elkülönített fal súlya 1025 tonna.

VI. TÁBLÁZAT.

Együttlengés-értékek fali konzolra helyezett statívon.

Sor-szám	Állomás	Kelet	Együttlengés tízmilliomod másodpercben		Eltérés a középtől	
			I. irányban	II. irányban	I.	II.
1.	Budapest Geodéziai Intézet	1931. XI. 27—28.	27	32	—0.8	—1.2
2.		1932. I. 5—9.	27	35	—0.8	—4.2
3.		VI. 1—8.	27	32	—0.8	—1.2
4.		VIII. 22.	25	28	+1.2	+2.8
5.		IX. 26—27.	25	27	+1.2	+3.8
	Közép		26.2	30.8		

Mérési eredményeim pontosságára vonatkozó részletes tanulmányaim alapján, a nagyterjedelmű mérési anyag tanúsága szerint nyugodtan állíthatom, hogy az együttlengés tekintetbevétele a fenti dinamikus mérési módszerrel teljesen kielégítő, ha a g értékét $\pm 0.001 \text{ cm}^2\text{-re}$, azaz $1/1,000.000$ -odra pontosan kívánjuk meghatározni.

De egyúttal arra is rá kell mutatnom, hogy ha a g mérés pontosságát fokozni akarjuk, akkor okvetlenül szükséges két inga egyidejű lengetésével mérni (Vening—Meinesz-féle eljárás), mert ez esetben a szokásos dinamikus eljárás pontossága már nem kielégítő.

11. Lengésidőmérések ugyanazon az állomáson.

A mérésbe bevont ingák redukált hosszának állandóságáról, továbbá a lengésidőmérés hibájáról legjobban azok a mérések tájékoztatnak, amelyeket ugyanazon a helyen különböző időben, különböző, egymástól függetlenül végzett felállításokkal végeztünk.

A külső állomások mérése előtt és utána is a budapesti főállomáson mindig megmértük a lengésidőket.

Ezek az ú. n. *csatlakozó mérések*.

Ezek eredménye használható fel az ingák állandóságára és az ingamérés pontosságára vonatkozó vizsgálatban.

A budapesti főállomáson végzett összes lengésidőmérések eredményeit a VII. táblázatban foglaltam össze.

Itt tehát nemcsak a szorosabb értelemben vett csatlakozó mérések eredményeit találjuk meg, de azokat is, amelyeket egyéb vizsgálatok céljára végeztünk.

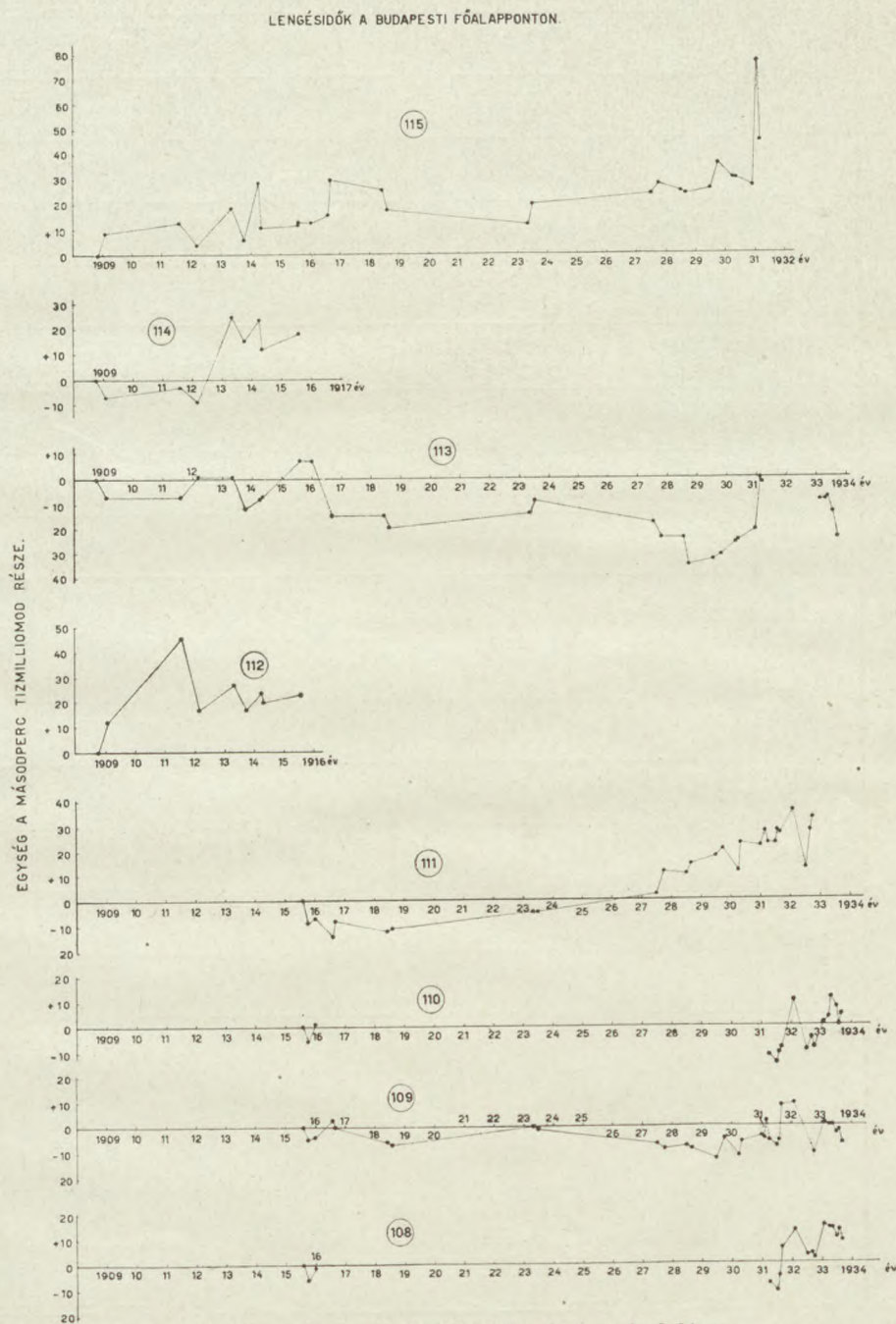
A VII. táblázatban az összetartozó csatlakozó méréseket kapcsoló jellel foglaltam egybe.

