

Az 1906-os budapesti IAG konferencia geodéziai és geofizikai jelentősége Megemlékezés a 100 éves évforduló alkalmából

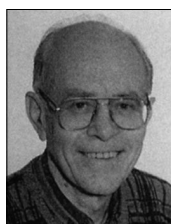
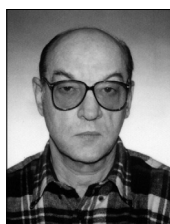
Dr. Völgyesi Lajos egyetemi docens^{1,2}, dr. Ádám József egyetemi tanár, akadémikus^{1,2},
dr. Csapó Géza szaktanácsadó, az MTA doktora³, dr. Nagy Dezső⁴,
Szabó Zoltán szaktanácsadó³, dr. Tóth Gyula egyetemi docens^{1,2},

¹ BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék

² MTA-BME Fizikai Geodéziai és Geodinamikai Kutatócsoport

³ Eötvös Loránd Geofizikai Intézet

⁴ Geodetic Survey Division, Natural Resources Canada, Ottawa.



Az IAG illetve ennek jogelődje, a *Nemzetközi Földmérés (Internationale Erdmessung)* 100 évvel ezelőtt 1906. szeptember 20–28. között Budapesten, az MTA székházában tartotta általános közgyűlését. Ez a rendezvény szakmatörténeti szempontból azért kiemelkedő jelentőségű, mert *Eötvös Loránd* tudományos tevékenységét és a róla elnevezett Eötvös-inga mérési képességeit a földméréssel foglalkozó nemzetközi tudományos és szakmai közösség itt ismerhette meg elsőként. Az inga aradi bemutatásának hatására *Sir George Howard Darwin* beadványt nyújtott a kormányhoz, aminek következtében az ország irányító testülete 1907-től három éven keresztül *Eötvös* addigi éves működési költségének 15-szörösével támogatta a kutatásait, óriási lökést adva ezzel a műszer további fejlesztéséhez. Ennek eredményeként forradalmi fejlődés következett be a gravitációs kutatásokban, amelynek jótékony hatását a mai napig érezhetjük. Az Eötvös-inga méréseket elsősorban ásványi nyersanyagok kutatása céljából végezték, azonban a mérési anyag a mai napig további felbecsülhetetlen értékű információkat rejt a geodézia számára is. Magyarországon a múlt században több mint 60 000 ingamérést végeztek, és az 1940-es évekig jóformán minden kontinensen az Eötvös-inga volt az egyik leggyakrabban és legsikeresebben használt geofizikai mérési eszköz. Cikkünkben az esemény 100 éves évfordulója alkalmából áttekintjük ennek

geodéziai és geofizikai jelentőségét, és a konferencia hatását e tudományterületek fejlődésére.

1. Az IAG 1906-os budapesti konferenciája

A geodézia feladatainak megoldása és geodinamikai kutatások végzése globális méretben alapvetően nemzetközi együttműködés keretében lehetséges. Nemzetközi szinten szervezett együttműködés a geodézia területén 1864-ben kezdődött, amikor létrehozták az IAG első jogelődjét *Közép-Európai Fokmérés* néven. A szervezet neve 1867-ben *Európai Fokmérés*, 1886-ban pedig – miután Európán kívüli államok is bekapcsolódtak a vonatkozó munkálatokba – *Nemzetközi Geodéziai Szövetség* (angolul International Geodetic Association, francia nyelven Association Géodésique Internationale, illetve német nyelven Internationale Erdmessung, IE) lett.

Magyarország már az „*Európai Fokmérés*” munkájába bekapcsolódott, amikor *Tóth Ágoston* részt vett a szervezet 1870. évi konferenciáján. (Mivel a Közép-Európai Fokmérés egyik alapítója Ausztria, így az Ausztriához fűződő különleges kapcsolatunk miatt valójában Magyarországot is az IAG alapítói közé sorolhatjuk.) Magyarország mint önálló állam 1897. január 1-jén lépett be az IAG-ba (*Regőczy*, 1954). Képviselője *Bodola Lajos* professzor, aki először az 1898. október 3–12 között tartott stuttgarti XII. konferencián vett

részt. Nemzetközi tevékenysége alapján elérte, hogy az IE XV. általános közgyűlését (konferenciáját) 1906-ban Budapesten tartsák meg az ő rendezésében. A közgyűlés (Allgemeine Konferenz) előkészítésében részt vett tanszéki munkatársa és utóda, *Oltay Károly* is.

A rendezvényre 1906. szeptember 20–28 között került sor az MTA székházában. A megnyitó ülést szeptember 20-án (csütörtökön) tartották 10:30–12:30 között, amelyet hat tudományos ülés követett 21-én és 24–28-a között. A tudományos ülések általában napi háromórás időtartamúak voltak. A záróülést szeptember 28-án (pénteken) tartották (*Bericht...*, 1908).

A közgyűlés résztvevői között a kor neves csillagászait, geodétáit, fizikusait és matematikusait találjuk. Részt vett a rendezvényen akkor már az MTA tiszteleti tagjaként *H. Poincaré* (a Francia Tudományos Akadémia elnöke), valamint az Akadémia 1908-ban választott tiszteleti tagjai (*G.H. Darwin* és *F.R. Helmert*) is (*Ádám*, 2000, 2002a). Itt volt *J.F. Hayford* is, valamint *Ch.E. Guillaume* svájci származású francia fizikus, a párizsi „Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal” igazgatója. *Guillaume* az invár-anyag felfedezéséért 1920-ban fizikai Nobel-díjat kapott.

A rendezvény jegyzőkönyve alapján (*Bericht...*, 1908) a következő 19 ország összesen 48 hivatalos delegáltja vett részt a közgyűlésen: *Amerikai Egyesült Államok* (*O.H. Tittmann* és *J.F. Hayford*), *Argentína* (*F.P. de Somenzi*), *Ausztria* (*W. Tinter*, *A.R. von Kalmár*, *F. Lehl* és *E. Weiss*), *Belgium* (*L. Gillis*), *Dánia* (von *Zachariae*), *Franciaország* (*L. Bassot*, *A.B. de la Grye*, *R. Bourgeois*, *G. Darboux*, *F. Hanusse*, *Ch. Lallemand* és *H. Poincaré*), *Hollandia* (*H.G. van de Sande Bakhuizen*, *H.J. Heuvelink* és *J.J.A. Muller*), *Japán* (*T. Tasaka* és *H. Kimura*), *Magyarország* (*Bodola Lajos* és *Eötvös Loránd*), *Mexikó* (*A. Anguiano* és *F. Valle*), *Nagy Britannia* (*G.H. Darwin*), *Németország* (*W. Foerster*, *M. Haid*, *M. Schmidt*, *R. Schorr*, *Th. Albrecht*, von *Bertrab*, *E. Borrass*, *A. Börsch*, *O. Hecker*, *F.R. Helmert* és *E. Becker*), *Norvégia* (*O. Schiøtz*), *Olaszország* (*C. Crema* és *F. Guarducci*), *Oroszország* (*N. Artamonoff* és *O. Backlund*), *Románia* (*C. J. Bratiano* és *J. Cantea*), *Spanyolország* (*A.G. y Vidal* és *E.M. y Miura*), *Svájc* (*R. Gautier*) és *Svédország* (*P.G. Rosén*).

