

Банаш Дь. Рыбар Ш.:

## ОБ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ГРАВИТАЦИОННОГО ВАРИОМЕТРА ЭТВЕНА

Л.Этвеш сконструировал свои первые два вариометра - горизонтальный вариометр и вариометр для измерения кривизны - в 1890 году. С тех пор этот прибор постоянно усовершенствуется. Основные задачи усовершенствования заключаются в

- 1/ сокращении времени наблюдения,
- 2/ достижении портативности прибора и
- 3/ уменьшении его веса.

Не останавливаясь на рассмотрении типов, сконструированных в довоенный период, авторы дают описание новых вариометров типа Е-54 и Е-60 со временем успокоения соответственно 40 и 20 минут. Эффективная чувствительность в отношении градиента составляет у вариометра Е-54 - 0,25, а у вариометра Е-60 - 0,75 этвешей на 1/10 делений шкалы. Кроме этого изготовлен опытный образец градиентометра со временем успокоения равным 6-10 минут, и эффективной чувствительностью 1,2 Е. При помощи этого градиентометра определяются две составляющие градиента.

Заводом геофизических измерительных приборов сконструирован прототип градиентометра типа У-59, разработанного по проектам М.Сечёди. Время успокоения данного прибора составляет 15 минут, а эффективная чувствительность - 0,8 Е.

В СССР выпускаются градиентометры со временем наблюдения на одном пункте равным 15 минут и точностью измерения  $\pm 5$  единиц - Е.

Исследовательские работы по усовершенствованию гравитационного вариометра соответственно вышеуказанным целям, продолжаются.

J. Banai und St. Rybár

## WEITERENTWICKLUNG DER EÖTVÖS'SCHEN DREHWAAGE

Roland Eötvös konstruierte in den 1890-er Jahren die ersten zwei Exemplare seiner Drehwaage: das Krümmungsvariometer und das horizontale Variometer. Von diesem Zeitpunkt an bis zu den heutigen Tagen ging die Vervollkommnung des Apparates kontinuierlich vor sich. Die dabei führenden Gesichtspunkte sind, wie folgt: 1. Die Verkürzung des Messungsintervalles, 2. die Erzielung der Tragfähigkeit des Instrumentes und 3. die Verminderung des Gewichtes.

Die älteren - aus der Zeit vor der Befreiung stammenden - Typen beiseite lassend erwähnen wir die neueren Typen: E-54 /Variometer mit einer Beruhigungszeit von 40 Minuten /und E-60/ Apparat mit einer

Dämpfungszeit von 20 Minuten./ Die effektive Empfindlichkeit des Apparates E-54 für den Gradienten beträgt 0,25 Eötvös-Einheit, die des E-60 0,75 E, beide bezogen auf 1/10 Skalenteilung. Weiter wurde ein Versuchsexemplar eines Gradientenmessers hergestellt, dessen Beruhigungszeit 6-10 Minuten und seine effektive Empfindlichkeit 1,2 E beträgt; mit diesem kann man die zwei Komponenten des Gradienten durch Beobachtung in zwei Stellungen bestimmen.

Die Fabrik Geophysikalischer Instrumente /GMG/ hat den Prototyp des Gradientenmessers Y-59 - konstruiert nach den Plänen von N. Szelesdy - fertiggestellt, welcher eine Beruhigungszeit von 15 Minuten und eine effektive Empfindlichkeit von 0,8 E aufweist.

In der Sowjetunion wird ein Gradientenmesser mit vier Gehängen fabriziert mit einer Beobachtungszeit von 15 Minuten und einer Messgenauigkeit von + 5 E-Einheit.

Die Versuche zur Weiterentwicklung der Eötvös'schen Torsionswaage werden nach den angegebenen Gesichtspunkten fortgesetzt.

## A TORZIÓS-INGA FEJLESZTÉSÉRŐL

Banai Gyula

Az 1890-es évek táján szerkesztette meg Eötvös Loránd torzióingájának két típusát: a görbületi variométert és a horizontális variométert. A görbületi variométer

$$\left( \frac{\partial^2 k}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 k}{\partial x^2} \right) \quad \text{és} \quad \frac{\partial^2 k}{\partial x \partial y}$$

mennyiségeket méri, még a horizontális variométerrel a két görbületi komponensen kívül meghatározhatók a

$$\frac{\partial^2 k}{\partial x \partial z} \quad \text{és} \quad \frac{\partial^2 k}{\partial y \partial z}$$

gradiens komponensek is. Ezt tudvalevően Eötvös azzal a zseniális ötletével érte el, hogy a lengőrendszer egyik súlyát alacsonyabb nívóban helyezte el. Eötvös - aki a nehézségi erőter teljes meghatározására törekedett - a későbbiek során már csak a horizontális variométert fejlesztette tovább.