A VII. táblázatba bejegyeztem a középíngára vonatkozó lengésidőket is.

A lengésidők mellé beírt előjeles szám jelenti a lengésidő megváltozását az első lengésidőmérés óta a másodperc tízmilliomod részében mint egységben kifejezve.

Itt — ha az eltérést az ingahossz megváltozásával magyarázzuk — az előjelek közül a pozitív jel rövidülést, a negatív jel pedig hosszabbodást jelent.

Az inga lengésidejének az első észlelés óta bekövetkezett megváltozásait a jobb szemléltetőség kedvéért, grafikusán is ábrázoltam a 20. ábrán, amelyen az abszcisszák az időt tüntetik fel (a ráírt számok éveket jelente-



20. ábra. Az ingák lengésidejének összefoglalása.

VII. TÁBLÁZAT.
Lengésidők a budapesti főalapponton.

Folyószám	D á t u m	A z i n g a s z á m a														
		108	109	110	111	112	113	114	115	közép						
		a lengésidő másodperceken 0 ^s , 501														
1.	{1908. szeptember					1786	0	2696	0	2686	0	2516	0	2421	0	0
2.	{1909. január					1774	+12	2703	-7	2693	-7	2507	+9	2419	+9	+2
3.	{1911. július					1750	+46	2703	-7	2680	-3	2503	+13	2411	+13	+11
4.	{1912. február					1769	+17	2695	+1	2695	-9	2512	+4	2412	+4	+9
5.	{1913. április					1759	+27	2695	+1	2661	+25	2497	+19	2403	+19	+18
6.	{1913. szeptember					1769	+17	2708	-12	2671	+15	2510	+6	2414	+6	+6
7.	{1914. március					1762	+24	2704	-8	2662	+24	2487	+29	2404	+29	+17
8.	{1914. április					1766	+20	2703	-7	2674	+12	2505	+11	2412	+11	+9
9.	{1915. július					1763	+23	2689	+7	2668	+18	2503	+12	2405	+12	+15
10.	{1915. július	3920	0	4082	0	3175	0					közép		2411		
11.	{1915. július		3929	0	3175	0	2689	+7				2503	+13	3074	+13	0
12.	{1915. szeptember	3926	-6	4088	-6	3184	-9							3783	-6	0
13.	{1915. december	3921	-1	4081	+1	3182	-7							3779	-2	
14.	{1916. július											közép		3775		
15.	{1916. augusztus		3926	+3	3189	-14	2709	-13				2500	+16	3081	+16	-7
16.	{1918. május		3929	0	3183	-8	2711	-15				2486	+30	3077	+30	-3
17.	{1918. július		3935	-6	3187	-12	2711	-15				2490	+26	3081	+26	-7
18.	{1923. április		3936	-7	3186	-11	2716	-20				2498	+18	3084	+18	-10
19.	{1923. június		3929	0	3180	-5	2710	-14				2504	+12	3081	+12	-7
20.	{1927. június		3930	-1	3180	-5	2705	-9				2496	+20	3078	+20	-4
21.	{1927. szeptember		3936	-7	3173	+2	2714	-18				2492	+24	3079	+24	-5
			3938	-9	3164	+11	2720	-24				2488	+28	3077	+28	-3

nek), az ordináták pedig tízmilliomod másodpercekben az első lengésidejmérés óta a lengésidejben bekövetkezett változásokat jelentik.

A lengésidejváltozások — hangsúlyozom — részben az ingahossz megváltozásaiából, részben a lengésidejmérés hibáiból származnak.

A lengésidejmérés pontosságát más módon is megállapítottuk (36. oldal) s ezek szerint, ha az ingahossz megváltozásától eltekintünk, akkor egy inga lengésidejének egyszeri meghatározásának középértékhibája

$$\pm 5,2 \times 10^{-7}$$

mp-re tehető.

Ez az érték középhiba, tehát a hiba maximális értéke ennek háromszorosa is lehet.

Ezért voltaképpen csak a 15 egységen túli eltérések jelenthetnek reális hosszváltozásokat.

Amint a táblázatból és főleg a 20. ábrából láthatjuk, a nyolc inga közül csak egy, a 109 nem mutat reálisnak tekinthető hosszváltozást.

A többieknek mind találunk ilyeneket.

A hosszváltozások lehetnek véletlen jellegűek, de lehetnek szabályosak is.

Véletlen jellegűek a 108. és 110. inga megváltozása; szabályos jellegű a 111 (eleinte hosszabbodás, aztán rövidülés), a 112 (rövidülés erős ingadozással), a 113. (hosszabbodás) és a 115. (rövidülés) inga megváltozása.

Nagyobbmértékű ingahosszváltozást a 115. ingánál találunk.

Ennél a lengésidej állandóan kisebbedett, azaz az inga állandóan rövidült.

Az 1930. decemberi és az 1931. januári észlelés közt (az Országos Levéltári Állomás első észlelése alkalmával) ugrásszerűen 50 egységgel változott meg, de aztán majdnem egészen visszatért az előző hosszára.

Ezt a mérést nem is használtuk fel, hanem az állomást egy más ingacsoporttal teljesen újra mértük. A 115-ös ingát a további mérésekben már nem használtuk fel.

