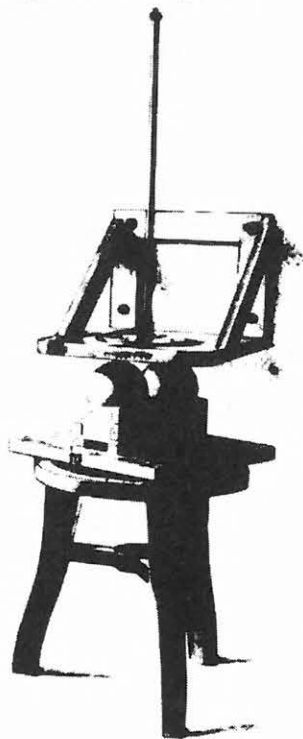


Az Eötvös-inga históriája

A kezdetek

EÖTVÖS Loránd 1886-ban kezdett gravitációs kutatással foglalkozni. Kísérleteihez a Coulomb-féle ingát alkalmazta, melynek megépítéséhez olyan torziós szálat készített, amelyet „öregbítési” eljárással megszabadított a szál gyári előállításánál kialakult feszültségektől. Az öregbítési eljárás segítségével sikerült olyan torziós szálat előállítani, melyeknek rugalmas járása minimális, ezáltal nagy pontosságú mérések céljaira alkalmassá váltak.



1. ábra. Gravitációs multiplikátor, 1887

Első gravitációs műszerét, a tömegvonzás szemléltetésére, 1887-ben építette meg. Ez a műszer a *gravitációs multiplikátor* kezdetleges alakja — klasszikus Coulomb-, ill. Cavendish-féle felépítés, torziós szálon függő vízszintes kar, két végén elhelyezkedő, azonos nagyságú tömeggel. A falra szerelt inga alatt kis asztalon két ólomgolyót helyezett el, melyeket kézzel kellett az inga egyik oldaláról a másikra áthelyezni (1. ábra). Ha az ólomgolyókat az inga lengésidejének periódusában helyezük át a lengő rúd egyik oldaláról a másikra, akkor az eltérítő golyók tömegvonzása következtében az inga — a meg-meglökött hintához hasonlóan — egyre nagyobb amplitúdóval leng. Később az ólomgolyók áthelyezését automatikusan működő szerkezet végezte,

az inga lengéseit pedig fotografikus úton regisztrálták.

1890-ben készült el a *görbületi variométer*, mely már önálló állványon működő szerkezet, de még mindig a Coulomb-féle inga (2. ábra). Ezzel a műszerrel végezte EÖTVÖS első kísérleteit a súlyos és tehetetlen tömeg arányosságának vizsgálatára [EÖTVÖS 1896]. A kísérletek lényege, hogy az inga lengőjére különböző anyagból készült, azonos súlyú tömegeket helyezett. Megállapította az inga egyensúlyi helyzetét, majd a műszert 180° -kal elfordítva megismételte a mérést. Amennyiben a két különböző anyagból készült tömegre ható nehézségi erő, amely a Föld tömegvonzásának és a földforgás következtében fellépő centrifugális erőnek az eredője, eltérő, akkor a két állásban a leolvasási értékek nem lesznek azonosak. EÖTVÖS azonban ilyen eltérést nem tapasztalt, következtetésképpen kimondhatta, hogy a vonzóerőben szereplő (súlyos) tömeg és a centrifugális erőben szereplő (tehetetlen) tömeg aránya legfeljebb műszerének érzékenységénél kisebb értékkel tér el egymástól. EÖTVÖS első kísérleteivel az ekvivalencia elvét $1/20\,000\,000$ pontossággal igazolta. FEKETE Jenővel

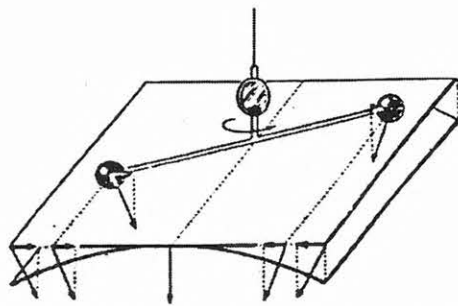
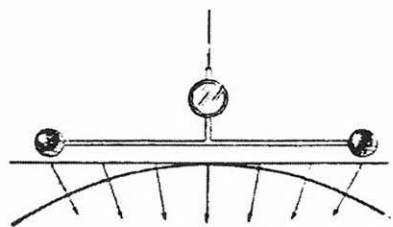


2. ábra. Görbületi variométer, 1890

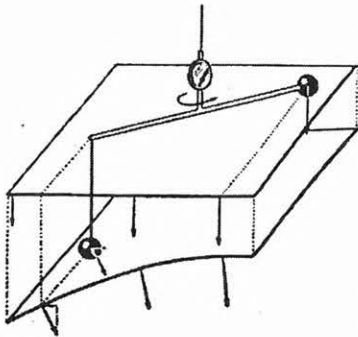
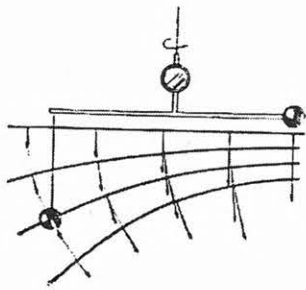
és PEKÁR Dezsővel végzett későbbi kísérletei során ezt a pontosságot még egy nagyságrenddel növelni tudták.

A görbületi variométer EÖTVÖS a Rudas-fürdő épületében is felállította és meghatározta lengési idejét két, a Dúnával párhuzamos, illetve arra merőleges, a Gellért-hegy tömege felé irányuló helyzetben. A két lengésidő között tapasztalt jelentős eltérés megfelelt a Gellért-hegy számított tömegvonzásának. Ezek a kísérletek adták az alapgondolatát annak az új dinamikus eljárásnak, amellyel EÖTVÖS később a gravitáció állandóját meghatározta.

A görbületi variométer egyébként a nehézségi erőter potenciálfelületének alakváltozásaira érzékeny. Ha olyan nívófelületet tekintünk, amelyet koncentrikus hengerpalástok alkotnak, ezeken belül a nehézségi erő értékének a nagysága nem változik, hiszen a nívófelületek sűrűsége állandó (3. ábra). Amint az ábrából kitűnik, mégis adódik forgatónyomaték, amely az ingarudat a hengeralkotó, tehát a legkisebb görbület irányába igyekszik beforgatni. Gömbszerű nívófelületek esetén nem lép fel forgatónyomaték. Az általános eset a két helyzet között van. A görbületi variométer tehát a görbületi eltérés értelmének megfelelően a potenciálfelület gömbfelülettől való eltérését méri.



3. ábra. A potenciálfelület alakjának hatása a görbületi variométerre

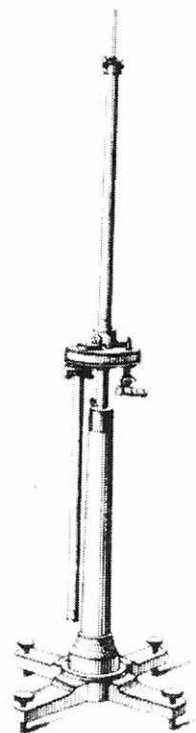


4. ábra. A nehézségi erő horizontális gradiensének hatása a torziós ingára

Ebben az esetben a sík alatt levő szintfelületek nem párhuzamosak, hanem abban az irányban, amelyben a nehézségi erő értéke nő, összesűrűsödnek. Ennek következtében a mélyebben levő szintfelületek meggörbülnek. Ha az inga az ábrán látható helyzetet foglalja el, a felső tömegre ható erőnek nincs forgató összetevője. Az alsó tömegre ható vonzás felbontható az inga szálával (forgástengely) párhuzamos és arra merőleges összetevőre. A vízszintes összetevőnek van forgatónyomatéka, és ez a torziós szál ellenállásával szemben a lengőrudat elforgatja. Az elforgatásnál a lelógó tömeg mindig az erő növekedésének irányába mozdul el.

EÖTVÖS számításokkal is igazolta elgondolását és 1890-ben megépítette első igazi torziós ingáját, a később róla elnevezett Eötvös-ingát, melyet *horizontális variométernek* nevezett el (5. ábra). A műszer tulajdonképpen laboratóriumi célokra készült, tükrös leolvasása külön állványra helyezett skála és távcső segítségével történt. Műszeréről EÖTVÖS maga a következőket mondja:

„Egyszerű egyenes vessző az az eszköz, melyet én használtam, végein különösen megterhelve és fémtokba zárva, hogy ne zavarja se a levegő háborgása, se a hideg és meleg változása. E vesszőre minden tömeg a közelben és a távolban kifejti irányító hatását, de a drót, melyre fel van függesztve, e hatásnak ellenáll és csavarodásával a rá ható erőknek biztos



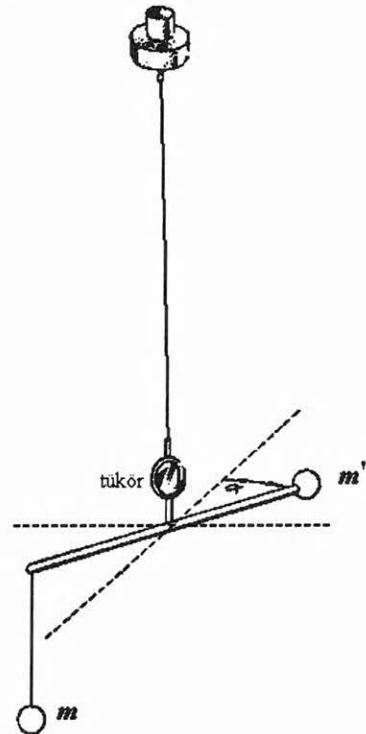
5. ábra. Horizontális variométer, az első Eötvös-inga, 1890

mértéket adván. A Coulomb-féle mérleg különös alakban, annyi az egész. Egyszerű, mint Hamlet fuvolája, csak játszani kell tudni rajta, és miként abból a zenész gyönyörködötető változásokat tud kicsalni, úgy ebből a fizikus, a maga nem kisebb gyönyörűségére, kiolvashatja a nehézségnek legfinomabb változásait. Ily módon a földkéreg oly mélységeibe pillanthatunk be, ahová szemünk nem hatolhat és fúróink el nem érnek.”