Eötvös és tanítványai, továbbá számos gravitációval foglalkozó külföldi szakember a horizontális variométerek egész sorát szerkesztették meg. A fejlesztés főbb szempontjai a következők voltak:

1./ A mérési idő rövidítése.

2./ A műszer hordozhatóvá tétele abból a célból, hogy ezáltal



terepmérésre alkalmas legyen.

3./ A műszer méreteinek és súlyának csökkentése.

4./ A mérési adatok fotografálása.

A felszabadulás előtt készült hazai és külföldi műszerekről nem szándékozom beszélni, mert azokat a szakemberek jól ismerik a velük foglalkozó szakirodalomból.

A felszabadulás után Magyarországon mind tudományos és műszaki vonalon, mind pedig anyagi téren meg voltak a lehetőségeink ahhoz, hogy a torziós-inga fejlesztésével foglalkozhassunk. Ezenkívül a külföldi geofizikusok is újra érdeklődtek a torziós-inga iránt. Ilyen feltételek mellett készült 1954-ben az E - 54 típusu 40 perces csillapítású Eötvös-inga. Ennél a főszempont az volt, hogy olyan nagyérzékenységű műszert tervezzünk, amely Magyarországon már hagyományossá vált. Így tehát nem gondolhattunk a csillapodási idő lényeges rövidítésére.

A csillapodási idő egy azimutban 40 perc, a gradiensre vonatkozó effektív érzékenység  $1/4$  Eötvös egység  $1/10$  skálánként. A mérés pontossága  $\pm 1$  E.

Az automatikus forgató szerkezet mechanikus kioldású. A fotografikus regisztráló készülék a következő elvi alapon működik. Miután a két antiparallel elhelyezésű lengő rud beáll nyugalmi helyzetébe, a kapcsoló óra meggyújtja a skálákat megvilágító izzókat. Az optikai elemek /prizmák, tükrök, lencsék/ a skála képét a lengő rudakon lévő mozgó tükrökre vetítik, majd onnan visszaverődve a skálákat a fonálkeresztek síkjára képezik le. Ezután egy vetítő berendezés a fonálkereszt és a skála együttes képét vetíti a fényérzékeny lemezre, vagy a helyére tehető vizuális leolvasó távcsőbe. Így a műszer egyaránt használható fotografikus regisztrálással és vizuális leolvasással is.

Itt alkalmaztuk első ízben azt a gyakorlatban igen jól bevált megoldást, hogy a műszer számát és a mérési pont számát ráfényképezzük arra a lemezre, amelyre az egyes azimutoknak megfelelő skálakép és fonálkereszt kép kerül. A mérési pont száma természetesen változtatható és kívülről állítható be.

A jobb hőmérsékleti védelem, tehát a kisebb hőmérsékleti járás elérése céljából a lengő rendszert négyes falu fémdobozban helyeztük el.

A műszert a Finommechanikai és Orvosi készülékeket gyártó KTSZ - FOK - gyártja nagy gonddal és kifogástalan minőségben. A mérő drótot a H.Áll. Eötvös Loránd Geofizikai Intézet gravitációs laboratóriuma készíti. A gyár által elkészített műszereket a laboratóriumba szállítják, itt beletesszük a mérő szálat és meghatározzuk a műszer állandóit. Ezután felvesszük a műszer hőmérsékleti járási görbéjét és úgy szabá-

lyozzuk be a műszert, hogy a hőmérsékleti járása minimális legyen.

Az Eötvös-inga elsősorban sík vidéken végzendő mérések céljára alkalmas, bár mi végeztünk már több alkalommal hegyvidéken és dombos vidéken méréseket és nagyon jó és megbízható eredményeket kaptunk.

Sík vidéken a gradiensek nagy többségének a nagysága általában 10-30 E egység körüli érték, de vannak területek, ahol 5 E egységnél kisebb értékeket kapunk. Ez utóbbi területeken feltétlenül szükségesnek tartjuk a nagyérzékenyséű torziósinga használatát.