Az ingarövidülések molekuláris összehúzódásokkal magyarázhatók, ami a használatos fémek és különösen a fémötvözetek esetében nagyon gyakran fordul elő.

Az ingameghosszabbodások molekuláris megváltozással már nehezebben magyarázhatók; ezek valószínűleg az ingaélek lekopása folytán állhatnak elő.

*

Az ingamérések berendezése természetesen olyan, hogy csupán a rövid időn belüli megváltozások érvényesülhetnek.

A csatlakozó mérések ezeket elárulják és módot nyújtanak a nagyobb eltérések felfedezésére, amikor is a mérések reálisan nem használhatók fel, azokat meg kell ismételni.

Hogy a rövid időn belüli — a csatlakozó mérések közti változások nagyságát megállapíthassuk, egybeállítottam a II. táblázatban a középinga lengésidejének eltérését két-két csatlakozó mérés között.

A VIII. táblázat első oszlopa a csatlakozó méréseknek az I. táblázatbeli folyószámát adja meg.

A második oszlop a két csatlakozó mérés különbségét tünteti fel „első mérés mínusz második mérés” értelemben.

A harmadik oszlop pedig a középértéktől való eltéréseket foglalja egybe.

VIII. TÁBLÁZAT.

A budapesti állomáson a közép ingára vonatkozó (közvetlen egymásután végzett) lengéssidő-mérések eltérései egymástól és a középtől.

Folyószám	A két mérés különbsége	Kitérés a középtől
	I—II egység a másodperc tízmilliomod része	
1—2	+2	+1
3—4	—1	—0.
5—6	—11.	—6
7—8	—8	—4
12—13	+4	+2
14—15	+4	+2
16—17	—3	—1.
18—19	+3	+1.
20—21	+2	+1
22—23	—2	—1
24—25	+6	+3
26—27	+4	+2
28—30	+12	+6
31—32	—3	—1.
33—34	+6	+3
35—36	—16	—8
37—38	—1	—0.
39—40	0	0
41—42	—4	—2
43—44	—2	—1

IX. TÁBLÁZAT.

A lengéssidőmérés és a nehézséggyorsulás pontossági adatainak összefoglalása.

Folyószám	A lengéssidő-mérések időpontja	Egyetlen lengéssidő-mérésben							a végeredményül meg- állapított középinga hibája	A nehézséggyorsulás közép- hibája Egység: 0.001 cm/sec ²
		a műszer állandók hatása	az együttlengés hatása	az ingahossz válto- zásának hatása	az órajárás hatása	a szabályos hibák középértéke	a középértéketlen hiba	a középteljes hiba		
		Egység a másodperc tízmilliomod része								
1.	1908. VIII. 20.—1909. I. 17.	±0.3	±0.6	±5.3	±1.3	±3.6	±4.1	±7.8	±3.4	±1.7
2.	1911. VII. 3.—1912. II. 13.	0.3	0.6	8.2	1.1	1.9	2.8	9.0	4.5	2.2
3.	1913. IV. 22.—1913. IX. 22.	0.3	0.6	1.8	0.7	3.3	3.0	5.3	2.3	1.1
4.	1915. VI. 22.—1915. VII. 16.	0.4	1.0	2.9	1.2	2.5	4.1	6.1	2.6	1.2
5.	1915. IX. 1.—1915. XII. 8.	0.4	0.7	2.8	1.2	3.4	3.2	5.6	2.4	1.2
6.	1916. VI. 26.—1916. VIII. 14.	0.3	0.8	4.5	1.2	2.6	4.4	7.0	3.2	1.6
7.	1918. V. 14.—1918. VII. 8.	0.1	0.8	3.4	2.1	2.9	2.6	5.6	3.7	1.8
8.	1923. IV. 13.—1923. VI. 25.	0.2	0.6	3.3	1.7	2.9	5.1	7.1	3.2	1.5
9.	1927. VI. 21.—1927. IX. 10.	0.2	1.0	3.8	1.2	3.2	5.0	7.2	2.9	1.4
10.	1928. IV. 24.—1928. VIII. 24.	0.2	0.8	4.0	1.2	4.7	3.2	7.1	3.1	1.5
11.	1929. VI. 21.—1929. IX. 3.	0.3	0.6	3.0	1.2	4.5	4.0	6.9	2.7	1.3
12.	1930. III. 15.—1930. IV. 28.	0.6	0.8	3.8	0.3	3.6	2.3	5.8	2.5	1.2
13.	1931. VI. 15.—1931. VI. 12.	0.4	0.8	2.4	0.5	4.5	3.2	6.1	2.3	1.1
14.	1932. VI. 18.—1932. X. 1.	0.3	0.9	3.3	0.5	5.3	2.8	7.0	2.9	1.4
15.	1933. III. 28.—1933. VII. 12.	0.3	1.0	2.3	0.4	4.6	2.8	6.0	2.3	1.1
16.	1933. VII. 5.—1933. VIII. 31.	0.1	0.5	1.1	0.4	4.6	2.9	6.0	1.8	0.8
Átlag		±0.3	±0.8	±3.5	±1.0	±3.6	±3.5	±6.6	±3.0	±1.4

Oltay: Relatív gravitáció-mérés invariábilis ingákkal.

A + jel rövidülést, a — jel hosszabbodást jelent, ha az eltérés reális hosszváltozásból származna.

Amint a táblázatból látható, az eltérések meglehetősen véletlen jellegűek, hiszen az eltérések átlaga

$$-0,2 \times 10^{-7} \text{ mp.}$$

Az abszolút értékek átlaga:

$$2,4 \times 10^{-7} \text{ mp.}$$

Az eltérések quadratikuss középértéke pedig

$$\pm 3,1 \times 10^{-7}$$

másodpercet tesz ki.