A konferencia egyes ülésein meghívott vendégként szerepeltek a következő neves személyek: *L. Andres* Ausztriából, *L. Driencourt* és *C.E. Guillaume* Franciaországból és *Shinyo* Japánból. Magyarországról a hivatalos küldöttek névsorá-

ban csak *Bodola Lajos* és *Eötvös Loránd* profeszszorokat találjuk, de az egyes ülések jegyzőkönyvében számos magyar meghívott vendég neve is felfedezhető: *Podmaniczky Géza* báró, *Déchy Mór*, *Dobrovics Győző*, *Antalffy Andor*, *Harkányi Béla*, *Farkas Gyula* (Kolozsvárról), *Jankovich János*, *Réthy Mór*, *Schuller Aladár*, *Fröhlich Izidor*, *Kövesligethy Radó*, *Rados Gusztáv* és *Szily Kálmán*. Rajtuk kívül a megnyitó ülésen még a következő személyek vettek részt: gróf *Apponyi Albert* kultuszminiszter, *Berzeviczy Albert*, az MTA elnöke, *Molnár Viktor* kultuszminisztériumi államtitkár, *Heinrich Gusztáv* az MTA főtitkára, továbbá *Cholnoky Jenő*, *Gothard Jenő*, *Ilosvay Lajos*, *Konkoly-Thege Miklós*, *König Gyula*, *Kürschák József*, *Lóczy Lajos*, *Schlesinger Lajos*, *Than Károly*, *Tötössy Béla*, *Vályi Gyula* és *Wartha Vincze* profeszszorok. Állandóan jelen volt viszont *Fasching Antal*, aki azzal volt megbízva, hogy naponta tájékoztassa az újságírókat.

A konferencia záróülését követően, szeptember 28-án délután a résztvevők számára kirándulást szerveztek a Margitszigeten. Ennek keretében készítették a borítólapon látható csoportképet, amelynek eredeti fotóját az Országos Műszaki Múzeumban tárolják (*Raum*, 1994).

Megjegyezzük, hogy az IAG 95 év elteltével, 2001-ben ismét Budapestet, az MTA székházát választotta az új évezred első tudományos közgyűlésének helyszínéül. A tudományos közgyűlésen (2001. szeptember 2–7.) négy szimpózium keretében szervezett 20 szekcióban a geodézia-tudomány és geodinamika legjelentősebb képviselői tartottak előadásokat. Az egyik szimpózium *Eötvös* maradandó munkásságának tiszteletére a „*From Eötvös to Satellite Gradiometry – New Vistas in Measuring and Modeling the Earth’s Gravity Field*” címet viselte. A rendezvényen 53 országból 449-en vettek részt és összesen 379 előadást (126 szóbeli és 253 poszter) mutattak be (*Ádám*, 2002b).

2. A konferencia geodéziai és geofizikai jelentősége

Az 1906-os konferencia legnagyobb hatású eseménye *Eötvös Loránd* előadása volt, amelyet szeptember 24-én hétfőn tartott. Ez kiváló lehetőséget biztosított *Eötvös* számára, hogy a téma legjobb szakemberei, a kor legkiválóbb geodétái, csillagászati és matematikusai előtt bemutassa torziós ingáját, a már másfél évtizede folyó méréseit (*Eötvös*, 1908a) és ismertesse a földalak-

kal kapcsolatos legújabb kutatási eredményeit. A konferenciát gróf *Apponyi Albert* kultuszminiszter nyitotta meg, alsóberzeviczi és kakaslomniczi *Berzeviczy Albert*, a Magyar Tudományos Akadémia akkori elnökének jelenlétében.

Eötvös előadására az Akadémia nagytermében került sor, az ülésen a francia *M. L. Bassot* generális elnökölt. *Eötvös* feszült figyelem közepette emelkedett szólásra. Előadását francia nyelven kezdte, majd németül folytatta, mivel ebben lényegesen járatosabb volt. Az Arad környéki mérésekre alapozott előadását szemmel láthatólag egyre fokozódó érdeklődés, sőt csodálkozás kísérte. Midőn előadását befejezte, az elnök felkérésére a németül nem jól értő résztvevők kedvéért az egészet még egyszer, francia nyelven is megismételte. A hallgatóság *F. R. Helmertel*, a porosz Királyi Geodéziai Intézet nemzetközi elismertségnek örvendő igazgatójával az élen csodálattal vegyes kétkedéssel hallgatta a nagypontosságú mérésekről szóló beszámolót. Másnap az értekezlet résztvevői – köztük *H. Poincaré* a francia Akadémia elnöke, a „matematikusok fejedelme” – az egyetemi fizikai intézetben megtekintették a műszereket. *Eötvös*, megragadván az alkalmat, a hét végére meghívta a társaságot Aradra, hogy a helyszínen győződjenek meg terepi méréseinek pontosságáról és megbízhatóságáról (*Selényi* 1953).

A tíz tagú delegáció *Sir George H. Darwin* (*Charles Darwin* fia) vezetésével valóban megtekintette a terepi méréseket. A látottak minden kétkedőt meggyőztek. A látogatás sikerét csak növelte a Fehér Kereszt szállodában rendezett kitűnő vacsora. Budapestre visszatérve a kongresszus, *Darwin* javaslatára, hivatkozással a torziós-inga kísérletek nagy tudományos jelentőségére, kéréssel fordult a magyar kormányhoz, hogy anyagilag támogassa *Eötvös* gravitációs kísérleteit (*Pekár* 1941) különösen azért, hogy a torziós ingájával kapott, akkor még hihetetlen pontosságú eredményeket hagyományos csillagászati-geodéziai és relatív g -mérési módszerekkel is ellenőrizhesse. A kormány megértéssel fogadta a külföldi kutatók javaslatát. *Apponyi Albert* vallás- és közoktatásügyi miniszter 1907. május 15-én kelt 28762/907 sz. rendeletében örömmel tudatta, hogy a: „Nagyméltóságod által felhozottak fontosságának tudatában, s figyelemmel a külföldi megtisztelő óhaj nyilvánítására is, a minisztertanács készséggel hozzájárult ahhoz, hogy Nagyméltóságod részére, a folyó 1907 évre, említett vizsgálódásai támogatásául 60 000 azaz

hatvanezer korona államsegély engedélyeztesék.” Ezt követően a kormány még további két éven keresztül folyósította az évi 60 000 koronás támogatást.

A kiutalt államsegély nagyságára következtethetünk abból, hogy *Eötvös* Fizikai Intézetének akkori éves költségkerete csupán 4000 korona volt. (Korábban egyébként *Eötvös* a kutatásait az MTA által folyósított Semsey-adományból valamint a saját vagyonából folytatta.) A miniszteri rendelet *Eötvös* tudományos tevékenységének támogatása mellett megteremtette a magyar geofizikai kutatások önállóságának alapját, lehetővé tette a terepi mérések kiterjesztését és a további műszerfejlesztéseket.