Mínt hogy azonban ilyen kis anomáliákat mutató területek aránylag ritkán fordulnak elő, ezért célszerűnek tartottuk a kisebb érzékenyséű E-60 típusu, 20 perces csillapodási idejű Eötvös-inga megszerkesztését, mert ennek mérési ideje fele akkora, mint az E-54 típusé.

Mínt hogy a 20 perces ingát a 40 perces ingából fejlesztettük ki, arra törekedtünk, hogy célunkat a legkevesebb szerkezeti változtatással érjük el. Ezért olyan torziós drótot választottunk, amelynek torziós nyomatéka háromszor nagyobb a régebbinél. Ilyen megoldás mellett a lengő rendszer csillapítását kellett megfelelően beállítani a belső doboz függőleges méretének alkalmas megválasztásával úgy, hogy a csillapított lengés az aperiodikus határhelyzethez közel legyen. Mínt hogy a skálaértékben kifejezett mérési tartomány is egyharmad része a 40 perces inga mérési tartományának, ezért elegendő, ha az ütközési közt 60 skálára állítjuk be a régi 180 skálával szemben.

Az E-60 típusu 20 perces inga effektív érzékenysége a gradiensekre vonatkozóan 0,75 E egység tizedskálánként, pontossága pedig  $\pm 3$  E egység. A görbületi adatokra vonatkozó effektív érzékenység 2,2 E egység tizedskálánként.

Ha a torziós-inga csillapodási idejét tovább csökkentjük, akkor annak a görbületekre vonatkozó szögérzékenysége már nem lesz kielégítő. Ezért a rövid csillapodási idejű torziós-ingát célszerű úgy megszerkeszteni, hogy az csak a gradiens mérésére legyen alkalmas. Ezt annál is inkább megtehetjük, mert a gyakorlati geofizikai kutatásoknál általában elegendő a gradiensek ismerete. A görbületi adatok csak egyes speciális problémák megoldásánál /törésvonalak pontosabb kimutatása/ és a geodéziai célu méréseknél játszanak fontos szerepet.

Az általunk szerkesztett gradiensmérő, amelynek kísérleti példányával kielégítő mérési eredményeket kaptunk, 6-8 perc alatt csillapodik meg. A két lengő síkja egymásra merőleges elrendezésű, tehát két állásban észlelve - 180°-os elforgatással - megkapjuk a gradiens két komponensét 12-20 perc alatt. Az effektív érzékenység 1,2 E egység tizedskálánként. A rendelkezésünkre álló aránylag kevés mérési adatból számítható pontosság  $\pm 3$  E egység.



A műszer fotografikus regisztrálásra és vizuális leolvasásra egyaránt alkalmas. Az azimutok beállítása, az elforgatás és a film továbbbitása manuálisan történik.

Mint hogy a skálaértékben kifejezett mérési tartomány 20-20 skála, ezért lehetséges az optikai vetítő berendezés olyan megoldása, hogy a lengő tükörrre a fonálkereszt képét vetítjük és ennek a visszavert képét a skála síkjára képezzük le, majd a fonálkereszt és a skála együttes képét vetítjük a filmre, vagy a leolvasó távcsőbe. Tehát a leolvasó távcsőben álló skálaképet és rajta mozgó fonálkeresztet látunk a műszer deszarretálásakor. Ennek előnye az, hogy a szabadban szelens időben is éles skálaképet kapunk és azon az esetleg kissé elmosódott fonálkereszt képe jól leolvasható lesz.

A gradiensmérőt Dewar palackban fogjuk elhelyezni, tehát mérés közben a lengők terében alig lesz hőmérsékletváltozás, így a hőmérsékleti járás gyakorlatilag zérus lesz.

A Geofizikai Mérőműszerek Gyára Szecsődy Miklós, dr. Haáz István, Szerdahelyi József és Vargha Sándor tervei alapján elkészítette az Y-59 típusu ferde rudu kettős torziós ingát, amelynél egy elmés szerkezet segítségével a forgatás és az ütközések ideje alatt a lengési közt 8-10 skálára csökkentik, és ezáltal a csillapodási idő 15 perc lesz. Tehát 3 azimutban észlelve 45 perc alatt megmérhető a két gradiens komponens és a két görbületi komponens is.

A műszer effektív érzékenysége a gradiensre vonatkozóan 0,8 E tizedskálánként.