Az utóbbi érték feltűnően egyezik a középínga lengésidejére egyéb módon, az összes állomások lengésidejének egybevetésével megállapított értékkel

$$\pm 3,0 \times 10^{-7}$$

- mp-vel.

Ezért itt is megállapítható, hogy a lengésidőmérés középhibája, az ingahosszváltozásokat is tekintetbe véve, a középíngában három tízmilliomod másodpercre tehető, ami azt jelenti, hogy a lengésidőmérés maximális hibája egy milliommód másodpercnél mindig kisebb.

12. Az invariábilis ingákkal végzett nehézséggyorsulásmérés pontossága.

Ha két földi hely (állomás) nehézséggyorsulásának Δg különbségét invariábilis ingával meg akarjuk határozni, meg kell mérni mind a két helyen az inga lengési idejét.

Legyen a lengési idő az egyik állomáson t_1 , a másik állomáson pedig t_2 , akkor

$$\Delta g = 2g, \frac{t_1 - t_2}{t_1} + 3g_1 \left(\frac{t_1 - t_2}{t_1} \right)^2 + \dots$$

A Δg számításakor az első állomás nehézséggyorsulását, a g_1 -et elegendő közelítően ismerni.

Jelöljük μ_1 -gyel a t_1 lengési idő középhibáját, μ_2 -vel pedig a t_2 -ét. A gyorsuláskülönbség középhibája a következő képletből számítható:

$$\mu_{\Delta g} = 2 \frac{g_1}{t_1} \sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2}$$

Ha tehát ismerni akarjuk az invariábilis ingákkal végzett nehézséggyorsulásmérés pontosságát, elsősorban azt kell megállapítani, hogy a lengésidőt milyen pontossággal tudjuk mérni.

A lengésidő mérése a következő műveletek elvégzéséből áll:

1. Egy másodperces ingaóra segítségével, a koincidencia-módszerrel mérjük a t' lengési időt.

2. A koincidenciámérés kezdetén és végén feljegyezzük az inga amplitudóját, az inga hőmérsékletét, a légnyomást és esetleg a légnedvességet.

3. Az észlelés előtt, vagy utána (legcélszerűbben előtte is, utána is) megmérjük az együttlengési módszerek valamelyikével az állvány stabilitását.

4. Időmeghatározásokkal, vagy a ritmikus időjelekkel megállapítjuk az ingaóra járását (az óramásodperc eltérését a csillagidő másodperctől).

A mérési adatokból a 0 -ra, 760 mm légnyomásra, 0 amplitúdóra és szilárd alátámasztásra redukált és csillagidőben kifejezett t lengésideőt a következő redukcióképlettel kapjuk meg (— oldal).

$$t = t' - c_a a^2 - c_d d - c_t \tau + c_{At} A \tau + c_g g - e$$

A lengési időben levő hibát jelöljük ε -nal. Ez főképen a redukcióképletben szereplő mennyiségek hibáiból származik.

Az utóbbiak háromfélék lehetnek és pedig először *állandó hibák*, azaz olyanok, amelyek a lengésideőmérés ismétlésekor mindig ugyanazon értékkel szerepelnek, másodszor *szabályos hibák*, melyek a mérések ismétlésekor értéküket valami szabályossággal változtatják, harmadszor *szabálytalan hibák*, melyek a mérések ismétlésekor szabálytalanul, a véletlen szerénye szerint változnak.

A lengésideőmérés legfontosabb *állandó* hibái a következők:

1. a műszer állandó hibái,
2. az együttlengésmeghatározás hibája,
3. az órajárásmeghatározás hibája,
4. az ingahossz állandó természetű megváltozása.

Az állandó hibák hatását csökkenteni lehet az ingaállandóknak, az együttlengésnek és az órajárásnak többszörös gondos meghatározásával, továbbá az órainga és az észlelt inga anyagának gondos megválasztásával. Az ingahossz állandó megváltozásából származó hibát pedig csökkenteni lehet azáltal, hogy nemcsak egy, de több (legalább 4) — előzetesen gondosan temperált — inga lengési idejét *ismételve* mérjük.

Szabályos hibát hoz létre:

1. Az inga valódi hőmérsékletének tökéletlen meghatározása.

A hőmérsékletmérés *higanyhőmérőkkel* történik, amelyek csak *állandó* hőmérséklet mellett mutatják az inga hőmérsékletét. Változó hőmérséklet mellett a higanyhőmérő előbb veszi fel a hőmérsékletet, mint az inga s így a redukálás nem az inga valódi hőmérsékletével történik.

2. Az órajárási időben periódikus változása.
3. Az ingahossz időben periódikus változása.

A szabályos hibáknak a lehetőségig való kiejtése céljából a lengésideőmegfigyeléseket megismételjük és pedig *időben szimmetriás* elrendezéssel. Minden ingát 24 óra alatt legalább *kétszer* észlelünk 12—12 órás időközökben. Még jobb, ha naponta *négyszer* észlelünk 6—6 órás időközökben. Ezáltal a hőmérséklet változásának periódikus voltát felhasználva, az inga hőmérséklete és a higanyhőmérő mutatta hőmérséklet közti különbség hatása csökken, továbbá az órajárási időben periódikus változás hatása is inkább véletlen jellegű lesz.

Szabálytalan hiba származik a koincidencia-észlelésből, a hőmérő-, barométer-, higrométerleolvasásokból, az órajárási és az ingahossz szabálytalan változásaiból, az alátámasztás stabilitásának véletlen változásaiból, az ingaalátámasztás megremegéseiből stb.

A szabálytalan hibák hatását gondos munkával és a mérések sokszoros ismétlésével csökkenthetjük.

A lengésidőben levő *állandó hibát*, illetve egy, azt a lehetőségig jellemző értéket le lehet vezetni, ha az állandó hibát létrehozó tényezőket külön-külön gondos vizsgálat alá vesszük.