Eötvös kutatási beszámolóit 1906-tól főleg az IE kiadványaiban jelentek meg, mint Magyarország nemzeti jelentései. Magyarországot az IE XVI. közgyűlésén (London és Cambridge, 1909. szeptember 21–29) és XVII. közgyűlésén (Hamburg, 1912. szeptember 17–27) már *Eötvös* képviselte (*Eötvös*, 1910 és 1913).

Az említett állami támogatás lehetővé tette többek közt azt is, hogy *Oltay Károly* megfelelő műszerfelszereléssel és felkészültséggel folyamatosan elláthassa *Eötvös Loránd* geofizikai kutatásainak felsőgeodéziai mérésekkel történő kiszolgálását. A Műegyetem geodéziai tanszékén *Bodola* utóda 1913-tól *Oltay Károly* lett, aki már 1906 óta bekapcsolódott *Eötvös Loránd* gravitációs kutatásaiba. *Oltay* az 1907–1908 években Potsdamban volt felsőgeodéziai tanulmányúton, majd felsőgeodéziai és geofizikai méréseket végzett. *Eötvös Loránd* halála után *Oltay Károly* három füzetből álló kiadványsorozatot ismeretette azokat a geodéziai munkákat, amelyeket az IE kívánságára végzett a torziós-inga mérési eredmények megbízhatóságának bizonyítására. A sorozat címe: „*Báró Eötvös Loránd Geofizikai Kutatásainak Felső Geodéziai Munkálatai*”. A füzetek egyidejűleg magyar és német nyelven is megjelentek (az első 1917-ben, a második 1927-ben, a harmadik pedig 1928-ban). *Oltay Károly* személyéhez és tevékenységéhez kapcsolódik a Magyar Geodéziai Intézet (MGI) létrehozása és működtetése, mely helyileg és szervezetenként a Műegyetem általa vezetett Geodézia Tanszékéhez kötődik.

Az MGI működésével kapcsolatban *Oltay* (1931) a következőket írja: „*A Geodéziai Intézet rendszeres működése 1908-ban kezdődött meg azoknak az ellenőrző méréseknek az elvégzésével, melyeket az Association Géodésique Interna-*

tional 1906. évi budapesti konferenciája tartott kívánatosnak, s amelyekkel báró Eötvös Loránd az Intézetet bízta meg”.

Az intézetnek külön személyzete nem volt, jó-részt külső munkatársakkal, a rendszeres anyagi támogatás hiánya ellenére nemzetközileg is elismert munkát végzett. Az 1908–1945 között működött MGI munkáját több intézmény – köztük az MTA – anyagi támogatása tette lehetővé. Az Intézet működését „*A Magyar Geodéziai Intézet Közleményei*” c. kiadványsorozatból ismerhetjük meg, amelyből 1931 és 1944 között hét füzet jelent meg (öt magyar, kettő pedig német nyelven) – ezek mindegyikét *Oltay Károly* írta.

Az MGI fő tevékenysége az invariábilis ingákkal végzett relatív gravitációmérés volt. *Oltay Károly* és munkatársai 1908 és 1934 között 113 helyen határozták meg ezzel a módszerrel a nehézségi gyorsulást és országos hálózat kiépítésére törekedtek. Ezek a mérések nemzetközi szinten is alapvető jelentőségűek voltak és megelőzték a hazai állami földmérési és geofizikai kutató intézmények ez irányú gyakorlati igényét. Így a hazai geodéziának nagy haszna volt abból, hogy Eötvös a neki juttatott anyagi segítségből lehetővé tette egy sűrű gravitációs hálózat kifejlesztését (*Oltay 1910, 1925, 1930, 1931, 1934 és 1948*).

3. Eötvös Loránd munkásságának geodéziai és geofizikai jelentősége

Gravitációs kutatásainak kezdetén *Eötvös Loránd*-ot a Föld alakjának kérdése izgatta. Az elméleti földalak – a geoid meghatározása visszavezethető a Föld nehézségi erőterének vizsgálatára. *Eötvös* torziós ingájának kifejlesztésekor éppen az a cél vezette, hogy műszerének segítségével nagy pontossággal meghatározza a nehézségi erőter szintfelületének változásait.

A Coulomb-ingával végzett kísérletek során támadt *Eötvös* egyszerű, de zseniális ötlete, hogy ha azt egyszerűen magára hagyjuk, és nem helyezzük el a közelében kitérítő tömegeket, akkor az ingára csak a nehézségi erő hat. Felírva az inga egyenletét kiderült, hogy a Coulomb-féle felépítésű inga csak a nehézségi erő szintfelületének alakjára érzékeny. Koncentrikus hengeralakú szintfelületek esetén, a nehézségi erő nagysága nem változik, iránya viszont igen. A nehézségi erő összetevőkre bontása után kitűnik, hogy forgatónyomaték ennek ellenére fellép és az ingakart a legkisebb görbület irányába igyekszik elforgatni, ezáltal a szintfelület gör-

bületi viszonyairól ad felvilágosítást. Megadja a legkisebb görbület irányát és egy, a két főgörbület különbségével arányos mennyiséget, amelyet görbületi értéknek, röviden görbületnek nevezünk. A görbületet egy vonaldarabbal szokás ábrázolni, melynek iránya a legkisebb görbület irányába esik, nagysága pedig a legkisebb és legnagyobb görbület különbségével arányos. Eötvös elképzelése és számításai alapján 1890-ben elkészült a *görbületi variométer*, amely már önálló állványon működő szerkezet, de még mindig a Coulomb-féle mérleg megfelelője.

Az inga egyenletét felírva kiderült, hogy ha az ingarúd két végén levő tömeg egyikét egy lelógó szál segítségével alsóbb szintre helyezi, akkor a nehézségi erőter horizontális irányító képességén kívül az erőter vízszintes gradiensét is meg lehet mérni. Ötletét megvalósítva 1891-ben megépítette a később róla elnevezett Eötvös-ingát, amelyet *horizontális variométernek* nevezett el (*Eötvös 1896*).

Az első terepi mérésre 1891 augusztusában került sor a Celldömölk melletti Ság-hegyen. A hely kiválasztását két szempont indokolta, az egyik, hogy az akkor még szabályos csonkakúp alakú hegy gravitációs hatása aránylag könnyen számítható, így alkalmas volt a mérési eredmények ellenőrzésére. A másik, hogy a *Sterneck-féle* mérések a hegytető mintegy 150 m távolságra levő két pontja között 33 mGal ($1 \text{ mGal} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}^2$) különbséget mutattak ki, ami óriási, kb. 2200 Eötvösnyi gradiensnek felel meg ($1 \text{ Eötvös egység} = 10^{-9} \text{ s}^{-2}$). Eötvös mérései, melyeket *Kövesligethy Radó*, *Tangl Károly* és *Bodola Lajos* – később neves egyetemi tanárok – közreműködésével végzett, *Sterneck* eredményeit megcáfolták és a Ság-hegyen mindent „rendben” találtak.