Az Eötvös-inga működési elve

Ahhoz, hogy az inga működését és a későbbi fejlesztési törekvéseket megértsük, röviden tekintsük át EGYED nyomán [EGYED 1955] az inga működési elvét.

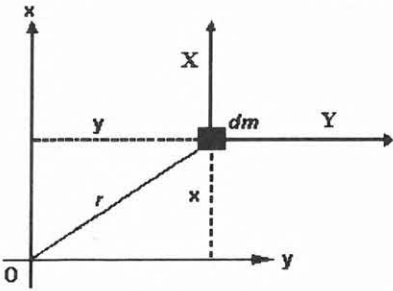
Az Eötvös-inga elvileg két egyenlő nagyságú, de különböző szintben levő tömeget tartó rúd, amely egy igen vékony, 0,02–0,03 mm átmérőjű wolfram- vagy platinaszálhoz van rögzítve és a szál maga egy tartóállványra van felfüggesztve. Az ingát alkotó két tömeg tehát csak vízszintesen tud mozogni, úgy, hogy a lengő elfordul a rugalmas szál körül (6. ábra).



6. ábra. Az Eötvös-inga működési elve

A nehézségi erő mindkét tömegre vonzást gyakorol. Miután a két tömeg egymással egyenlő és a felfüggesztő száltól vett vízszintes távolságok is egyenlők, ha a nehézségi erő értéke, tehát nagysága és/vagy iránya nem változik meg, akkor semmiféle erőhatás nem lép fel, mivel a két tömegre a forgatónyomatékok összege zérus. Ha azonban a nehézségi erő nagysága vagy iránya (esetleg mindkettő) a két tömeg helyén különböző, akkor forgatónyomaték lép fel a karon és ez a lengőt igyekszik elforgatni. A nehézségi erő folytán fellépő forgatónyomatékkal szemben működik a szál torziója. Ha a szál megcsavarodik, akkor feszültség lép fel benne, amely a deformációt meg akarja szüntetni. A nehézségi erő tehát legfeljebb addig forgathatja el a rudat,

amíg a szálaban fellépő csavarási feszültség forgatónyomatékával egyenlő nem lesz és az egyensúly be nem áll.



7. ábra. A torziós inga egy pontjára ható forgatónyomaték

Az Eötvös-inga elméletének vázlata a következő (7. ábra): tekintünk egy dm tömeget a vízszintes x - y koordinátasíkban. Erre a dm tömegrre hat egy P erő. E P erőt felbonthatjuk X és Y összetevőre. A P erőnek a koordináta-rendszer O közép-

pontjára vonatkoztatott forgatónyomatékát a dm tömegrre a következő összefüggés adja:

$$F = (Yx - Xy) dm$$

Az egész tömegrre vonatkozó forgatónyomatékokat az egyenlet dm szerinti integrálja adja.

A nehézségi erőnek az O pontban nincsenek vízszintes összetevői, mert itt az erő merőleges a síkra, de az O ponttól r távolságban már lesznek a nehézségi erőnek a síkba eső komponensei, melyek a potenciálfüggvény második deriváltjainak segítségével írhatók le. A megfelelő erőkomponensek behelyettesítése, és a műszer szimmetriájából következő egyszerűsítések után az inga alapegyenlete a következő alakot ölti:

$$n - n_0 = \frac{DK}{\tau} \left[\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) \sin 2\alpha + 2U_{xy} \cos 2\alpha \right] + \frac{2Dmhl}{\tau} (U_{yz} \cos \alpha - U_{xz} \sin \alpha)$$

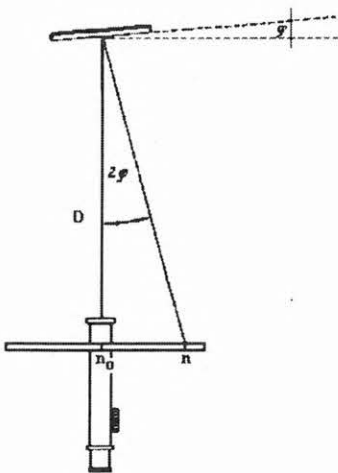
A képletben szereplő $\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$ kifejezést U_{Δ} -val szokás jelölni. U_{Δ} és $2U_{xy}$ a nehézségi erőter görbületének, U_{xz} és U_{yz} pedig gradiensek komponensei.

Az egyenlet megértéséhez a következőket kell tudni: a nehézségi erő F forgatónyomatéka miatt a szál φ szöggel megcsavarodik. A megcsavarodásból származó csavarási

feszültség értéke $\tau\varphi$, ahol τ a szál torziós együtthatója. Az F forgatónyomaték ezzel tart egyensúlyt.

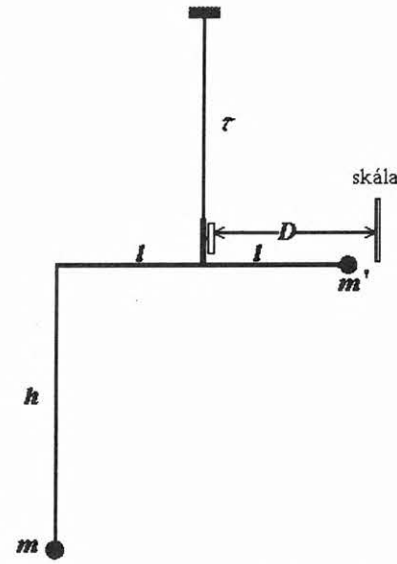
Miután a φ szöget valamilyen tükrös leolvasóberendezéssel, vagy fotografikusan észlelik, célszerű ezt a leolvasóberendezés skálaértékében kifejezni (8. ábra).

Az ábra szerint, ha elcsavarodás-mentesen a skála n_0 értékét olvastuk le, akkor a lengő φ szöggel való elcsavarodása után a távcsőbe bekerülő n skálaértékből



8. ábra. Az elfordulásszög és skála-érték összefüggése

kiinduló sugár a távcső tengelyének irányával már 2φ szöveget zár be, és ha a tükrö-skála távolságot D -vel jelöljük, akkor $(n - n_0)/D = \text{tg} 2\varphi$. Miután φ roppant kicsi, kifejezhető közvetlenül szögmértékben is, mégpedig $\varphi = (n - n_0)/2D$ alakban.



9. ábra. Az Eötvös-inga érzékenységet meghatározó adatok

Az inga egyenletében a DK/τ és a $2Dmhl/\tau$ értékek a műszer állandói, ismert, vagy meghatározható értékek (9. ábra). K a lengő tehetetlenségi nyomatéka. Az inga lengőjének az északi irányval bezárt α szögét mi állítjuk be. Az egyenletben ismeretlen a potenciálfüggvény négy komponense (U_{xz} , U_{yz} , U_{Δ} és $2U_{xy}$) és ismeretlen a torziós szál feszültségmentes helyzetének skálaértéke n_0 . Az öt ismeretlen meghatározásához 5 egyenletre van szükségünk. Miután az egyenletben α változtatható, az 5 különböző irányban való észlelés mellett adódó 5 egyenletből minden ismeretlen kiszámítható. A csavarásmentes egyensúlyi helyzetet az 5 észlelési érték középértéke adja.

A hőskor, vagy platina korszak

Platina korszaknak nevezhetjük a torziós inga történetének azt a szakaszát, amely EÖTVÖS életéhez kapcsolódik. E korszak jellemzője egyrészt, hogy az inga lengőjén elhelyezett tömegek a lehető legkisebb kiterjedés érdekében nagy fajsúlyú platinából készültek, másrészt, hogy a műszerek egyedi példányok. Az ingák sorozatgyártása — platina helyett már arany súlyokkal — csak EÖTVÖS halála után kezdődött.

A laboratóriumi méréseket követően EÖTVÖS a pestlőrinci házának kertjében felállított vászonsátorban végzett méréseket, melyek nappal a nagy hőmérséklet-változások miatt megbízhatatlan eredményeket adtak, éjjel viszont az egyenletesebb hőmérséklet hatására jó eredményeket kapott. Ettől kezdve a terepi méréseket, egészen 1932-ig, kizárólag éjszaka végezték.

Az első tényleges terepi mérésre 1891 augusztusában került sor a Celldömölk melletti Ság-hegyen. Az akkor még szabályos csonka kúp alakú hegy gravitációs hatása ugyanis aránylag könnyen számítható, így alkalmas volt a mérési eredmények ellenőrzésére. Előzőleg STERNECK ezredes végzett relatív inga méréseket a hegytető mintegy 150 m távolságra levő két pontján és a két szomszédos pont között 33 mGal különbséget kapott, ami kb. 2200 eötvösnyi gradiensnek felel meg. EÖTVÖS mérései, melyeket KÖVESLIGETHY Radó, TANGL Károly és BODOLA Lajos — később neves egyetemi tanárok — közreműködésével

végzett (10. ábra), STERNECK eredményeit megcáfolták és a Ság-hegyen mindent „rendben” találtak.