A *szabályos* és a *szabálytalan* hiba kifejezésre jut ama tényben, hogy ugyanazon állomáson ugyanazon ingák ismételt megfigyelései egymástól eltérő lengési időket eredményeznek. Ugyanazon inga ismételt megfigyeléseiből származó lengési idők eltéréseiből ki lehet számítani a szabályos hiba *állandó részét* és az ú. n. *véletlen hibát*, mely áll a szabálytalan hibából, továbbá azokból az értékekből, melyek a szabályos hibából visszamaradnak, ha belőle az állandó részt levonjuk.

A számértékekre nézve a IX. táblázat nyújt felvilágosítást, amelyben a mi Geodéziai Intézetünk 16 ingamérési expedíciójának adatait feldolgozva, minden csoportra nézve külön-külön megállapítottuk a fontosabb állandó hibákat (3. 4. 5. 6. oszlop), a *szabályos* hibák középértékét (7. oszlop), a *középvéletlenhibát* (8. oszlop) s ezekből aztán *egyetlen* inga *egyetlen* mérésének *középteljeshibáját* (9. oszlop), továbbá a *középinga* állomási értékének (a végeredményül felhasznált lengésidőnek) ugyancsak *középteljeshibáját* (10. oszlop).

Az utolsó oszlopba (11.) a *nehézséggyorsulás* középhibáját jegyeztük be.

Ezek szerint az *összes értékek* átlagképen

1. a műszerállandók hatása	$\pm 0.3 \times 10^{-7}$ mp
2. az együttlengés hatása	± 0.8 „
3. az órajárás hatása	± 1.0 „
4. az ingahossz változásának hatása	± 3.5 „
5. a szabályos hibák középértéke	± 3.6 „
6. a középvéletlenhiba	± 3.5 „
7. egyetlen lengésmérés középteljeshibája	± 6.6 „
8. a végeredmény középteljeshibája	± 3.0 „
9. a nehézséggyorsulás középteljeshibája	$\pm 1.4 \times 10^{-3}$ (cm) mp ²

Ezek az adatok rendkívül nagyszámú és nagyon gondosan végzett mérés eredményeinek egybevetéséből származnak s ezért megbízható mértékei annak az *átlagos* pontosságnak, amely — gondos mérést feltételezve — invariábilis ingákkal elérhető.

*

Megjegyzem, hogy az utolsó öt sorozatban (12—16) az órajárásokat a ritmikus időjelek segítségével sűrűbben határoztuk meg, továbbá minden állomáson nagyobb számú észlelést végeztünk.

E sorozatokból egyetlen inga *egyszeri* meghatározásának középteljeshibája:

$$\pm 6.0 \times 10^{-7} \text{ mp}$$

a végeredményül felhasznált lengésidő:

$$\pm 2.4 \times 10^{-7} \text{ mp}$$

a nehézséggyorsulása pedig

$$\pm 1.1 \times 10^{-3} \text{ cm/mp}^2.$$

Ezek a pontosság ama *szélsőnek* vehető értékei, amelyek ingáinkkal elérhetők.

*

Amint a fenti adatok mutatják, a hibák között igen nagy szerepet játszik az ingák *állandó hosszváltozása* s ezért a fentiekhez képest pontosság-fokozást csupán akkor érhetünk el, ha olyan ingákat készítünk, amelyen az ingahossz még állandóbb. Ennek azonban határt szab egyrészt az anyag, amelytől megkívánjuk, hogy molekuláris változásai még kisebbek legyenek, másrészt az ingaélen elkerülhetetlenül bekövetkező kopás.

Ha tehát a fentieknél nagyobb pontosságot akarunk elérni, akkor — a sűrűbben végzendő csatlakozó méréseken kívül — az ingákat homogén anyagból kell készíteni s azokat előzetesen *hosszú* időn keresztül temperálni kell, hogy az anyagban levő feszültségeket kioldjuk. Az ingaéleket pedig az achátnál is keményebb anyagból kell készíteni, hogy a kopásokat a lehetőségig csökkentsük.

*

Az invariábilis ingákkal elérhető szélső pontosság határának

$$\pm 0.0005 \text{ cm/mp}^2$$

tekinthető, vagyis a nehézséggyorsulás 1/5.000.000-od része.

13. A pontosság fokozására és a mérés gyorsítására vonatkozó kísérletek.

A változatlan hosszúságú ingákkal végzett mérési eljárásokon próbáltak változtatni részben a *pontosság fokozása* céljából, részben a mérés *gyorsabb végrehajtása* érdekében.

A pontosság fokozására igyekeztek az órajárást kiküszöbölni, ami elérhető azáltal, hogy egy időben ugyanazon óra után mérnek lengésideket két ingaberendezéssel. Ezek közül egyik a kiinduló állomáson van a közös koincidencia-órával, a másik pedig a külső állomáson.

Ez a két ingafelszerelést feltételező eljárás azonban nehézkes és hosszadalmas s a pontosságot sem fokozza lényegesen, mert csupán az órajárás hibáját küszöböli ki.

Ennél jelentősebb pontosságfokozást lehet elérni avval, hogy még gondosabban temperált ingákkal végezzük el a méréseket, vagyis törekszünk arra, hogy az invariabilitás feltétele még jobban ki legyen elégítve.

A pontosság fokozásánál fontosabbak azok a törekvések, amelyek a mérés gyorsítását célozzák, mert a mérés hosszadalmasságában van ennek a módszernek a legnagyobb hátránya.

Egy állomás észleléséhez, a mérés legkedvezőbb berendezése esetén is, legalább két teljes mérési nap kell, ha megbízhatóan akarjuk megkapni a lengésideket s vele a nehézséggyorsulást, tehát egy állomás észlelése — a felállítás és a szállítást is tekintetbe véve — legalább három napot vesz igénybe.