Eötvös a sikeres Ság-hegyi mérés után élete végéig műszere további tökéletesítésén dolgozott. Hogy eredeti célkitűzését, a nehézségi erőter potenciál-felületének minél részletesebb vizsgálatát véghez tudja vinni, olyan műszerre volt szüksége, mely nemcsak a laboratóriumban, hanem terepen is könnyen kezelhető. Így született meg 1898-ban az *egyszerű nehézségi variométer*, amely a későbbiekben a *balatoni inga* nevet kapta. Ez az eszköz a könnyebb terepi alkalmazhatóság érdekében az ingával egybeépített optikai leolvasó berendezéssel készült. A műszert *Eötvös* 1900-ban a Párizsi Világkiállításon mutatta be, ahol az inga a kitüntetett termékek közé került.

Az egyszerű nehézségi variométerrel végezték *Eötvös* és munkatársai az első nagyobb területre

kiterjedő felmérést 1901 és 1903 telén a Balaton jegén, innen ered a balatoni inga elnevezés. A Balatont azért választották mérésük színhelyül, mert a felszíni topográfia nagy mértékben befolyásolja az Eötvös-inga mérési eredményeit. Számbavétele ugyan kellő pontossággal megtehető, de fáradságos feladatot jelentett akkoriban. A sík jégfelület mindentől megkímélte a résztvevőket és csak a Tihanyi-félsziget gravitációs hatását kellett meghatározniuk. A balatoni mérések létrejöttében nagy szerepe volt a Balaton Bizottságnak és vezetőjének, *Lóczy Lajos*nak, akik a Balaton tudományos tanulmányozásának keretében támogatták *Eötvös* méréseit.

A méréseket éjszaka végezték 1 óra 40 perces időközökben. Éjszakánként egy állomás lemérésére került sor. A méréseket 1902. telén, a kedvezőtlen jégviszonyok miatt szüneteltetni kellett, csak 1903 telén tudták folytatni. Összesen 40 állomáson mértek. Méréseik alapján beszámolójában *Eötvös* az alábbiakat írja: „...az átlagban a Balaton tengelyére merőleges gradiensnek és a tengellyel párhuzamos irányítóerők a subterén hatásokban is ily irányú tektonikai vonalról tanúskodnak.” Bízvást állíthatjuk, hogy ez az első, geofizikai méréseken alapuló tektonikai megállapítás. Közismert, hogy az Eötvös-ingával mért gradiensnek segítségével meghatározható két pont között a nehézségi gyorsulás különbsége (Δg). A meghatározás pontossága attól függ, hogy mennyire lineáris a nehézségi gyorsulás változása a két pont között. *Eötvös* balatoni méréseit arra is felhasználta, hogy ellenőrizze, milyen pontosan lehet meghatározni a torziós-inga segítségével két pont nehézségi gyorsulás különbségét (*Eötvös*, 1908b).

A rendszeres terepi mérések megindulásával párhuzamosan *Eötvös* továbbfejlesztette műszerét. 1902-ben készült el a *kettős nagy eszköz*, amely két egymáshoz képest 180° -kal elfordított lengőszerkezetet foglal magában. Ennek az elrendezésnek köszönhetően az egy állomáson végzett észlelések száma jelentősen csökkenthetővé vált. Míg az egyszerű eszköznél a görbületi érték és a gradiens meghatározásához öt különböző azimutban végzett észlelésre volt szükség, a kettős ingánál a szükséges azimutok száma háromra csökkent. Az inga csillapodási idejét is sikerült 1 óra 40 percről 1 órára csökkenteni.

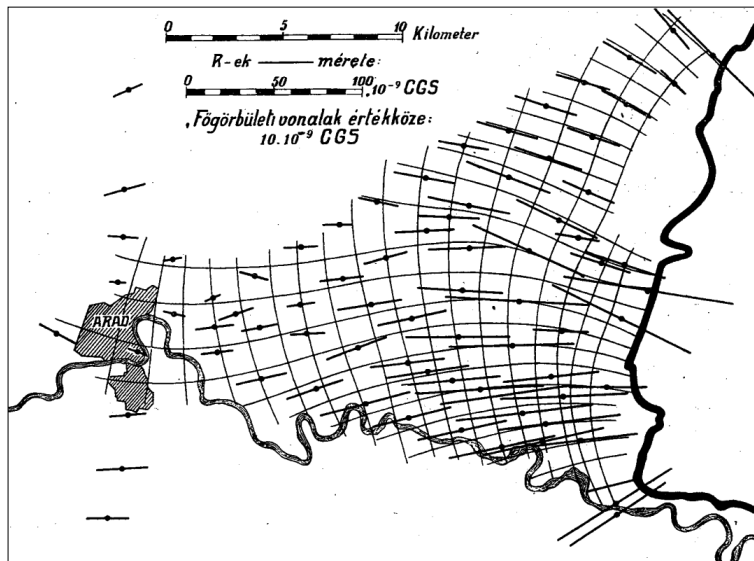
Hogy mennyire élénken foglalkoztatta *Eötvös*t a Föld alakjának kérdése, arra bizonyíték az Akadémia 1901. május 12-én tartott közgyűlésén elmondott akadémiai elnöki megnyitó beszéde.

Negyedik elnöki újraválasztása alkalmából a Föld alakjáról beszélt (*Eötvös* 1901). Műszeréről a rá jellemző költőiséggel a következőket mondta: „A középkor előítéleteinek és csodaszereinek lomtárából előkerestem a varázsvesszőt, s azt nem imádsággal, nem is ördögösséggel, hanem a vesszőhöz, melyről a varázs az idők folyamán amúgy is lekopott, jobban illő mechanikai érvelésekkel arra bírtam, hogy feleletet adjon. Egyszerű egyenes vessző az az eszköz, melyet én használtam, végein különösen megterhelve és fémtekbe zárva, hogy ne zavarja se a levegő háborgása, se a hideg és meleg váltakozása. E vesszőre minden tömeg a közelben és a távolban kifejti irányító hatását, de a drót, melyre fel van függesztve, e hatásnak ellenáll és ellenállva megcsavarodik, e csavarodásával a reá ható erőknek biztos mértéket adván. A Coulomb-féle mérleg különös alakban, annyi az egész. Egyszerű, mint Hamlet fuvalója, csak játszani kell tudni rajta, és miként abból a zenész gyönyörködte változásokat tud kicsalni, úgy ebből a fizikus, a maga nem kisebb gyönyörűségére, kiolvashatja a nehézségnek legfinomabb változásait. Eljárásommal bármely helyen, ahol eszközümet felállíthatom, meg tudom határozni azt, hogy merre, és centiméterenként mennyivel változik a nehézség, azt is, hogy mennyivel hajlik el iránya, mikor magasabbra emelkedünk, és megállapíthatom, milyen az alakja a földfelület bár csak tenyérnyi nagyságú részének.”

A rendszeres terepi méréseket 1902-ben a Fruska Gora hegységtől északra levő területeken kezdték el, majd Arad környékén folytatták. Az aradi mérések feldolgozása során *Eötvös* behatóan foglalkozott azzal a kérdéssel, hogyan lehet a torziós-ingával kapott mérési adatokból levezetni a nehézségi erőtér szintfelületének alakját. Erre a függővonal-elhajlás meghatározásán keresztül vezetett az út. *Eötvös* vizsgálatai során arra a megállapításra jutott, hogy a torziós-inga mérési adataiból kiszámítható görbületi komponensek alkalmasak arra, hogy segítségükkel meghatározzuk két pont között a függővonal-elhajlás változásának mértékét.