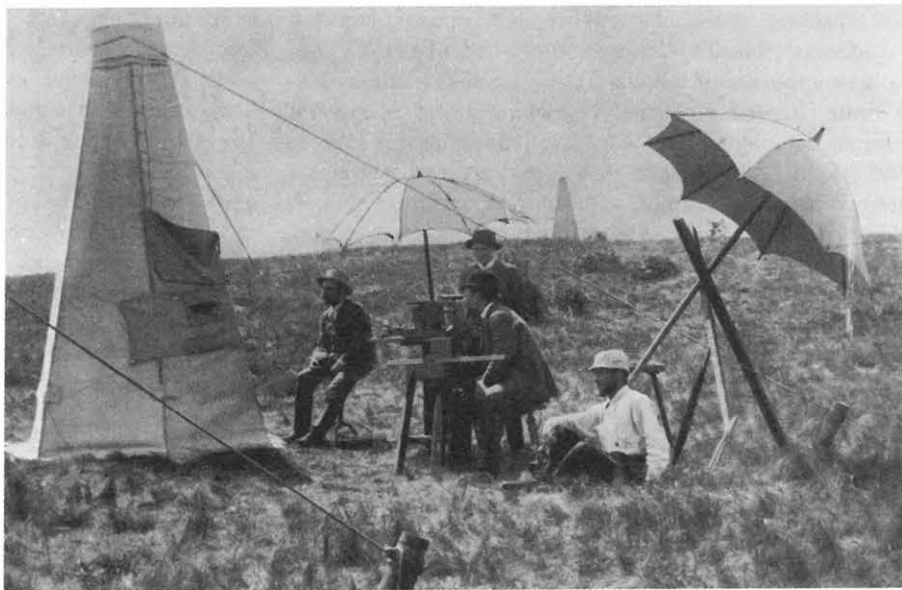
Az Eötvös-ingáról szólva okvetlenül meg kell emlékeznünk SÜSS Nándorról (11. ábra), aki mechanikus-dinasztia tagjaként a németországi Marburgban született 1848-ban.

SÜSS 1876-ban a Kolozsvári Egyetem meghívására települt át Magyarországra. A vallás- és közoktatási miniszter 1884-ben Budapestre rendelte és megbízta egy mechanikai tanműhely felállításával. A tanműhelyt a Mozsár utcában nyitotta meg, de már 1891-ben Budára költöztette, az akkor még a város peremén fekvő, mai Alkotás utca 7–9. számú lakóépületek helyére. A hely kiválasztásánál szempont volt egyrészt, hogy érzékeny műszereinek készítéséhez zavartalan környezetet biztosítson, másrészt, hogy a geodéziai műszerek hitelesítéséhez szükséges terepi alappontok rendelkezésére álljanak. Műhelye kezdetben mindenfajta mechanikai munkával foglalkozott, de hamarosan kizárólag finommechanikára specializálódott. Elsősorban geodéziai, erdészeti, bányászati, tengerészeti és csillagászati, valamint egyéb egyedi tudományos műszereket készített. A tanműhely állami segélyezése 1900-ban megszűnt és akkor a cég SÜSS Nándor magánvállalatává alakult. Kinőve az Alkotás utcai telephelyet, 1904-ben költözött a Csörsz utcába, a saját tervei alapján épült új gyárába.



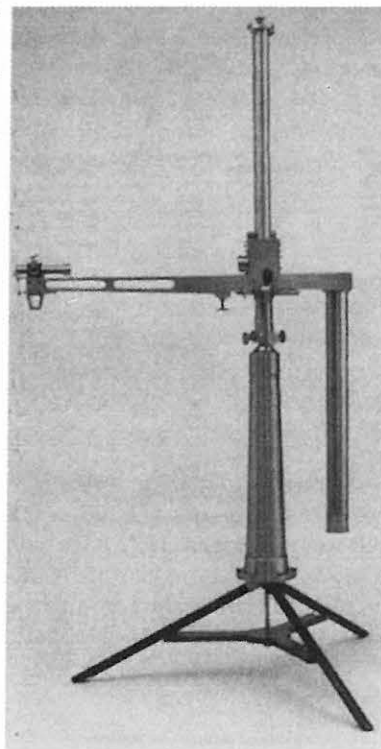
11. ábra. Süss Nándor

Amilyen kiváló szakember volt SÜSS Nándor, olyan rossz üzletembernek bizonyult: Annak ellenére, hogy gyára alig győzte a megrendelések teljesítését, mégis állandó anyagi nehézségekkel küzdött. Ezért 1918-ban gyárából részvénytársaságot alapított SÜSS Nándor Präcisiós-mechanikai és Optikai Intézet Rt. néven (a MOM — Magyar Optikai Művek — elődje), de a szakmai irányítás továbbra is kezében maradt. Nevéhez fűződik a magyar műszergyártás megteremtése. Tanműhelyében kiváló szakembereket nevelt, akik később, önállósodva, további sikereket értek el a műszerfejlesztés és -gyártás terén. Műszerei különféle kiállításokon számos aranyérmét és oklevelet nyertek és hamarosan nemzetközi hírnévre tettek szert. Munkássága elismeréseként FERENC JÓZSEF koronás arany érdemkereszttel tüntette ki. 1921-ben tragikus villamosbaleset következtében hunyt el.



10. ábra. A nevezetes Ság-hegyi mérés 1891-ben. A távcsövön észlel EÖTVÖS Loránd, előtte ül BODOLA Lajos, a földön KÖVESLIGETHY Radó, mögötte áll TANGL Károly

EÖTVÖS ingájának megszerkesztésekor került kapcsolatba SÜSS Nándorral, aki kiváló érzékénél és képzettségénél fogva ettől kezdve EÖTVÖS állandó partnereként részt vett az ingák mechanikai tervezésében és megépítésében. Gravitációs és mágneses kutatásairól írott alapvető dolgozatában [EÖTVÖS 1896] a következőképpen emlékezik meg SÜSS Nándor tevékenységéről: „Az új eszközöket, melyekre vizsgálataimhoz szükségem volt, mind Süss Nándor úr, az állami mechanikai tanműhely igazgatója itt Budapesten készítette, avval a kiváló gondnal, pontossággal és csinnal, a mely keze munkáját jellemzi.”

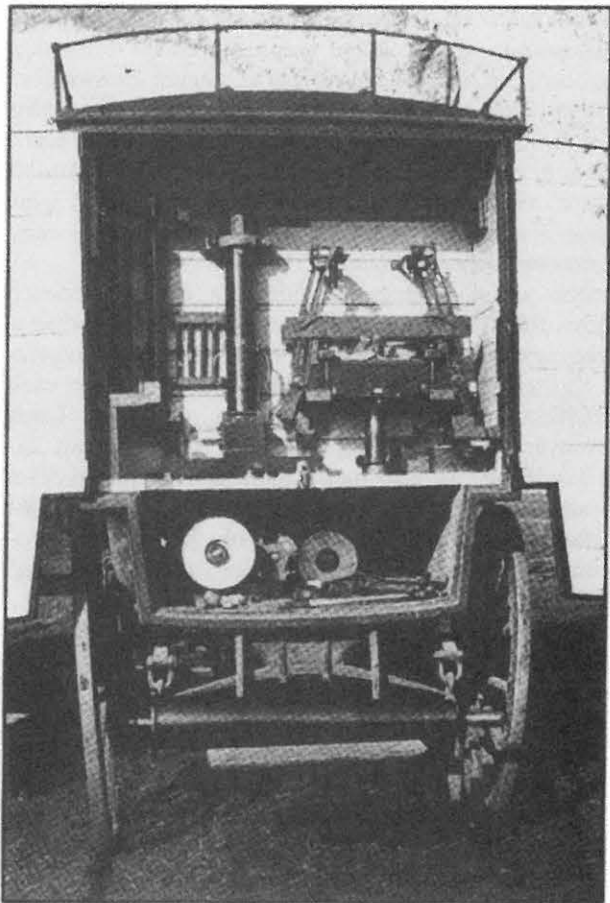


12. ábra. Balatoni inga, 1898

Elsősorban neki köszönhetjük, hogy EÖTVÖS megmaradt műszerei mind mechanikai, mind esztétikai szempontból páratlan alkotások.

EÖTVÖS a sikeres Ság-hegyi mérés után élete végéig műszere további tökéletesítésén dolgozott. Hogy eredeti célkitűzését, a nehézségi erőter potenciálfelületének minél részletesebb vizsgálatát, véghez tudja vinni, olyan műszerre volt szüksége, mely nemcsak a laboratóriumban, de terepen is könnyen kezelhető. Így született meg 1898-ban az egyszerű nehézségi variométer, mely a későbbiekben a balatoni inga nevet kapta (12. ábra). A műszer a könnyebb al-

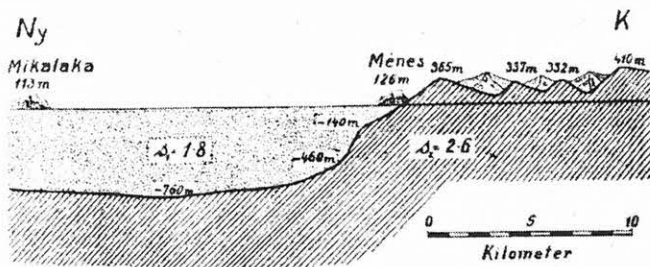
tották (16. ábra). A műszert minden állomáson újra össze kellett állítani, majd szét kellett szerelni. Részben ennek, részben a 60 perces csillapodási időnek köszönhetően éjszakánként csak egy állomást tudtak lemérni. A mérés megkövetelte az észlelő állandó jelenlétét, aki a mérési pont közelében felvert lakósátorban töltve az éjszakát, kénytelen volt a mérések előrehaladtával naponta költözni. A kocsi vontatására lovakat, vagy ökröket alkalmaztak. Ugyanakkor bevezették a manapság ismét divatosá váló kombinált fuvarozást, nagy távolságra a mérőkocsikat vonaton szállították.