Ezért újabban abban az irányban végeztek kísérletet, hogy a mérő-inga lengéseit a rádióhullámok segítségével a kiinduló állomásra vigyék át s a koincidencia-módszerrel ott hasonlítsák össze az órával, vagy az ott lengő ingákkal.

A célból a lengő ingát alul kondenzátorlappal szerelik fel s az állványon alatta szintén kondenzátorlap van (kapacitív kontaktusok).

Ezek szintén alkalmasak a lengő inga mélypontjainak regisztrálására. Az utóbbi — rádió útján továbbítva — a kiinduló állomáson menne végbe.

Lényeges időmegtakarítás ezzel a módszerrel sem érhető el, egy nap alatt — elég tekintélyes mérési munkával — legfeljebb egy állomás észlelhető.

Nagyobb időmegtakarítást a *graviméterekkel* lehet elérni s ezért újabban erre felé fordult a figyelem s a már elért kedvező pontossági és gazdaságossági eredmények alapján a tendencia ezek tökéletesítése.

A *graviméterek* lényege az, hogy rúgóval, vagy komprimált gázzal *állandó* feszültséget állítunk elő. Ezt befolyásolja a nehézségi erő változása s ezért a feszültség változásaiból az utóbbi változásaira lehet következtetni.

A graviméterek részletes tárgyalását most mellőzzük, ez egészen önálló és terjedelmes tanulmányt kíván, amit különben nagyon megérdemel, mert újabban már mind elméleti, mind gyakorlati téren nagyon szép fejlesztést ért el.

Az invariábilis ingákkal való gravitációmérés jelentőségét ezek dacára sem veszlette el, mert a graviméteres meghatározások ellenőrzésére okvetlenül szükséges egy gravitációs hálózat, amit minden célra megbízható módon legjobban az ingákkal lehet létesíteni.

A jövőben ezt az alaphálózatot nagyobb ponttávolsággal, azaz kisebb pontsűrűséggel kell fejleszteni s a hálózati pontok közötti részletméréseket (pontosítást) kell graviméterekkel és torziós ingákkal elvégezni.



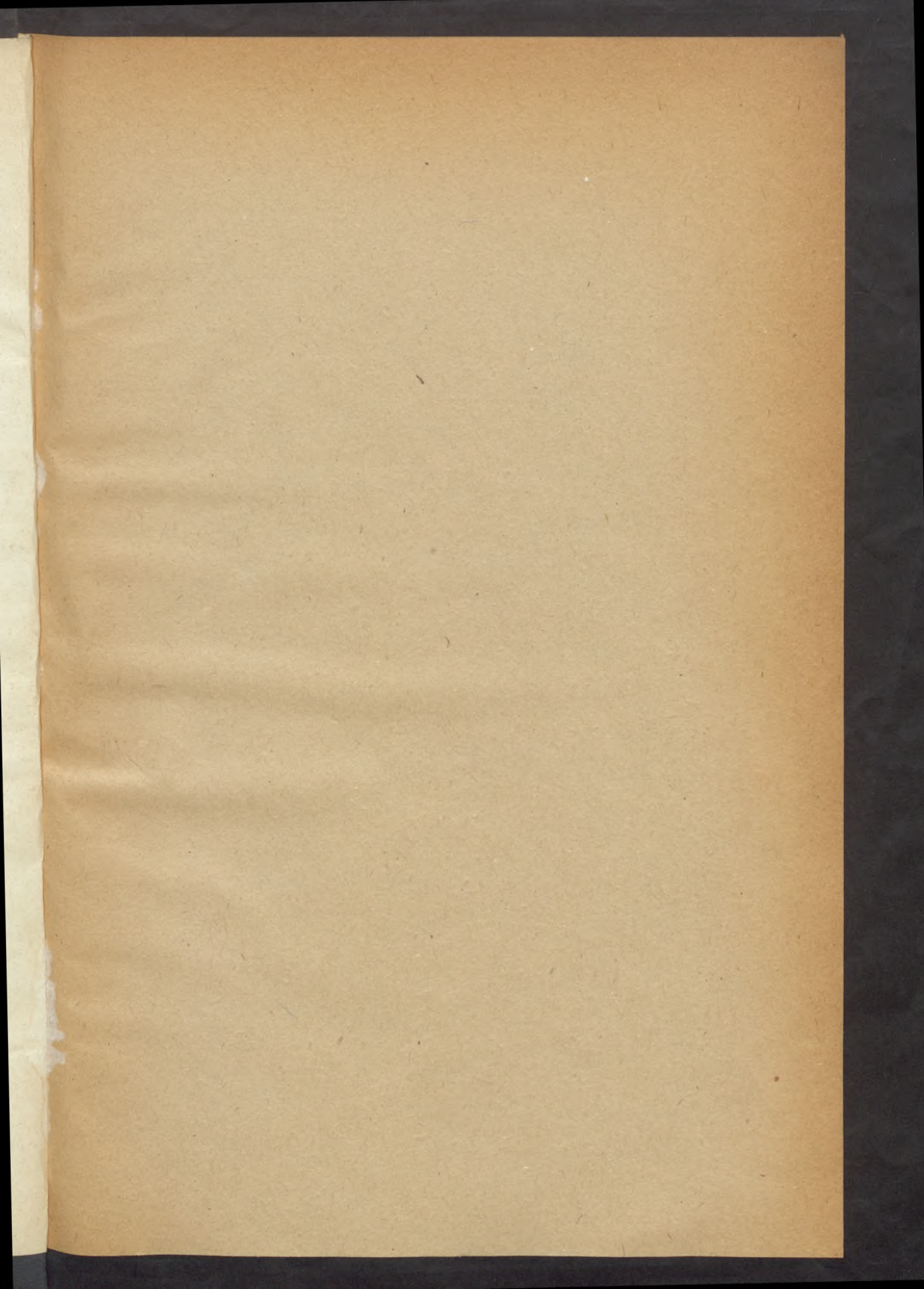
TARTALOMJEGYZÉK.