Az Arad környéki részletes mérések alkalmasnak bizonyultak a függővonal-elhajlás számítására (*Eötvös* 1908a). Mivel a görbületi adatokból csak relatív változások vezethetők le, szükség volt olyan alappontokra, melyeken ismert a függővonal elhajlás értéke. Ezért *Eötvös* megbízta *Oltay Károlyt*, hogy asztrogeodéziai módszerrel határozza meg a mérési terület néhány pontján annak

értékét. *Oltay* ezt követően a terület hét pontján meghatározta a függővonal elhajlás északi-, és két pontján annak keleti összetevőjét. *Eötvös* ezután ezeket az értékeket alappontként felhasználva a görbületi adatok segítségével a mérési terület valamennyi állomására levezette a függővonal-elhajlás értékét, és ezen adatok felhasználásával megszerkesztette a nehézségi erőter szintfelületének az 1. és a 2. ábrán látható térképét. A térképen jól látható az Arad környéki hegyek által okozott deformáció. A topográfia hatásának figyelembe vétele (a 3. ábrán szaggatott vonallal ábrázolva) azonban nem bizonyult elegendőnek a kapott eltérések magyarázatára. A különbség okát az *Eötvös* által szerkesztett, az ábra alsó részén feltüntetett földtani szelvény magyarázhatja. Ily módon tehát lehetőség nyílt arra, hogy torziós-inga mérések segítségével részleteiben tanulmányozhassuk a geoid alakját. *Eötvös* Arad



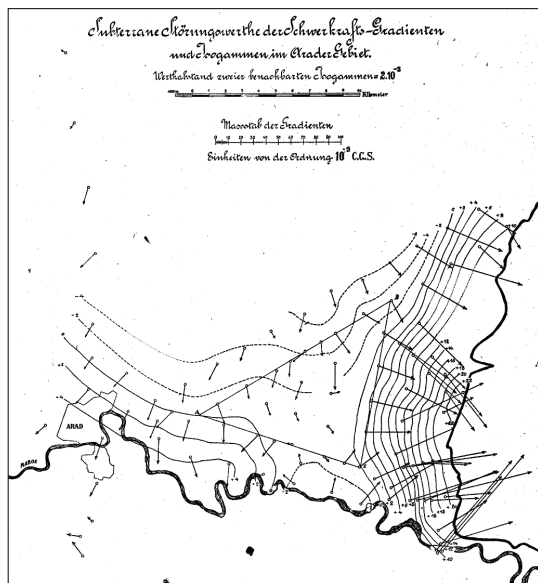
1. ábra: A görbületi adatok eloszlása Arad környékén (*Eötvös* 1908 nyomán)

környéki méréseire alapozva a világon elsőként készített részletes geoid térképet.

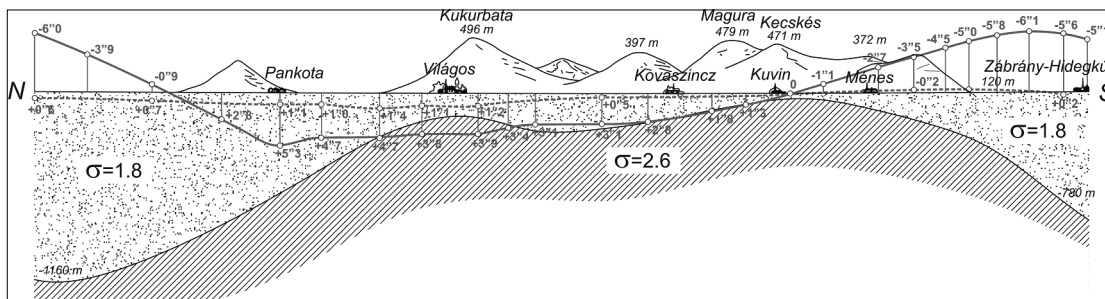
Az említett nagyvonalú állami támogatás többek között lehetővé tette a terepi mérések kiterjesztését és a további műszerfejlesztést. 1908-ban született meg az ún. *kettős kis eszköz*, amely az előző ingákhoz képest jelentős súly- és méretcsökkentést jelentett.

Bár *Eötvös* érdeklődése egyre inkább a földtani problémák megoldása felé fordult, továbbra is foglalkozott a földalak kérdéseivel. 1909-ben megépítette hármass görbületi variométerét. Ennél a műszernél három, egymástól teljesen független lengőrendszer egymással 120–120°-ot képező állásban egy közös állványra van szerelve. A lengőkön elhelyezett tömegek azonos magasságban helyezkednek el. A három lengőrendszernek köszönhetően az észlelési időt lényegesen meg lehetett rövidíteni. Az azonos magasságban elhelyezkedő tömegek miatt a műszerrel csak a görbületi eltérés komponenseit lehetett meghatározni, így elsősorban geodéziai célokra volt alkalmas. Terepi mérésre csupán 1910-ben használták a Titel környéki mérésekben (*Pekár* 1930).

1910-ben megint a geodéziai vonatkozások kerültek előtérbe. Arra voltak kíváncsiak, hogy az Alpok magas hegységei milyen mértékben befolyásolják a nehézségi erőter potenciálfelületének alakját. Ezért Dél Tirolban, a Dolomitokban Cimabanche környékén a Monte Cristallo (3199 m) és a Croda Rossa (3148 m) közötti 1520 m körüli magasságban fekvő szűk völgyben *Pekár Dezső* és



2. ábra: A függővonal-elhajlás értékei és a potenciálfelület izovonalai Arad környékén (*Eötvös* 1908 nyomán)



3. ábra: A függővonal-elhajlás értékei egy Arad környéki É-D irányú szelvény mentén (Eötvös 1909 nyomán)

Fekete Jenő torziós-inga méréseket végzett (4. ábra). A mérési eredményekből számított maximális és minimális görbületi sugárra $\rho_{\max}=205\,685$ km, ill. $\rho_{\min}=12\,267$ km értéket kaptak. Mindkét érték jóval nagyobb, mint a földszugár 6371 km-es középértéke (Eötvös 1913). Fentiekből következik, hogy a völgy fölé tornyosuló hegyek hatására a szintfelület a völgy peremén annyira lapos, mint ha egy a Földünkénél harmincszor nagyobb sugarú gömbhöz tartoznának.

A következő év földtani eredményei 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 a következő megállapításra jutottak: „A sűrűbb altalajban tehát a közepén egy mélyedés van, innen a szélek felé haladva a sűrűbb tömeg emelkedik, majd ismét leesik. Szóval egy kráter szerű alakulattal van dolgunk, illetve helyesebben szólva, egy oly fajta ‘körhegység’, mint amilyenek a holdkráterek. Ez a különös alakulat kétségtelenül összefügg a kecskeméti földrengéssel.” A rengés epicentruma a minimum közepébe esik. Sokkal többet ma sem tudunk a kecskeméti rengés eredetéről (Szabó, 1999).

Összességében ki kell emelnünk, hogy Eötvös Loránd a geodézia és geofizika tudományában elméleti (és gyakorlati) szempontból nemzetközi szinten is kiemelkedőt alkotott. Eredményes tevékenységének elismeréseként olyan fontos fogalmakat kapcsolnak nevéhez, mint az Eötvös-inga, az Eötvös-egység, az Eötvös-tenzor, az Eötvös-effektus, az Eötvös-korrektció.