16. ábra. Műszerkocsi az inga terepi szállítására

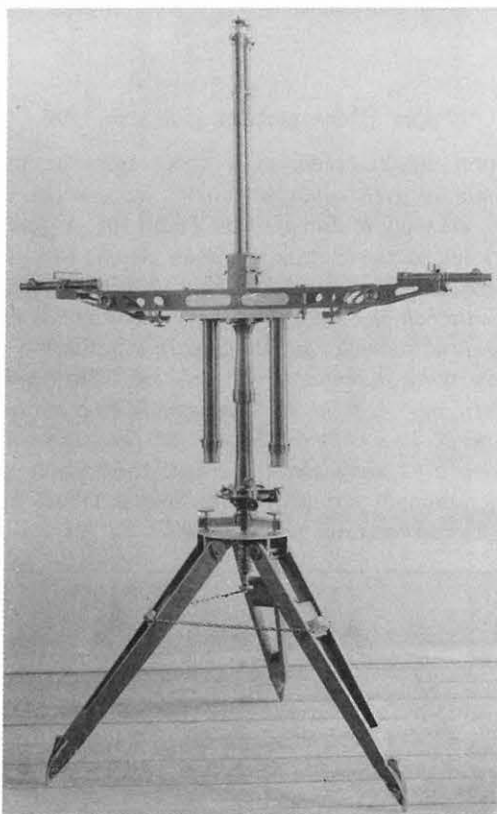
A rendszeres terepi mérések 1902-ben a Fruska Gora hegységtől északra levő területeken kezdődtek, majd Arad környékén folytatódtak. Az Internationale Erdmessung (a Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió — IUGG — elődje) 1906-ban Budapesten tartotta XV. kongresszusát, ahol EÖTVÖS beszámolt terepi méréseiről. A résztvevők kételkedve hallgatták a nagypontosságú terepi mérésekről szóló beszámolót, mire EÖTVÖS felajánlotta nekik, hogy személyesen győződjenek meg a mérések pontosságáról és látogassák meg az Arad vidékén PEKÁR vezetésével dolgozó terepi csoportot. A meghívást a résztvevők elfogadták és a látottak hatására beadvánnyal fordultak a magyar kormányhoz, hogy EÖTVÖS addig nagyrészt SEMSEY Andor nagyvonalú támogatásával végzett kutatásait az állami költségvetés is támogassa. A beadványnak köszönhetően 1907-től EÖTVÖS kutatásai önálló állami támogatásban részesültek. Ugyancsak az aradi mérésekhez kapcsolódik az első

gravitációs adatok alapján szerkesztett földtani szelvény (17. ábra).



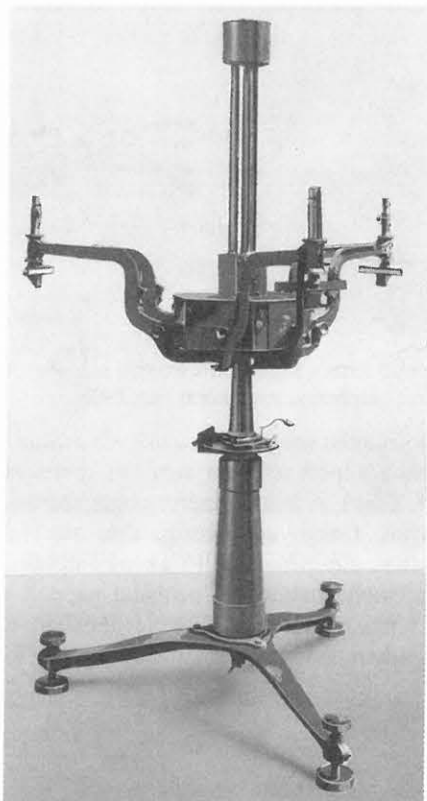
17. ábra. Az első torziós inga adatok alapján szerkesztett földtani szelvény, Arad környéke, 1906

1908-ban született meg az ún. *kettős kis eszköz*, amely az előző ingákhoz képest jelentős súly- és méretcsökkentést jelentett (18. ábra). A kisebb méret miatt azonban a külső zavaró hatások (talajnyugtalanág, szél stb.) jelentősen megnövekedtek. Említésre méltó az ugyancsak 1908-ban készült inga, mely vízhűtéssel próbálta nappali észlelésre alkalmassá tenni a műszert. Kivitele azonban túlságosan bonyolultra sikeredett, így zsákutcába vezető kísérletnek bizonyult.



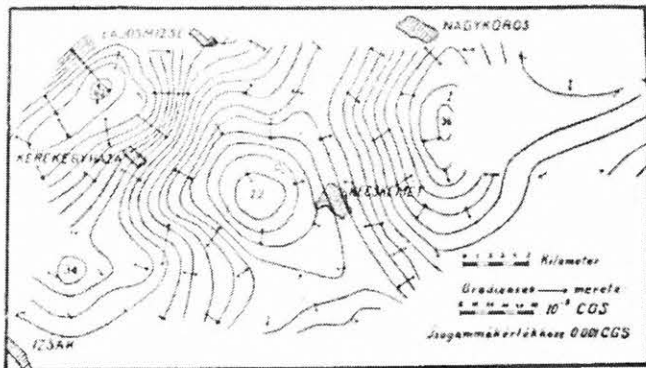
18. ábra. Kettős kis eszköz, 1908

1909-ben fejlesztették ki a *hármás görbületi variométert*, amely lelógó súlyok hiányában csak a görbület mérésére volt alkalmas. A műszerbe három, egymáshoz képest 120° -kal elforgatott lengőszerkezet volt beépítve (19. ábra). Tekintettel arra, hogy a gyakorlati mérésekben egyre inkább a gradiens meghatározása vált uralkodóvá, a műszert csak speciális esetekben, főleg geodéziai célból végzett méréseknél alkalmazták. Továbbfejlesztésére nem került sor.



19. ábra. Hármás görbületi variométer, 1909

A korai mérési eredmények közül említésre méltó a Kecskemét környékén végzett torziós inga mérés, melyre az 1911. évi nagy földrengés után került sor. A gradiensek és a belőlük szerkesztett izogammák alapján (20. ábra) a következő megállapításra jutottak: „A sűrűbb altalajban tehát a középben egy mélyedés van, innen a szélek felé haladva a sűrűbb tömeg emelkedik, majd ismét leesik. Szóval egy kráterszerű alakulattal van dolgunk, illetve helyesebben szólva, egy oly fajta ‚körhegységgel‘, mint amilyenek a holdkráterek. Ez a különös alakulat kétségtelenül összefügg a kecskeméti földrengéssel.” A rengés C-vel jelölt epicentruma a minimum közepébe esik. Sokkal többet ma sem tudunk a kecskeméti rengés eredetéről.



20. ábra. Kecskemét környékének gradiens- és izogamma térképe, 1911

Az Internationale Erdmessung 1912. évi, Hamburgban tartott XVII. kongresszusára készített jelentésében a torziós inga gyakorlati alkalmazhatóságával kapcsolatban EÖTVÖS az alábbiakat írja: „A geológusok egyetérten látszanak abban, hogy a gázt tartalmazó területeken a legkiadósabb kiömlések

a gázokat tartalmazó és takaró rétegek antiklinálisai közvetlen közelében jönnek létre. Az Amerikában (Ohio) nyert tapasztalatok és maguk az erdélyi megfigyelések is emellett tanuskodnak, amennyiben ott a rétegek települési módja és gyűrődései földtani kutatások révén tisztázható volt. Ilyen geológiai ismertetőjelek azonban teljesen hiányoznak a nagy magyar Alföld homok és humusz borította felületéről. Aki itt és ehhez hasonló területeken gázokat tartalmazó antiklinálisokat keres, nem szabad, hogy elmulassza a torziós ingás megfigyelésekből adódó következtetések levonását.”

Hogy EÖTVÖS, a fizikus számára mennyire fontos volt méréseinek földtani értelmezése, azt a Magyar Tudományos Akadémia 1901. évi közgyűlésén mondott elnöki beszédének az alábbiakban idézett, költői szépségű részlete bizonyítja legszívesebben: „Itt, lábaink alatt terjed el, hegyek koszorújával övezve az Alföld rónasága. A nehézség azt lesimítván, kedve szerint formálta felületét. Vajjon milyen alakot adott neki? Micsoda hegyeket temetett el és mélységeket töltött ki lazább anyaggal, amíg létrejött ez az aranykalászkokat termő, magyar nemzetet éltető róna? Amíg rajta járok, amíg kenyerezt eszem, erre szeretnék még megfelelni.”

Ebben az időszakban kezdődött az Erdélyi-medence részletes földtani térképezése, melynek célja elsősorban a műtrágyagyártáshoz szükséges kálisótelepek felkutatása volt. Kezdetben a sós kutak vizét analizálták, de mivel ezek a vizsgálatok nem vezettek eredményre, id. LÓCZY Lajos indítványára 1908-ban Nagysármás határában fúrásos kutatás kezdődött. Az első fúrás különösebb eredményekkel nem szolgált, ezért Kissármás határában egy újabb fúrást mélyítettek, melyből földgáz tört fel oly erővel és mennyiségben, hogy a fúrótorony faváza is kigyulladt. Ezt az első sikeres fúrást hamarosan követték a többiek [BÖHM 1939].

Miután az erdélyi földgáz-előfordulások zöme antiklinális szerkezetekhez kötött, hamarosan felmerült az ötlet, hogy a kutatásokba célszerű bevonni az Eötvös-inga méréseket [SZILÁRD 1984]. Ez az az időszak, amikor a geológusok figyelme fokozatosan az inga mérések felé irányul. Ennek eredményeképp 1912 és 1914 között nagy arányú torziós inga mérések folytak az Erdélyi-medencében, melyek célja az antiklinálisokra utaló gravitációs maximumok, ill. esetleg sőtömszökre utaló gravitációs minimumok kijelölése volt. Az erdélyi méréseknek a világháború kitérése vetett véget. A terepi méréseket EÖTVÖS maga értékelte ki, de az eredményeket nem publikálta. Így arról nincs közvetlen tudomásunk, hogy a torziós inga mérések által nyert információkat a geológusok mennyiben használták fel további kutatásaikhoz. Közülük BÖCKH Hugó volt az, aki a legnagyobb érdeklődést tanúsította az Eötvös-inga mérések iránt és az ő ajánlatára 1915-től kezdődően a Pénzügyminisztérium is egyre nagyobb figyelmet fordított a gyakorlati célú torziós inga mérésekre.

BÖCKH Hugó (1874–1931, 21. ábra) — a neves geológus, BÖCKH János fia — tanulmányait a budapesti egyetemen végezte. Oklevelének megszerzése után a Műegyetem Ásványtani Intézetében dolgozott, majd Münchenben képezte tovább magát, ahol egy év után megszerezte doktorátusát.