A műszer méretei és súlya kicsiny, csomagolása könnyű. Külföldön tudomásunk szerint egyedül a Szovjetunióban foglalkoznak gradiensmérő gyártásával. A leningrádi "Geologorazvedha" gyár GRB-2 típusu négy lengős gravitációs gradiensmérőjével egy ponton 15 perc alatt mérhető meg a gradiens.

A műszer vizuális leolvasásu. Pontossága  $\pm 5$  E egység, súlya 25 kg.

A torziósingák és gradiensmérők tökéletesítésére vonatkozó kísérletek folyamatban vannak, azokat a jövőben is folytatni fogjuk annál is inkább, mert a kínai Népköztársaságban végzett sikeres mérések a külföldi szakemberek érdeklődését újra felkeltették a torziós ingamérések iránt.

MEGJEGYZÉSEK "A TORZIÓINGA FEJLESZTÉSÉRŐL"  
C. CIKKHEZ

Rybár István

A cikkhez néhány kiegészítést óhajtok hozzáfűzni.

Ugyanis szólanı kívánok azokról a szempontokról és módokról, amelyeket az inga fejlesztésénél alkalmaztak, még pedig nemcsak a fel szabadulás után szerkesztett, hanem az elözı idıben készült ingákra vonatkozólag is.

A torziósinga fejlesztésének feladatai: az inga méreteinek ki sebbítése, a csillapodási idı, általában az észlelési idı csökkentése, az észlelések pontosságának fokozása.

E törekvések megvoltak már Eötvösnél, aki a torziósingák egész sorozatát szerkesztette meg a fenti követelmények megvalósítása cél jából.

Az elsı, a szabadban is használható torziósingája, a századfor duló idejében szerkesztett u.n. Balatoni inga, amellyel a befagyott Balaton jegén végezte uttörı vizsgálatait, egyrészt, hogy gravitációs módszerének használhatóságát próbálja ki, másrészt, hogy tapasztala tokat gyűjtsön az inga fejlesztése céljára. Az ekkor szerzett tapasztalatokat felhasználva 1902. év körül szerkesztette meg az u.n. ket tıs ingáját, amelyben két teljesen egyforma lengırendszer van egyet len ingaházba beépítve, antiparalel állásban. Ezzel az elrendezéssel elérte azt, hogy egy állomáson felállított ingával 5 azimut helyett csupán 3 azimutos észlelés elégséges a gravitációs adatok meghatáro zásához. Ezzel lehetővé vált az észlelési idıt 3:5 arányban csökken tenie.

Eötvös az észlelési idıt tovább csökkentette azért, hogy az inga erısebb csillapításával az inga csillapodási idejét 1 és 3/4 órá ról 1 órára kisebbítette. Kimutatta ugyanis, hogy az ingát közvetlenül körülváró legbelsı doboz függéyes méretének csökkentésével az inga csillapodása növekszik, sőt kellı szükítéssel a lengés aperiódikussá is válik.

Ezzel a "nagy" kettıs ingatípussal végezték Eötvös és munkatír sai Eötvösnek 1919-ben bekövetkezett haláláig, sőt egyideig azon is tul Magyarországon a torziósinga méréseket. Ez az ingatípus volt az, amely elıször terjedt el külföldön is.

A fejlısés további feladata volt az inga méreteinek csökkentése.

Ezt a feladatot Eötvös ama törvények felhasználásával oldotta.



meg, hogy a torziósszál torziónyomatéka a szál átmérőjének 4-ik hatványával, teherbirása ellenben csak a 2-ik hatványával arányos. Ha tehát a torziósszál vékonyabb, akkor az inga érzékenysége erősebben nő, mint amennyivel a kisebb ingasúlyok miatt az érzékenység kisebbedik. Az így származó érzékenység-többletet az inga hosszmereteinek kisebbítésére lehet felhasználni.

Igy Eötvös a nagy ingában használt 40 mikron vastagságu platina-iridium szál helyett ugyanolyan hosszúságu, 56 cm hosszú 20 mikronos platinairidium szálát vett. E kétszer vékonyabb szál esetén az inga  $2^4$  azaz 16-szor válik érzékenyebbé. Viszont a szál teherbirása csak  $2^2$  azaz 4-szer lesz kisebb, s így ha ennek megfelelőleg a lengő súlyait 4-szer könnyebbé tesszük, akkor ez az érzékenységet negyedére csökkenti, míg ugyanakkor a 2-szer vékonyabb szál 16-szor teszi azt érzékenyebbé. A 4-szeres érzékenység-többletet az eszköz méreteinek, mint karhosszának és a lengősúlyok függélyes szintkülönbségének felére való csökkentésére használjuk fel.