4. Magyarországi Eötvös-inga mérések

Mint említettük, az első terepi méréseket Eötvös Loránd a csonka kúp alakú Ság-hegyen végezte a korábban Sterneck által ott végzett rela-

tív ingamérések eredményeinek ellenőrzésére. A Ság-hegy gravitációs hatását kiszámolva ellenőrizhetők voltak az Eötvös-inga mérési eredmények. A mérések kezdetben a gravitációs hálózat sűrítésén és a szintfelületek néhány adatának meghatározásán keresztül alapvetően geodéziai célokat szolgáltak.

Az első terepen is könnyen kezelhető mérőeszközzel, az egyszerű nehézségi variométerrel Eötvös 1901 és 1903 telén a befagyott Balaton jegén végzett méréseket és 40 mérési eredmény alapján megszerkesztette a Balaton gradienstérképét. A rendszeres terepi mérések 1902-ben kezdődtek, majd a már említett aradi mérésekkel folytatódtak. A korai terepi munkák közül említést érdemelnek az 1911. évi Kecskemét környékén kipattant földrengés utáni mérések, amelyek eredménye alapján szerkesztett izogamma térkép összefüggést mutatott a terület földtani szerkezetére és a földrengés kipattanásának egyik lehetséges oka között.

Eötvös számára nagyon fontos volt a mérések földtani értelmezése, aminek első gyakorlati haszna 1912–14 között az Erdélyi-medencében,



4. ábra: Készülődés az Eötvös-inga mérésekhez a Dolomitokban (fotó: Pekár, 1910)

majd az 1916-ban Egbell térségében végzett mérések eredményeiben mutatkozott meg. Ez utóbbi területen az Eötvös-inga mérési eredmények alapján a geológusok által meghatározott szerkezet pontosan igazolódott. Ettől az időtől kezdve az Eötvös-inga mérések rendszeressé váltak a földtani kutatás szolgálatában mind Magyarországon, mind külföldön.

Eötvös 1919-ben bekövetkezett haláláig 1420 állomáson határozták meg a nehézségi erőter potenciálfelületének görbületét és gradiensét. A méréseket, ahol a topográfia megengedte, általában szabályos hálózatban végezték, kezdetben 3–4, majd 2 ill. 1 km-es állomástávolsággal. Az 1910-es évek kezdetétől *Böckh Hugó*, neves geológus kezdeményezései alapján egyre nagyobb kormányzati nyomás nehezedett Eötvösre, hogy a mérések helyszínének megválasztásánál vegye figyelembe a nyersanyag-kutatások érdekeit. Eötvös igyekezett megőrizni kutatói függetlenségét, de a földtani szempontok ennek ellenére egyre nagyobb szerepet nyertek, halála után pedig meghatározóvá váltak (*Szabó, 2004a, 2004b*).

A húszas évektől ugrásszerűen megnőtt a kőolaj és földgázkutatással kapcsolatos mérések száma, miközben egyre újabb ingatípusokat fejlesztettek. A magyarországi kőolajkutatásban az EUROGASCO (a MAORT és a MOL jogelődje) 1933 októberében kezdte meg a geofizikai kutatást a Dunántúlon. A kezdeti gravitációs méréseket torziós-ingával végezték. A vállalat első fúrásponjtját, a Mihályi-1 fúrást, a torziós inga mérésekkel kimutatott gravitációs maximum tetőpontjára telepítették. Az első magyarországi (a budafapusztai) szénhidrogénmező megtalálása is Eötvös-inga mérésekhez kapcsolódott. Miközben a Dunántúlon sikeresen folytatták a rendszeres torziós-ingas felmérését, egy másik gravitációs mérőeszköz, a graviméter is egyre nagyobb szerepet nyert a földtani kutatásokban. Ezek a berendezések könnyű kezelhetőségük és termelékenységük miatt komoly versenytársa lettek az Eötvös-ingának. Tekintettel azonban arra, hogy a modern gravimétereket stratégiai jelentőségűnek minősítették, így a második világháborút követő években politikai okok miatt a volt szocialista országok nem juthattak korszerű graviméterekhez, ezért az 50–60-as években tovább folytatták az Eötvös-ingas méréseket az akkor fejlesztett E-54, majd E-60 típusú fotoregisztrációs műszerekkel, amelyekből hazai alkalmazásra és külföldi megrendelésre mintegy 200 darabot gyártottak. Összességében a Dunántúlon az EUROGASCO,

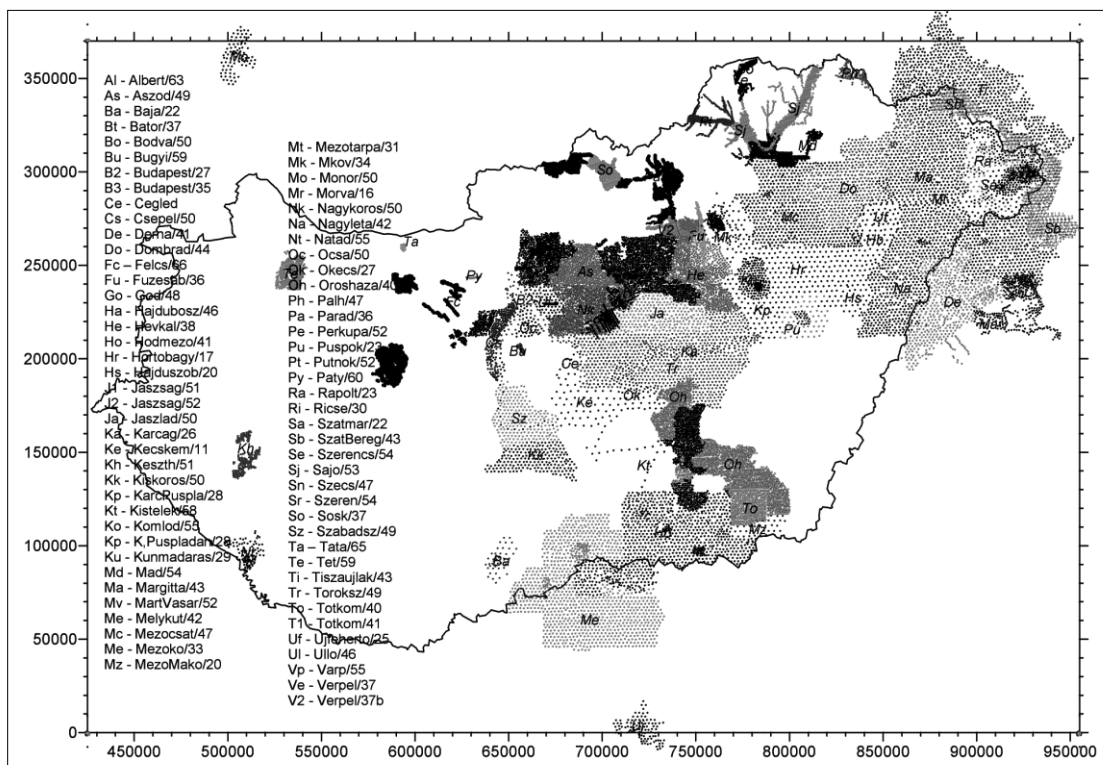
majd a MAORT jóvoltából összesen mintegy 29 000 Eötvös-inga állomás mérésére került sor, míg ezzel párhuzamosan az Alföldön az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet végzett hasonló mennyiségű torziós-inga mérést. Magyarországon az utolsó Eötvös-inga mérésre 1967-ben került sor. Ezután már kizárólag graviméterekkel végzik a földtani célú gravitációs kutatásokat.