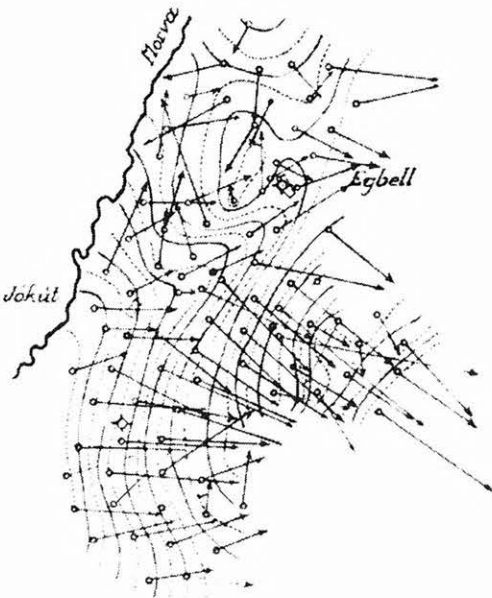
21. ábra. BÖCKH Hugó

Alig 26 éves, amikor a selmecbányai Bányászati és Erdészeti Akadémia tanára lett. A sármási földgáz megtalálása után, 1908-ban megbízták az állami szénhidrogén-kutatások vezetésével. Kezdeményezésére a Pénzügyminisztériumban az állami bányászati monopóliumok és kutatások részére külön ügyosztályt állítottak fel, melynek vezetésével 1914-ben őt bízták meg. Ebben az időben indítja el az Egbell környéki kőolajfúrásokat, amelyek eredményesnek bizonyultak.

BÖCKH Hugó hívta fel a figyelmet az Eötvös-féle inga mérések nagy gyakorlati lehetőségére és rámutatott arra, hogy az antiklinálisok és sódómok felkutatásával az eszköz kiváló szolgálatokat tehet a szénhidrogén-kutatásoknak. Az erdélyi és egbelli mérések az ő elképzelését igazolták, és neki köszönhető, hogy a torziós ingával végzendő terepi méréseket a Pénzügyminisztérium bányakutatási programjába felvette. 1921-ben megvált az állami szolgálatától és az Anglo-Persian Oil Company Ltd. szakértője és tanácsadója lett. Ebben a minőségben dolgozott kezdetben hazánkban, majd Perzsiában, Irakban, az USA-ban, majd ismét Perzsiában. A magyar kormány meghívására 1929-ben a MÁFI igazgatója lett. Külföldi tapasztalatait az Intézet újjászervezésében és új földtani eljárások bevezetésében értékesíti. Munkássága során ismételten rámutatott a torziós inga nagy gyakorlati jelentőségére és jelentősen közreműködött abban, hogy az inga mérések fontosságát világszerte tudatosítsa [PEKÁR 1932].

Az első aranykor

A „mérőföldkövek” egyik legjelentősebbje az Egbell (Gbely, Szlovákia) környéki mérés (22. ábra). BÖCKH Hugó, LÁZÁR Vazul és PAPP Simon földtani térképezése



22. ábra. Egbell környékének gradiens térképe, 1916

alapján Egbell környékén egy antiklinális alakja körvonalazódott. A tetején létesített fúrás 1913 végén, meglepően kis mélységben, 70–160 m között földgázt, 160–250 m között kőolajat talált [BÖHM 1935]. A későbbi termelő fúrások alapján az antiklinális meglehetősen pontosan körvonalazható volt. BÖCKH Hugó javaslatára, aki már korábban fi-

gyelemmel kísérte a terepi torziós inga méréseket, EÖTVÖS és munkatársai 1916-ban felmérték a területet. A mérési eredményeket PEKÁR az alábbiakban foglalta össze: „Egbell környékén, ahol olajok után kutattak, méréseinkkel teljesen, olyan alakulatot állapítottunk meg, mint amelyet a geológusok is meghatároztak.”

E mérés bebizonyította az Eötvös-inga alkalmazhatóságát a szénhidrogén-kutatásban és ezzel megteremtette a kőolajkutató geofizika alapjait. Ez a mérés alapozta meg az Eötvös-inga későbbi világhírét, mert segítségével szerte a világon, de főleg az Egyesült Államokban igen nagyszámú, kőolajat és földgázt tartalmazó antiklinális és sódómot fedeztek fel. Sódóm kutatására elsőként SCHWEYDAR alkalmazta az Eötvös-ingát. 1917-ben — BÖCKH Hugó egbelli publikációja alapján — végzett sikeres méréseket egy ismert északnémet (Nienhagen-Haenigsen) sótómsz területén.

Kőolajkutató terén az első külföldi kezdeményezők a Royal Dutch Shell és az Anglo-Iranian Csoport voltak [DE GOLYER 1938]. Tudomásunk szerint az első külföldi mérést az egyiptomi Hurghada mezőn végezték 1921 őszén, vagy 1922 tavaszán. Az Egyesült Államokban DE GOLYER rendelte az első ingákat a budapesti Süss-gyártól [PROUBASTA 1984]. Az első két inga 1922 novemberében érkezett meg és ezek voltak az első olajkutató geofizikai műszerek az amerikai kontinensen.

Az első méréseket az Amerada Petroleum Corporation keretében Donald BARTON vezetésével GILMOUR végezte a Spindletop (Texas) mezőn, ahol az ismert kőolaj-előfordulás sótómszhoz kapcsolódott. Az amerikai kontinensen ez volt az első geofizikai térképezés egy ismert olajmezőn, mely gyakorlatilag az egbelli mérés mintájára történt. Ebben az esetben azonban a kőolajtelep nem antiklinálishoz, hanem sótómszhoz kapcsolódott.

(GILMOUR színesen számol be a torziós ingával való megismerkedéséről. Fizikus végzettségű volt és kimondottan az Eötvös-inga mérésekre szerződtek. Miután hamarabb munkába lépett, mintsem az első ingák megérkeztek, főnöke, Donald BARTON megbízta hogy fordítsa le EÖTVÖS németül is megjelent dolgozatát. GILMOUR nyelvtudása a tanult latinon és görögön kívül francia volt, németül nem tudott, de ezt senki sem kérdezte tőle. Egy szótár és egy nyelvtankönyv segítségével látott neki a reménytelennek tűnő munkának. Mikor elkészült és nagy büszkén benyújtotta az angol fordítást, kiderült, hogy BARTON már előzőleg lefordította a cikket, neki csak azért adta oda, hogy legyen tennivalója.)

Az első sikeres kutatás, ahol a kőolajtelep megtalálása 1924-ben torziós inga mérés alapján kitűzött kutatófúrással történt, a Nash sódóm (Brazoria County, Texas) volt. Az első sikeres kutatást hamarosan követték a többiek. JAKOSKY szerint a 30-as évek elején több mint 125 inga dolgozott az Egyesült Államok területén és 1938 elejéig — csak a Gulf Coast-on — 79 olajmezőt fedeztek fel Eötvös-inga mérés alapján. (Szovjet adatok szerint a Volga és az Ural közötti területen 1934-ig több mint 400 sótómszöt találtak.)

A kezdeti sikerek egy csapásra a nemzetközi olajtársaságok érdeklődésének előterébe helyezték EÖTVÖS műszerét. Ugrásszerűen megnőtt a kőolaj- és földgázkutatással foglalkozó szakemberek érdeklődése, akik — EÖTVÖS halála után — a PEKÁR vezetésével megalakított Báró Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben (ELGI) sajátították el a műszer elméletét és gyakorlati alkalmazását. Az Eötvös-

inga méréseknek az amerikai földrészen történő elterjedéséhez nagy mértékben hozzájárult EÖTVÖS tanítványa, FEKETE Jenő, aki 1905-től tanársegédként ismerkedett meg a módszerrel. 1915-ben állami szolgálatba került, de szolgálati helye továbbra is a torziós inga mérésekhez kötötte. 1923-ban lemondott állásáról és a Royal Dutch Shell olajtársaság alkalmazottjaként 1926-ig Mexikóban és Venezuelában végzett torziós inga méréseket. 1927–34 között a Torsion Balance Exploration Co. alkalmazásában az USA Texas és Luisiana államában geofizikus tanácsadóként működött. Külföldi tartózkodása alatt több mint 80 kutatási projektben vett részt. Hazatérve, PEKÁR Dezső nyugalomba vonulása után, az ELGI igazgatójaként kamatoztatta külföldi tapasztalatait. Neki köszönhető az újabb geofizikai eljárások (szeizmikus, elektromos és mélyfúrású geofizikai módszerek) meghonosítása.

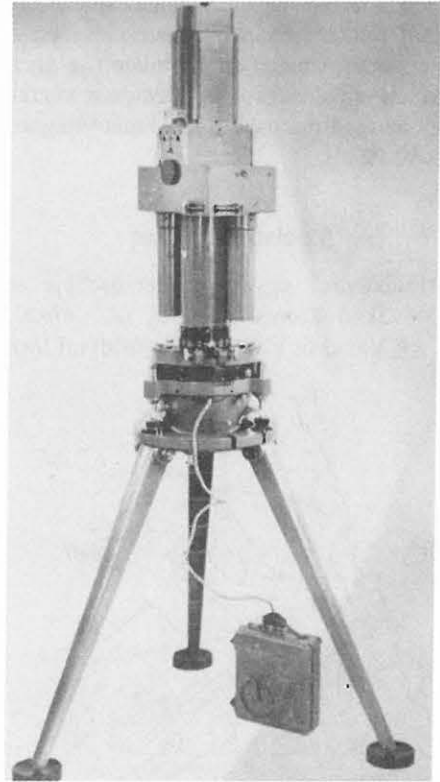
Míg az EÖTVÖS idejében épített ingák egyedi példányok voltak, halála után, az olajtársaságok hirtelen megnőtt igényeinek kielégítésére 1925-ben, az ekkor már részvénytársasági formában működő Süss Nándor-féle intézetben megkezdődött a kettős nagy ingák kissé módosított változatának sorozatgyártása. A módosítások lényege az alábbiakban foglalható össze: A műszer háza súlycsökkentés céljából sárgaréz helyett alumíniumból készült, az inga lengőjén elhelyezett tömegek platina helyett aranyból készültek és a felső, eredetileg henger alakú tömeg helyett a kedvezőbb légcillapítás érdekében lapos súlyt alkalmaztak. Az arretáló egységet átalakították, hogy a műszer tetszőleges helyzetben is szállítható legyen. Ezek a változtatások nagymértékben megkönnyítették az ingák terepi alkalmazását. A műszer „lelkét” jelentő torziós szálak készítése és a műszerek beszügyelése továbbra is az ELGI-ben folyt.