Ez alapon szerkesztette meg Eötvös kis ingáját, amelynek karhossza, ugyszintén lengősúlyainak szintkülönbsége fele a nagy ingáénak, a lengő súlyai kb.  $1/4$ -ea nagyénak, a torziósszál nyomatéka pedig 16-szor kisebb az eredeti inga torziós nyomatékánál.

Eötvös halála után a torziósingát Eötvös tanítványai fejlesztették tovább. A 20-as évek közepén Pekár Dezso szerkesztette meg az elterjedten használt Eötvös-Pekár-féle vizuális ingát, amelyet Eötvös által szerkesztett kis inga méreteit nagyjában megtartva a nagy inga mechanikai szerkezetében valószínűsített meg. Pekár nem törekedett az inga méreteinek további csökkentésére, hanem arra, hogy az ingát megbízhatóbbá, pontosabbá tegye. Sikerült is neki gyors hőmérsékletváltozások alkalmával a legbelső doboz belsejében létrejövő légáramok szabályozásával elérnie azt, hogy az inga nemcsak éjjel, hanem nappal is a legrosszabb hőmérsékletváltozások alkalmával is megbízható értékeket adjon. Az inga csillapodási ideje 40 perc.

Az inga méreteinek további csökkentését az u.n. Auterbal ingában valószínűsítettem meg azért, hogy egyrészt még vékonyabb szálát használtam, másrészt pedig főleg azzal, hogy az adig használatos platina-iridium szál helyett a jóval nagyobb szakítási szilárdságu wolfram-szálát használva az ingát nagyobb súlyokkal terhelhettem meg. Az Auterbal ingának karhossza 7 cm a lengő súlyai 15 - 15 gr., a két súly függélyes szintkülönbsége 20 cm., a torziósszál hossza 20 cm. Az inga csillapodási ideje: 40 perc. Az inga automatikusan forgató és fotografikusan regisztráló torziósinga.

Magyarországon kívül külföldön is szerkesztettek Eötvös-ingákat. Ezek közül többekben a méretet azzal csökkentették, hogy az ingaruda-

kat Z alakúvá, ill. ferdévé tették, miáltal azokat súlypontjukhoz közelebb függesztve fel az egész inga függélyes mérete kisebbé vált.

A fejlesztés másik fontos feladata a csillapodási idő csökkentése, mert ezáltal az észlelési idő megrövidíthető.

Az első ingák csillapodási ideje 1 óra volt, a későbbieké 40 perc, a legujjabbaké pedig 15 - 20 perc.

A csillapodási idő eme csökkentése azáltal vált lehetővé, hogy a legbelső doboz függélyes méretét szűkítették. Ezáltal a lengő csillapodása növekedett, ami a doboz további szűkítésével egészen az aperiódikus állapotig volt fokozható.

Ettől eltérő módja a csillapodási idő csökkentésének az az eljárás, amellyel az inga méreteit, főként karhosszát jelentékenyen csökkentjük, s ezzel az inga lengésidjét csökkentjük. De a méretek eme csökkentésével az inga szögérzékenysége kisebbedik. A szögérzékenység eme veszteségét az optikai nagyítás növelésével pótoljuk úgy, hogy az inga effektív érzékenysége lényegesen ne változzék meg.

Igy pl. ha a 10 cm karhosszusú inga karhosszát 4-szer rövidebbé, tehát 2.5 cm hosszúvá tesszük, akkor az inga lengésidje 4-szer lesz rövidebb, a szögérzékenysége a gradiensre nézve ugyancsak 4-szer lesz kisebb. Ha tehát az inga optikai nagyítását 4-szer nagyobbá tesszük, akkor az inga effektív érzékenysége változatlan marad, de mérete és csillapodási ideje az eredeti ingáénál jóval kisebb.

A csillapodási idő csökkentésének ezt a módját a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Osztályának 1952. évi Közleményeiben részletesen ismertettem.

Az itt közölt elv felhasználásával szerkesztettünk meg az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben egy kisméretű, 3 cm karhosszu, a lógósúlyok közötti 15 cm szintkülönbségű gradiensmérő kísérleti példányát, amelynek csillapodási ideje 6-8 perc, pontossága 3 E.e. E gradiensmérő a gyártásához szükséges előkészítő munkálatok elkészítésére készen áll.