Annak ellenére, hogy Magyarország gravitációs felmérttség szempontjából világviszonylatban is meglehetősen jó helyzetben van (összesen kb. 60 000 Eötvös inga mérési állomás és mintegy 380 000 graviméteres pont az ország közel 97 000 km² területén), számos részén találhatók ún. „fehér foltok”. Ez azt jelenti, hogy egyrészt több 10 km² kiterjedésű területen nincs gravitációs adat, másrészt pedig azt, hogy a hegyvidéki területek meglehetősen hiányosan, ritkán felmérték.

Különböző geodéziai és geofizikai célok, elsősorban a geoid hazai felületrésze további pontosításának igénye szükségessé teszi pontosabb és nagyobb felbontású nehézségi anomália térképek előállítását. Vizsgálatok igazolták, hogy az Eötvös inga mérési adatok hasznosan egyesíthetők a graviméteres mérések adataival több és pontosabb információ elérése érdekében. Sajnálatos módon az Eötvös ings mérések eredeti mérési jegyzőkönyveinek egy része az elmúlt évtizedek során megsemmisült, az adatok jelentős része csak térképi formában maradt fenn. Ezért szükségessé vált a még rendelkezésre álló adatok digitális adatbázisba mentése. Ez a munka az ELGI-ben a BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszékének anyagi támogatásával 1995-ben kezdődött és várhatóan 2007–2008-ban fejeződik be. Ennek eredményeképpen 2005 decemberéig 26859 Eötvös-inga mérési adatait sikerült számítógépes adatbázisba menteni. Az 5. ábrán az eddig adatbázisba rendezett mérések területi eloszlását láthatjuk. Az ábra bal oldalán a jelölések alapján megállapítható, hogy az egyes területrészekon mikor történtek az ingamérések (pl. az As – Aszod/49 arra utal, hogy a térképen „As”-sel jelölt Aszod környéki területen 1949-ben végezték a méréseket). A mérések egy része a trianoni határon túli területekre esik.

5. Az Eötvös-inga mérési eredmények geofizikai alkalmazása

Az Erdélyi-medence részletes földtani térképezése – melynek célja elsősorban a műtrágyagyártáshoz szükséges kálisó telepek felkutatása volt



5. ábra. A 2005 decemberéig adatbázisba rendezett Eötvös inga mérések területi eloszlása

– az 1900-as évek elején kezdődött. Kezdetben a sós kutak vizét analizálták. Mivel a vizsgálatok egyik kútban sem mutattak ki oldott kálsót, ezért 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 oly erővel és mennyiségben tört fel a földgáz, hogy a fúrótorony fa váza is kigyulladt. Ezt az első sikeres fúrást hamarosan követték a többiek.

Eötvös terepi mérései és az azokból levont földtani következtetések ekkortájt keltették fel a bányakutatással foglalkozó szakemberek és hivatalosságok figyelmét. 1911-ben *Lukács László* pénzügyminiszter levélben kéri *Eötvös* véleményét az ingamérések használhatóságáról a nyersanyag-kutatásban.

Miután az erdélyi földgáz előfordulások zöme antiklinális szerkezetekhez kötött, *Eötvös* pozitív választ adott. A pénzügyminisztérium nem sokat késlekedett a felkéréssel, hogy *Eötvös* a nagy hasznot ígérő méréseket beindítsa az Erdélyi-mencedében. 1912-ben nagy arányú torziós-inga mérések kezdődtek a pénzügyminisztérium által

kijelölt erdélyi területeken, melyek célja az antiklinálisokra utaló gravitációs maximumok, ill. esetleg sötömszökre utaló gravitációs minimumok kijelölése volt. A pénzügyminiszter váltás nem befolyásolta az ingamérések folytatását, sőt az új miniszter, *Teleszky János* még nagyobb figyelmet fordított a kutatási eredményekre.

A terepi méréseket *Eötvös* maga értékelte ki, de az eredményeket nem publikálta. A pénzügyminisztériumnak leadott jelentésében javaslatot tett fúrás kitűzésére is. Az erdélyi méréseknek az I. világháború kitörése vetett véget (*Szabó, 2004a*).

Új lendületet adott az Eötvös-inga alkalmazásának az Egbell (Gbely, Szlovákia) környéki kőolajkutatás. 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. A későbbi termelő fúrások alapján az antiklinális meglehetősen pontosan körvonalazható volt. *Böckh Hugó* javaslatára – aki már korábban figyelemmel kísérte a terepi torziós-inga méréseket – *Eötvös* és munkatársai 1916-ban felmérték a területet. A mérési eredményeket *Pekár* az aláb-

biakban foglalta össze: „Egbell környékén, ahol olajok után kutattak, méréseinkkel teljesen olyan alakulatot állapítottunk meg, mint amelyet a geológusok is meghatároztak.” Böckh Hugó véleménye pedig a következő volt: „...de, ha nem is volna meg a geológiai felvétel, az izogammák mégis biztos támpontot nyújtanának arra nézve, hogy hol telepítsünk kutató fúrást.” (Böckh 1917).

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 nagy számú kőolajat és földgázt tartalmazó antiklinálist és sőtömzsöt fedeztek fel. Sőtömzs kutatására elsőként Schweydar alkalmazta az Eötvös-ingát; 1917-ben – Böckh Hugó egbelli publikációja alapján – végzett sikeres méréseket egy ismert észak-német (Nienhagen-Haenigsen) sőtömzs területén.

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 Dezső vezetésével megalakított Báró Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben (ELGI) sajtóították el a műszer elméletét és gyakorlati alkalmazását.

6. Az Eötvös-inga mérési eredmények geodéziai felhasználása

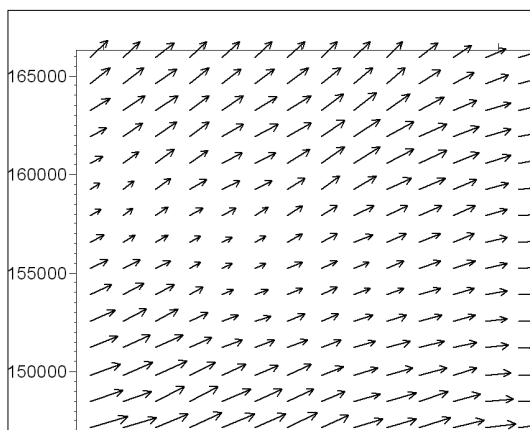
Mivel a közel 60 000 magyarországi Eötvös-inga mérés jelentős részét ásványi nyersanyagok kutatása céljából végezték, ezért nagy általánosságban csak a horizontális gradiensek kerültek feldolgozásra, a geodézia szempontjából fontosabb görbületi mennyiségek feldolgozatlanul maradtak.