A sorozatgyártással párhuzamosan a volt tanítványok folytatták mesterük műszerének tökéletesítését. A legnagyobb problémát a hőmérsékleti zavarok okozták. A külső hőmérséklet változása két módon befolyásolja az inga méréseket. Az egyik a torziós szál hőmérsékletváltozás okozta elcsavarodása, mely jelenség aránylag könnyen kezelhetőnek bizonyult. Egyrészt meghatározták a torziós szálak hőmérsékleti állandóit és a nagy hőmérsékleti járást mutató szálakat kicserélték, másrészt pedig a kis hőmérsékleti együtthatójú szálak csavarodását az észlelések feldolgozásánál járásként (drift) vették figyelembe. Nagyobb nehézséget okoztak a műszer belsejében fellépő légáramlatok, amelyeket az egyenetlen felmelegedésből származó hőmérsékleti gradiens okozott. Ez a hatás műszerenként változó mértékű volt és nyilvánvalóan függött a műszer burkolatának megmunkálási és illesztési pontosságától. A hőmérsékletváltozás következtében fellépő légáramlatok teljesen tönkretelheték az észleléseket. A probléma megoldása megkívánta a műszerek egyedi és aprólékos vizsgálatát. Több évig tartó kísérletezés után végül az alsó súlyt tartalmazó henger torkolatában elhelyezett, speciálisan kiképzett, terelőlemezek segítségével sikerült a légáramlatok hatását minimalizálni, illetve megszüntetni. A műszerek nagyfokú hőérzékenysége volt az oka, hogy a terepi észleléseket kezdetben csak éjszaka, jó hőszigetelő anyagból készült műszerházban végezték. A terelőlemezek alkalmazása tette lehetővé a nappali észlelések bevezetését.

A fejlesztés általános célkitűzése volt a műszer méreteinek csökkentése és az észlelési idő rövidítése. A méretek

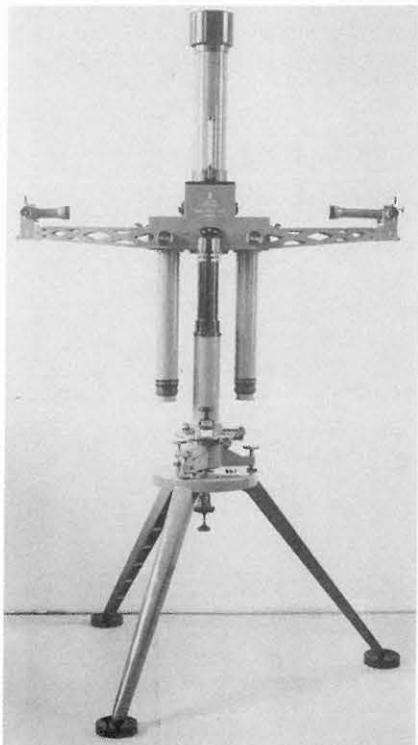
csökkentését a kisebb súly és könnyebb szállíthatóság mellett a torziós szál hosszának rövidítése is indokolta. A horizontális variométerben alkalmazott 100 cm, sőt még a sorozatban gyártott nagy ingákban használt 56 cm hosszúságú torziós szálak készítése és kezelése roppant körülményes volt, mert hosszúságuk miatt könnyen megsérültek.

Két eltérő fejlesztési irányzat alakult ki: RYBÁR István, EÖTVÖS későbbi utóda a Kísérleti Fizikai Tanszéken, a méretek csökkentése mellett az észlelések automatizálását igyekezett megoldani. Az általa a 20-as évek közepén kifejlesztett *Auterbal* (Automatic Eötvös–Rybár Balance) GR-5 típusú ingáknál (23. ábra) a 40 percre csökkent észlelési idő mellett a legjelentősebb változás a műszer forgatásának rugós óraszerkezettel történő megoldása és a műszer leolvasási értékeinek fotografikus rögzítése volt. Az észlelés automatizálása szükségtelessé tette az észlelő állandó jelenlétét, így lehetővé vált, hogy egy észlelő két ingával párhuzamosan végezzen méréseket. Kétségtelen azonban, hogy a kényes óraszerkezet folyamatos műszaki készenlétet igényelt.



23. ábra. Eötvös–Rybár inga (Auterbal), 1928

PEKÁR a méretek és a lengésidő csökkentésére helyezte a fő hangsúlyt és a műszerek egyszerűségének megőrzésére törekedve ragaszkodott a vizuális leolvasás megtartásához. E módszer kétségtelen előnye, hogy az észlelő addig folytathatta az észleléseket, amíg megfelelő eredményre jutott, ellentétben a fotografikus észlelésű ingákkal, melyeknél csak a fotólemez előhívása után derült ki a mérés jósága. A Pekár-féle ingák hazai használatban *Eötvös–Pekár*-ingaként szerepeltek (24. ábra), de hivatalos típusjelzésük *Small Original Eötvös G-2* volt. A műszernek három változata volt, melyek lényegében csak a torziós szál hosszában különböztek egymástól. Az 1926-ban gyártásra került ingában a szál hossza 50 cm volt, az 1928-as típusé 40 cm, míg az 1930-as ingáé 30 cm.



24. ábra. Eötvös-Pekár inga (G-2), 1928

A magyarországi kőolajkutatásban az EUROGASCO (a MAORT és a MOL jogelődje) 1933 októberében kezdte meg a geofizikai kutatást a Dunántúlon [PAPP 1939]. A kezdeti gravitációs méréseket torziós ingával végezték. A vállalat első fúrásponjtját, a Mihályi-1 fúrást, a torziós inga mérésekkel kimutatott gravitációs maximum tetőpontjára telepítették. A fúrás befejezésekor néhány szeizmikus szelvénnel ellenőrizték a maximum jelenlétét. Az inkei és görgetegi fúrásokat ugyancsak gravitációs maximumokra telepítették

Az első magyarországi szénhidrogénmező — a budafapusztai — megtalálása is Eötvös-inga mérésekhez kapcsolódott. Az első, meddőnek bizonyult budafapusztai fúrást PÁVAI VAJNA Ferenc felszíni geológiai térképezése alapján BÖCKH Hugó tűzte ki 1920-ban. Az 1737 m mély fúrás azonban jelentéktelen olajszerű gázyomon kívül semmi érdemlegeset nem talált. A területet 1934–35-ben Eötvös-ingával felmérték és annak ellenére, hogy a dímbesdombos topográfia nem ideális terepe az inga méréseknek, mégis körvonalazható volt a K–Ny irányú, mindkét végén záródó antiklinális, melyet később szeizmikus mérések is igazoltak. A maximum tengelyébe telepített Budafapuszta-2 fúrás 1937. november 21-én kőolajat talált. Ez a dátum jelzi a magyar kőolajipar születésnapját.

A továbbiakban folytatták a Dunántúl rendszeres torziós ingás felmérését. Az EUROGASCO, majd a MAORT keretében összesen mintegy 29 000 Eötvös-inga állomás lemérése került sor. Ezzel párhuzamosan az Alföldön az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet végzett hasonló mennyiségű torziós inga mérést

Az első aranykorban kb. 125 darab különböző típusú inga készült Magyarországon, melyet a világ 30 országában alkalmaztak.

Az 1930-as évek végére a kisméretű, könnyen kezelhető, sokkal termelékenyebb graviméterek, kisebb pontosságuk

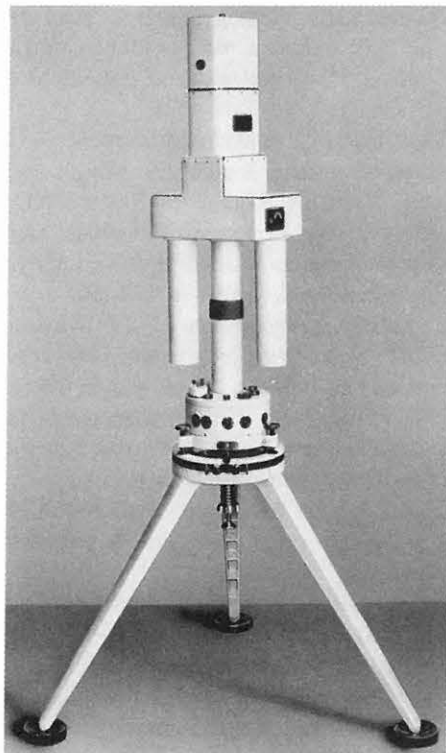
és kevésbé „intelligens” voltak ellenére, világszerte háttérbe szorították az Eötvös-ingát.

A második aranykor

A második világháborút követő években gyors fejlődés következett be a graviméterek építésében és gyártásában. Megjelentek a ma is legkorszerűbb első Worden és LaCoste-Romberg típusok. A hidegháborúnak köszönhetően azonban a modern gravimétereket stratégiai jelentőségűnek minősítették, így a vasfüggönytől keletre eső országok nem juthattak hozzá a korszerű műszerekhez. A Szovjetunióban folyt ugyan gravimétergyártás, de minőségük meg sem közelítette a nyugati gyártmányúakét. Nagyrészt ennek volt köszönhető, hogy 1952-ben elsősorban lengyel igényre felmerült egy korszerű torziós inga kifejlesztésének ötlete. A feladatot RYBÁR István és BANAI Gyula kapta. RYBÁRnak több évtizedes műszerszerkesztői tapasztalata volt, BANAI pedig közel két évtizedes terepi mérési tapasztalattal rendelkezett. Az új műszerrel szemben a következő követelményeket állították fel:

- nagy érzékenység, 2,5–3,0 E/skálárész,
- teljesen automatikus működés,
- rövid mérési idő,
- elhanyagolható hőmérsékleti járás.