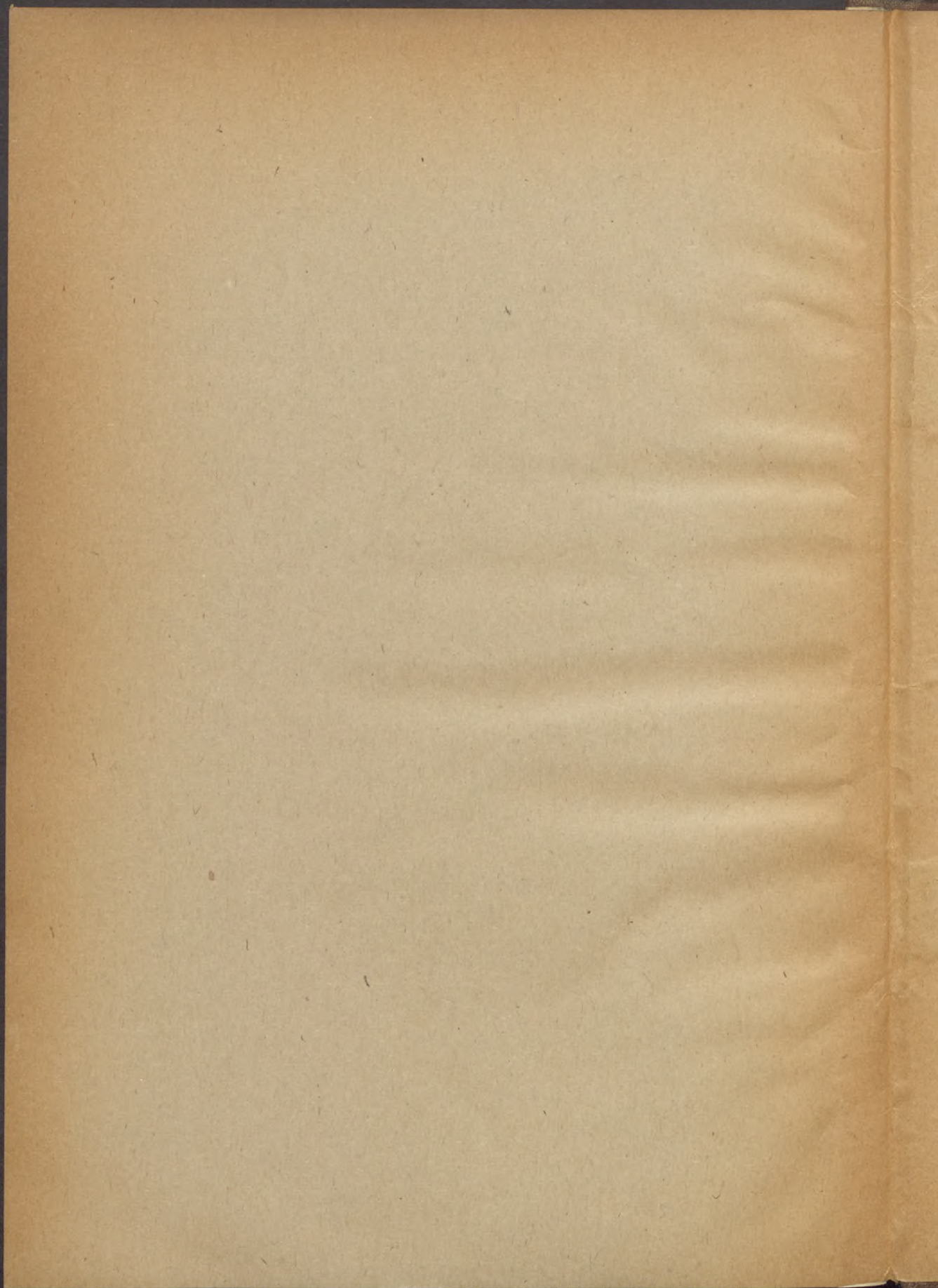
	Oldal
Bevezetés	1
1. A nehézséggyorsulás mérése ingák segítségével	2
2. Relatív mérések invariábilis ingákkal:	
a) Az ingák	3
b) Az ingák lengetése. Ingastativ	4
3. A koincidencia módszer	7
4. A lengésidő megmérése	9
5. A lengésidő végleges értékeinek meghatározása	13
6. Redukálás végtelen kis amplitudóra	13
7. Redukálás a légsűrűség változása miatt	16
8. Redukálás a hőmérséklet változása miatt	17
9. Redukálás csillagidő másodpercre	19
10. Redukálás szilárd alátámasztásra. Együttlengés	21
11. Lengésidőmérések ugyanazon állomáson	28
12. Az invariábilis ingákkal végzett nehézséggyorsulásmérés pontossága	34
13. A pontosság fokozása és a mérés gyorsítására vonatkozó kísérletek	37