Ezek a feltételek egy 40 perces csillapodású ingával tűntek megvalósíthatónak. A szerkesztők az Eötvös-Pekár-inga lengőjének méreteiből és az Auterbal-inga automatikus szerkezetéből indultak ki. BANAI, hosszú terepi gyakorlata alapján, jól ismerte a fotografikus és automatikus rendszer gyenge pontjait, ezért az új műszer szerkesztésénél üzembiztosabb megoldásokra törekedett. A műszer prototípusa az ELGI finommechanikai műhelyében készült HERBÁLY Imre szerkesztői közreműködésével. Az inga 1954 végére készült el, ezért kapta az E-54 típusmegjelölést (25. ábra).



25. ábra. E-54 típusú inga, 1954

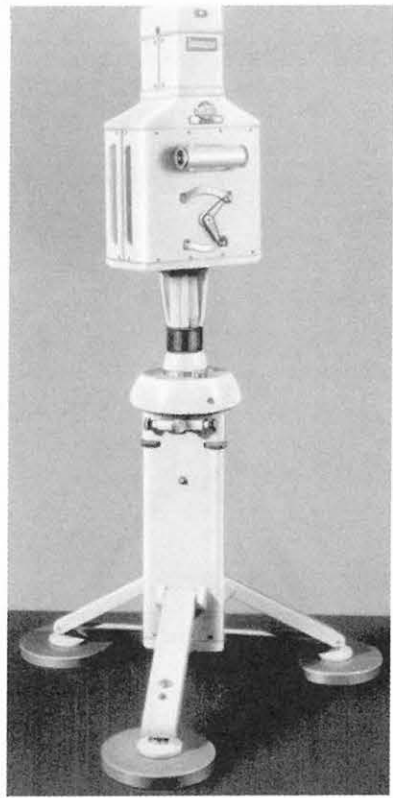
Ennél a típusnál alkalmazták először a skála és a fonálkereszt egyidejű fényképezését, ami nagymértékben egyszerűsítette a mérések kiértékelését. A fotolemezre ráfényképezeték a műszer gyári számát és egy állítható szerkezet segítségével az állomásszámot is. Ez a lépés megkönnyítette a mérések feldolgozását, mert nem fordulhatott elő a lemezek felcserélődése. A sorozatgyártást a FOK kisipari szövetkezet vállalta.

A torziós szálak készítése és a műszerek hitelesítése — a hagyományoknak megfelelően — az ELGI Eötvös-inga laboratóriumában történt. A típusból 1956–60 között 109 db készült, melyek 2 kivételével valamennyien exportra kerültek. Az ingát az 1957-es brüsszeli világkiállításon aranyéremmel tüntették ki. 1959-től a gyártással párhuzamosan kísérletek folytak az észlelési idő csökkentésére, ha máshogy nem, akár az érzékenység rovására. E kísérletekben több éves, Auterbal és E-54 típusú ingákkal végzett kínai mérési tapasztalat birtokában, már e sorok írója is részt vett. A kísérletek 1960-ban sikerre vezettek és megszületett az E-60 típusjelű, 20 perces csillapodási idejű inga, mely csak a torziós szál és a csillapítás tekintetében különbözött az előző típustól. Az E-60 típusból 1961–65 között 73 db készült, melyből 70 db került exportra. A típus a gyakorlatban beváltotta a hozzáfűzött reményeket, egyedül nagy súlya nehezítette terepi alkalmazását, különösen gépkocsival megközelíthetetlen terepi viszonyok között. Tekintettel arra, hogy e két típusból több készült, mint a háború előtti típusokból együttvéve, méltán nevezhetjük ezt az időszakot az Eötvös-inga második aranykorának.

A torziós inga újraindult gyártásának egyik eredménye a Kínai–Magyar Geofizikai Expedíció létrejötte 1956-ban. Az Expedíció keretében az ELGI és az OKGT szakemberei több mint hat éven keresztül sikeres köolajkutatótást végeztek a Kínai Népköztársaság területén. Az Expedíció feladatai között szerepelt jelentős létszámú kínai szakember kiképzése is, akik a mai napig — többen magas vezető állásban — elismeréssel emlegetik az Expedíció tevékenységét.

Az E-54-es inga gyártásával párhuzamosan a Geofizikai Mérőműszerek Gyárában SZECSDY Miklós vezetésével HAÁZ István, VARGHA Sándor és SZERDAHELYI József közreműködésével egy 15 perces csillapodási idejű, vizuális leolvasású torziós inga fejlesztése folyt, amelyet később fotografikus észlelőszerkezettel is elláttak. Az elkészült prototípus *Eötvös–Szecsődy-inga Y-59* típusmegjelölést kapta (26. ábra). Az inga lengőjének kiképzése eltért a hagyományostól, az ingakar 45° -os szöveget zárt be a vízszintessel, a felfüggesztő kar természetesen függőleges maradt. A lengő alakjáról kapta az inga az *Y* megjelölést. A szerkesztésnél figyelembe vették az E-54 típusú ingákkal szerzett tapasztalatokat és a mérési idő rövidítése mellett elsősorban a műszer súlyának csökkentésére összpontosítottak — sikeresen.

A műszer kis súlya ugyan előnyös volt, érzékenysége és mérési pontossága megközelítette az E-54 típusét, de a lengési intervallum szűkítése alapján működő manuális csillapító szerkezet a műszer kezelését túl bonyolulttá tette. A műszer előnyös tulajdonságai nem tudták ellensúlyozni a már sorozatgyártásban levő E-54 helyzeti előnyét, így gyártására nem került sor.



26. ábra. Eötvös–Szecsődy inga (Y-59), 1959

A 60-as években kísérletek folytak egy 4–5 perces csillapodási idejű, 4-lengős műszer kifejlesztésére is. A próbálkozások azonban, egyrészt a kísérleti eszköz nagyfokú zavarérzékenysége, másrészt a műszer iránt megnyilvánuló kereslet kétséges volta miatt félbeszakadtak. Az ELGI Eötvös-inga laboratóriumának 1969-ben történt felszámolása következtében a torziós inga fejlesztés és gyártás hazai története lezárult.

Magyarországon az utolsó Eötvös-inga terepi mérésre 1967-ben került sor. Az 1901–1967 közötti időszakban a MAORT, az ELGI és az OKGT összesen mintegy 60 000 állomáson végzett torziós inga mérést. Ebben a számban a határon túli területekre eső kb. 5000 állomás is bennfoglaltatik.

Külföldi próbálkozások

Nem lenne teljes az Eötvös-inga története, ha nem foglalkoznánk — ha csak röviden is és a teljesség igénye nélkül — a külföldi ingafejlesztési próbálkozásokkal és törekvésekkel.

Ingájának megszerkesztésekor EÖTVÖST a tudományos érdeklődés vezette, nem gondolt annak esetleges gazdasági jelentőségére, így ingáját nem szabadalmaztatta. Ennek következtében már életében többen próbálták műszerét — több-kevesebb sikerrel — másolni. EÖTVÖS maga minden külföldi érdeklődőnek szívesen állt rendelkezésére [PEKÁR 1925]. Elsőként Németországból jelentkeztek érdeklődők, így többek között O. HECKER professzor, aki a Potsdami Geodéziai Intézetben M. FECHNER irányításával készíttetett egy torziós ingát. Mintául EÖTVÖS kettős nagy ingája szolgált. HECKER

kérésére EÖTVÖS minden, ingával kapcsolatos információt és adatot rendelkezésére bocsátott, sőt még a torziós szálat is ő adta.

A Potsdamban készült műszer alapján szerkesztett W. SCHWEYDAR egy újabb típust, amelyet fotografikus észlelő berendezéssel egészített ki. Ez az inga szolgált a berlini Askania művek által gyártott műszer család alapjául. Az Askania-ingáknak alapvetően három változata volt. Az első, az ún. nagy inga megtartotta az Eötvös-féle lengőformát és nagyban hasonlított a kettős nagy ingához. A továbbiakban SCHWEYDAR egy Z alakú lengőjű ingát készített, a Z-40 típust. A későbbiekben ez az inga bizonyult az Askania-ingák közül a legsikeresebbnek és ez jelentette a Süss-gyár által készített magyar ingák legnagyobb konkurrenciáját. A harmadik változatban (S-20 típus) ferde karú lengőt alkalmaztak. Az inga csillapodási idejét jelentős mértékben, 20 percre csökkentették, de a gyakorlatban nem érte el a Z-40 típus népszerűségét. A ferdekarú típusból NIKIFOROV tervei alapján készült egy háromkarú változat is, de ez sem terjedt el a gyakorlatban.

Tekintettel arra, hogy az első sorozatban gyártott fotografikus észlelésű ingák Askania gyártmányok voltak, a köztudatban úgy rögzült, hogy a fotografikus észlelés ötlete SCHWEYDARIÓL származik, aki ezt szabadalmaztatta. A valóságban azonban EÖTVÖS már a balatoni ingánál alkalmazta a folyamatos fotografikus észlelést, melyet az 1900. évi párizsi világkiállításon be is mutatott. Ugyanakkor azonban terepi célokra túl nehézkesnek és bonyolultnak tartotta a fotografikus regisztrálást és terepi ingáinál a későbbiekben nem alkalmazta. Kétségtelen azonban, hogy a SCHWEYDAR által alkalmazott fotografikus észlelési mód, mely folyamatos észlelés helyett csak az inga egyensúlyi helyzetét rögzítette, jóval egyszerűbbnek bizonyult.

Egy másik német ingaépítési törekvés J. KÖNIGSBERGER freiburgi professzor nevéhez fűződik, aki Magyarországon tanulmányozta a torziós inga méréseket. Kérésére EÖTVÖS kölcsönözte számára a kettős kis ingát, amellyel O. HECKERREL közösen több éven keresztül végeztek terepi méréseket Németországban. E műszer alapján fejlesztette ki HECKER a Gesellschaft für Praktische Geophysik, Freiburg részére a maga ingaváltozatát, amelyből később kisebb széria is készült. A londoni Oertling cég torziós ingájának megszerkesztésekor az eredeti Eötvös-modellt és az Askania medelljét is figyelembe vette, a fő hangsúlyt az automatikus regisztrálás ügyes megoldására helyezte. A műszer azonban nappali észlelésre alkalmatlannak bizonyult.

A külföldi kutatók legfőbb törekvése — a hazaiakhoz hasonlóan — a mérési idő csökkentése volt, ennek érdekében változatos megoldásokkal próbálkoztak [JUNG 1961]. HAALCK például ingájában két egymásra merőleges lengőt helyezett el.

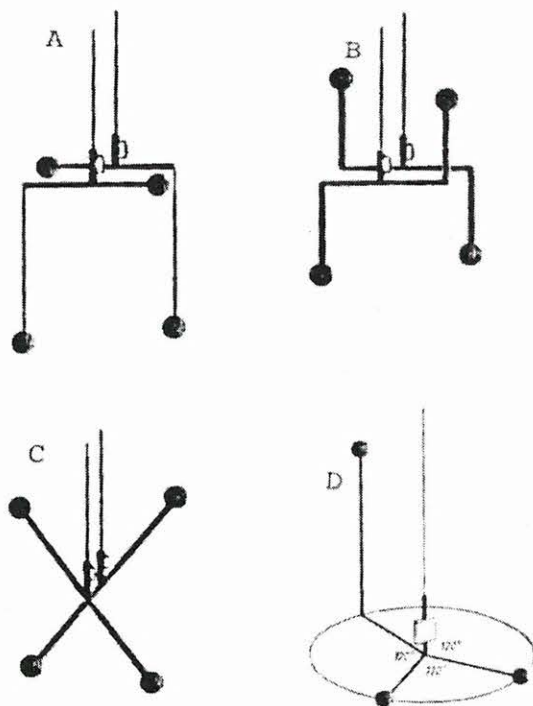
HECKER négylengőjű ingát tervezett, amelynél a két antiparallel elhelyezkedő lengőpár egymással 60° -os szöget zárt be. Ezzel a műszerrel két azimutban történő méréssel meghatározható volt a gradiens és a görbület értéke is. Gyártására azonban nem került sor.

KILCHLING egy forgó ingát tervezett, melynek helyzetét fotografikus úton folyamatosan észlelte. A műszer csillapodási ideje 40 perc volt, forgási ideje pedig 2 óra. Az így észlelt folyamatos görbéből a gradiens és görbület kompo-

nensei kiszámíthatók voltak. A műszerrel végzett kísérletek szerint azonban bebizonyosodott, hogy bonyolultsága ellenére semmivel sem bizonyult jobbnak a hagyományos ingáknál.

TSUBOI egy kis méretű inga szerkesztésével próbálkozott, melyhez kvarc torziós szálat alkalmazott. Ez sem tartozott a sikeres próbálkozások közé.

Voltak, akik csak a gradiens meghatározására törekedtek és gradiensmérőket próbáltak fejleszteni. Ezek közé tartozott SHAW és LANCASTER-JONES, akiknél a lengőn három, egymással 120° -ot bezáró tömeg helyezkedett el, melyek közül az egyik magasabban volt (27. ábra).



27. ábra. A torziós ingánál alkalmazott különböző lengőformák: A-Eötvös-féle, B-Schweydar-féle, C-Askania-féle, D-Shaw és Lancaster-Jones féle

Oroszországban már EÖTVÖS idejében élénken érdeklődtek a torziós inga mérések iránt. EÖTVÖS dolgozatait lefordították és műszer vásárlása iránt is érdeklődtek. A világháború kitörése miatt azonban a kapcsolatok megszakadtak. A Szovjetunióban NIKIFOROV és NUMEROV foglalkozott torziósingaszervezéssel, műszereik azonban a Szovjetunió kívül nem terjedtek el. A későbbi szovjet fejlesztések közül az 1950-es években a leningrádi Geologorazvedka által kifejlesztett, GRBM-2 típusú, négylengős gradiométer a legismertebb, a Szovjetunió kívül azonban nem terjedt el. Közvetlen ismeretek hiányában csak következtethetünk arra, hogy a szovjet ingák nem bizonyultak használhatónak, mert az ötvenes években a szovjet fél vásárolta a legtöbb magyar ingát.

A külföldi torziósingafejlesztési törekvéseket áttekintve megállapíthatjuk, hogy a számos próbálkozás ellenére egyedül az Askania cég ingái váltak a magyar ingák valódi versenytársaivá. Befejezésül a következő táblázatban összeállítottuk a sorozatban gyártott, legismertebb torziós inga típusok legfontosabb fizikai paramétereit [HEILAND 1946, JAKOSKY 1940, JUNG 1961, MUDRECOVOJ 1981].

Típus	Magyar (Süss és FOK) gyártmányú ingák						Német Askania ingák		
	Nagy inga	Pekár G-2A	Pekár G-2B	Auterbal	E-54	E-60	Nagy inga	Z-40	S-2
Paraméte- rek	vizuális	vizuális	vizuális	foto- grafikus	foto- grafikus	foto- grafikus	foto- grafikus	foto- grafikus	foto- grafikus
<i>M</i>	29,5	8	12	15	9	9,0	32	22,6	40
<i>L</i>	20	10	10	7	10	10	20	20	10
<i>H</i>	66	32	32	22	30	30	60	40	30
<i>L</i>	56	40	30	20	20	20	54	26	26
<i>d</i>	0,040	0,020	0,020	0,017	0,019	0,022	0,040	0,030	0,039
τ	0,50	0,04	0,07	0,03	0,06	0,20	0,53	0,60	1,06
<i>D</i>	63	45	45	32	31	31	74	46	30
<i>K</i>	24500	1750	2450	1700	1900	1900	26100	18600	9150
<i>T</i>	60	40	45	40	40	20	60	40	20
1 <i>skr</i>	0,50	0,33	0,33	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5
<i>C</i> grad	2,5	2,7	2,4	2,8	2,3	7,7	2,3	4,5	18,4
<i>C</i> görb	4,6	5,0	4,3	6,9	6,6	21,9	6,8	8,8	48,3
φ/E grad	16,0	14,0	11,3	15,9	9,3	2,8	14,9	9,3	2,3
φ/E görb	9,7	8,8	7,1	10,0	6,2	1,9	10,9	8,2	1,6

I. táblázat. A legelterjedtebb torziós ingák paramétereinek összehasonlítása

M—tömeg [g]; *l*—fél karhossz [cm]; *h*—az ingakar és a lelógó tömeg súlypontjának távolsága [cm]; *L*—a torziós szál hossza [cm]; *d*—a torziós szál átmérője [mm]; τ —a szál torzó modulusa [cgs]; *D*—tükör-skála távolság [cm]; *K*—a lengő tehetetlenségi nyomatéka [cgs]; *T*—csillapodási idő [perc]; *skr*/1°—a lengő 1°-nyi kitérésének megfelelő skálárész; 1 *skr*—1 skálárésznek megfelelő kitérés mm-ben; *C* grad és *C* görb—a műszerek állandói gradiens ill. görbület esetén *E/skr* egységben; φ/E grad és φ/E görb—1 eötvös egységre eső szögkitérés másodpercben, gradiens ill. görbület esetén

HIVATKOZÁSOK

- BÖHM F. 1939: Ásványolaj- és földgázbányászat Magyarországon 1935-ig. Bányászati és Kohászati Lapok **LXXII**, 9, 153–189
- DE GOLYER E. 1938: Historical notes on the development of the technique of prospecting for petroleum. The science of petroleum I. 268–275. Oxford University Press
- EGYED L. 1955: Geofizikai alapismeretek. Tankönyvkiadó, Budapest, 535 o.
- EÖTVÖS L. 1896: Vizsgálatok a gravitáció és mágnesség köréből. Matematikai és Természettudományi Értesítő **XIV**, 4, 1–46
- EÖTVÖS L. 1908: A Balaton nivófelülete s azon a nehézség változásai. A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei I. 1. rész. Hornyánszky Viktor cs. és kir. udvari könyvnyomdája, Budapest
- EÖTVÖS L. 1909: Über geodätischen Arbeiten in Ungarn, besonders über Beobachtungen mit der Drehwage. Hornyánszky nyomda, Budapest, 42 p.
- FRÖHLICH I. 1930: Báró Eötvös Loránd emlékkönyv. Budapest, 317 p.
- HEILAND C. A. 1946: Geophysical Exploration. New York, Prentice-Hall, Inc.
- JAKOSKY I. I. 1940: Exploration Geophysics. Trija Publishing Co. Los Angeles, 1195 p.
- JUNG K. 1961: Schwerkraftverfahren in der angewandten Geophysik. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft, 348 p.
- MUDRECOVOJ E. A. 1981: Gravitazvedka. Moskva, Nedra, 397 p.
- PAPP S. 1939: A Magyar Amerikai Olajipari Részvénytársaság földiolaj- és földgázkutatásai a Dunántúlon. Bányászati és Kohászati Lapok **LXXII**, 9, 203–241
- PEKÁR D. 1925: Die Entwicklung, Empfindlichkeit und Verlässlichkeit der Eötvösschen Original-Drehwagen. Zeitschrift für Instrumentkunde **45**, 10, 486–493
- PEKÁR D. 1932: Dr. Hugo von BÖCKH. Ergänzungs-Hefte für Angewandte Geophysik **2**, 4, 317–319
- PEKÁR D. 1941: Báró Eötvös LORÁND. A torziós inga 50 éves jubileumára. Kis Akadémia, Budapest, 340 p.
- PROUBASTA D. 1984: Remembrance of geophysical things past. Geophysics, the Leading Edge of Exploration **3**, 10, 32–38
- SZILÁRD J. 1984: EÖTVÖS Loránd csavarási ingájának bevezetése a földtani kutatásba. Földtani Kutatás **XXVII**, 3, 63–69

Szabó Zoltán