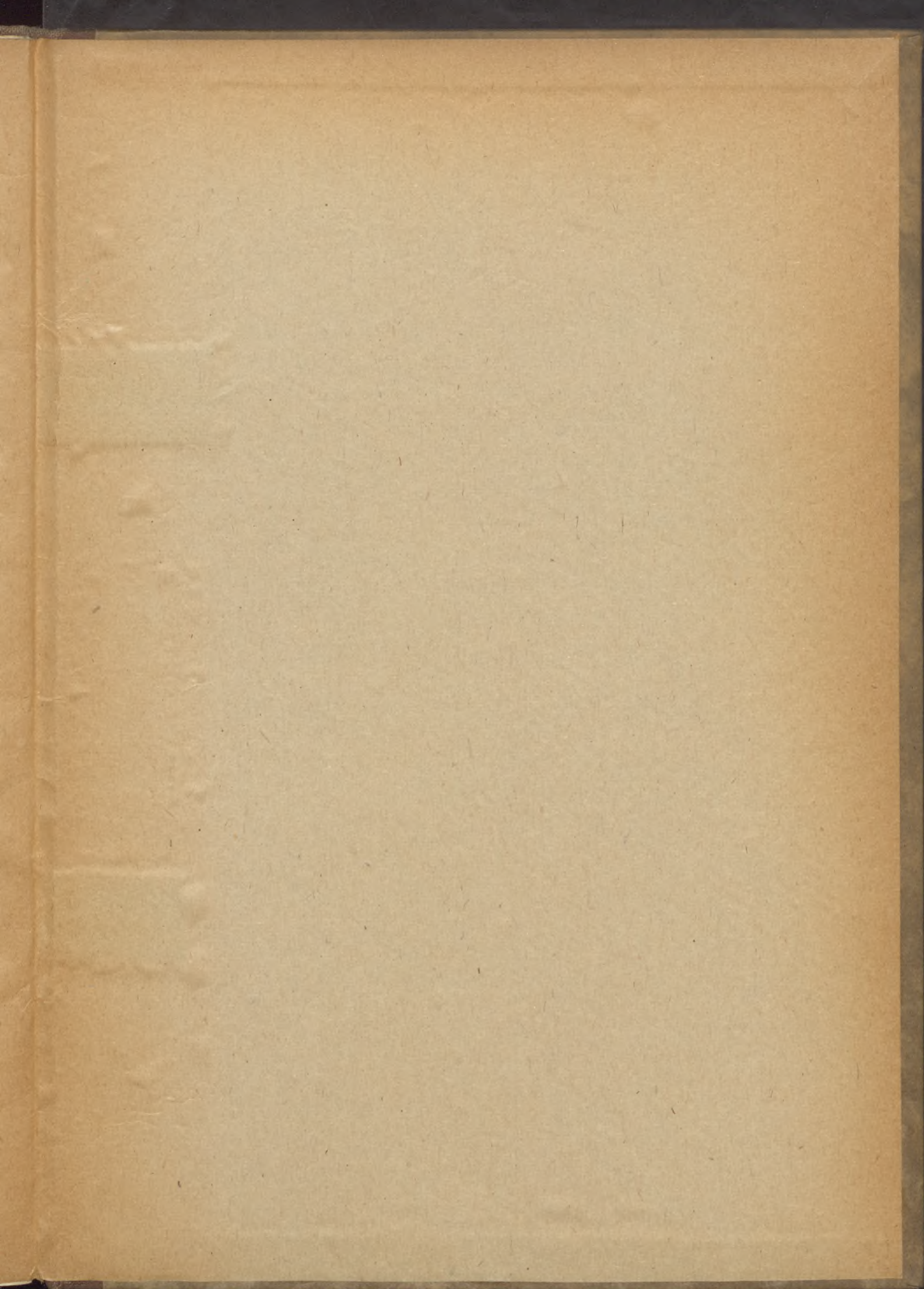


Kiadásért felelős: Oltay Károly.

43.587. — Királyi Magyar Egyetemi Nyomda, Budapest. (F.: Thiering Richárd.)







A Mérnöki Továbbképző Intézet kiadványai:

(s. a. : sajtó alatt.)

XVII. KÖTET:

P

34. sz. <i>Ihrig</i> : Ármentesítő társulatok szivattyútelepeinek üzeme ..	2-50
35. sz. <i>Petry</i> : Belvízátemelő és öntöző szivattyúk	2-50
36. sz. <i>Gosztanyi</i> : Vízvezetékek vízmérőszervezeteinek elméleti és gyakorlati kérdései	4—
37. sz. <i>Molnár</i> : Korszerű ivó- és ipari víztisztítás	4—
38. sz. <i>Bogárdi</i> : Hordalékmozgás folyókban	3-60
39. sz. <i>Papp R.</i> : Belvízi hajózás	16—
A tizenhetedik kötet egybefűzve	30—

XVIII. KÖTET:

40. sz. <i>Széchy K.</i> : Érdekes feladatok a gyakorlati alapozás köréből	3-50
41. sz. <i>Szmodits</i> : Vasúti ívek kitézése alapsokszögről	6—
42. sz. <i>Jost</i> : Az útépitések talajmechanikája	4—
43. sz. <i>Papp F.</i> : Termésköveink előfordulása és használhatósága ..	4—
44. sz. <i>Papp F.</i> : Budapest geológiája alapozás szempontjából.	4—
45. sz. <i>Tamás</i> : Síkvidéki utak nyomjelzése	4-50
46. sz. <i>Jáky</i> : A földnyomás-elmélet mai állása	s. a.
A tizennyolcadik kötet egybefűzve	s. a.

XIX. KÖTET:

47. sz. <i>Palotás</i> : Keretszerkezetek I. rész.	10—
48. sz. <i>Menyhárd</i> : Héjszerkezetek elmélete II. rész	2-40
49. sz. <i>Kazinczy G.</i> : Az anyagok képlékenységeinek jelentősége a tartószerkezetek teherbírása szempontjából. II. rész	2-60
A tizenkilencedik kötet egybefűzve	s. a. 14—
50. sz. <i>Oltay</i> : Relatív gravitáció-mérés invariábilis ingákkal	5—
51. sz. <i>Futaky</i> : Az új birtoktagok elhelyezése tagosításkor	4—

Beszerezhetők, illetve megrendelhetők:

postatakarékpénztári befizetéssel.
vagy az Intézet 5670. számú csekk számlájára való