Eötvös első terepi méréseivel egy időben olyan számítási eljárást dolgozott ki, melynek segítségével torziós-inga mérések adataiból meghatározható két közeli pont között a függővonal-elhajlás változása. Ha torziós-ingával felmért terület néhány pontján asztrogeodéziai módszerrel meghatározzuk a függővonal-elhajlás értékét, akkor az ingamérések adataiból minden egyes mérési pontra levezethető ezek értéke. A függővonal-elhajlás értékek felhasználásával a csillagászati szintezés módszerét alkalmazva részleteiben tanulmányozható a geoid alakja is. Mint korábban említettük, e felismerés alapján az első, viszonylag kisebb területre kiterjedő próbaszámításokat

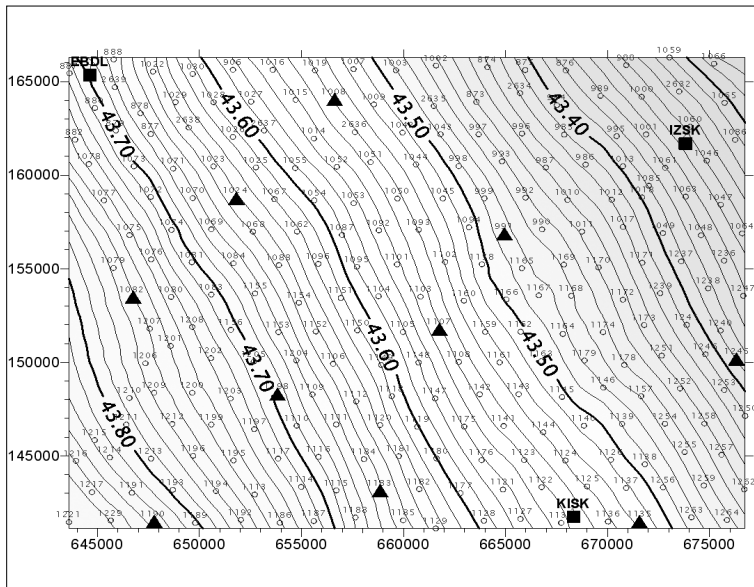
és részletes geoid térképet is készített Eötvös az 1906–1907 években az Arad környékén végzett mérései felhasználásával. Ma már a modern számítástechnikai lehetőségeket kihasználva rendelkezésre állnak azok a módszerek és szoftverek, amelyek felhasználásával lehetőségünk van akár tetszőleges nagyságú összefüggő területen átlagosan 0.5” pontosságú függővonal-elhajlás értékek meghatározására valamennyi Eötvös-inga mérési állomáson (Völgyesi, 2005).

Korábban a fizikai geodéziával foglalkozó szakemberek kizárólag a görbületi adatokat próbálták geodéziai célokra használni – elsősorban függővonal-elhajlás értékek sűrítésére. Emellett ma már a számítástechnika fejlődésével további új távlatok és lehetőségek nyíltak az Eötvös-inga mérési eredmények geodéziai alkalmazása területén is. Mivel a fizikai geodéziában a valódi földi nehézségi erőter ismeretének meghatározó jelentősége van, időközben felmerült a szüksége és geodéziai alkalmazási lehetősége a vízszintes gradienseknek is. Ugyanis ezeket a gradienseket néhány megfelelő nehézségi gyorsulás, vagy nehézségi rendellenesség értékkel kombinálva, viszonylag egyszerűen előállíthatók a helyi nehézségi erőter rövid-, különösen a 30 km-nél rövidebb hullámhosszúságú összetevői (Völgyesi–Tóth–Csapó, 2004).

A nehézségi erőter ilyen úton történő előállításához viszont szükségünk van a vertikális gradiensek (VG) értékére is, amelyek valódi értéke a vizsgálataink szerint Magyarországon jelentősen eltér a VG normálértékétől. Mivel a VG értékek graviméteres mérésekkel történő meghatározása



6. ábra. Az inverziós eljárás alkalmazásával meghatározott függővonal-elhajlások vektorábrája a teszterületen



7. ábra. Az inverziós eljárás alkalmazásával meghatározott geoid finomszerkezete a teszt területen (a körök az Eötvös-inga mérési pontokat jelölik, a négyszögek asztrogeodéziai-, a háromszögek asztrogravimetriai pontok)

valamennyi Eötvös-inga mérési állomáson semmiképpen nem gazdaságos, ezért erre más megoldást kellett keresnünk. Szerencsénkre viszont éppen az Eötvös-ingával mérhető görbületi adatokból a valódi VG értékek is meghatározhatók (Tóth–Völgyesi–Csapó, 2004).

Fontos és érdekes újdonság az ingamérések geodéziai alkalmazásában a nehézségi erőter potenciálfüggvényének inverziós előállítása. Amennyiben ugyanis az Eötvös-inga mérésekből meg tudjuk határozni a nehézségi erőter potenciálfüggvényét, a potenciálfüggvény megfelelő irányú első deriváltjaiból elő tudjuk állítani az erőter vektorának összetevőit, a második deriváltak pedig az Eötvös-tenzor elemeit adják, amelyek kiválóan alkalmasak a számítás ellenőrzésére. Ennél fogva igen nagy jelentősége van a potenciálfüggvény meghatározásával kapcsolatos kutatásoknak. A legújabb kidolgozott módszer lehetőséget ad az Eötvös-inga mérések alapján a nehézségi erőter potenciálfüggvényének és a potenciálfüggvény valamennyi fontos deriváltjának inverziós előállítására (Dobróka–Völgyesi, 2005). A 6. és a 7. ábrán a Szabadszállás – Kiskőrös környéki teszt területen a függővonal-elhajlások vektorábrája és a geoid finomszerkezetének az inverziós eljárás alkalmazásával meghatározott képe látható.

A kollokációs eljárás alkalmazásával további lehetőségek adódnak az ingamérések felhasználására. Ez az eljárás ugyanis kiválóan alkalmas az Eötvös-inga mérések feldolgozására, hiszen képes az adatok statisztikai jellemzői (a kovariancia függvények) ismeretében különböző típusú adatok egységes kezelésére. Az Eötvös-inga mérési eredmények geodéziai célú hasznosításával kapcsolatban több sikeres vizsgálat is készült a legkisebb négyzetes kollokáció módszerével (Tóth–Völgyesi, 2005).

7. Az Eötvös-inga nemzetközi alkalmazása

Az Eötvös-inga úgynevezett első aranykorszakában, a múlt század első felében, mintegy 125 Eötvös-ingát szállítottak 30 különböző országba, majd a második aranykorszakban, az 50-es, 60-as években, további 109 E-54 és 70 db. E-60 model került exportra (Szabó, 1999; Polcz, 2003), – így összesen több mint 300 torziós-inga került Magyarországról a világ különböző országaiba. (Ezen kívül a német ASKANIA cég is készített ingákat, ebből a műsorból 1929-ig több mint 200 torziós-ingát exportáltak.)

Mielőtt részletesebb adatokat ismertetnénk a különböző országokban végzett ingamérésekről, érdekes lehet egy rövid számítás segítségével megbecsülni a világon végrehajtott mérések számát. 500 torziós-ingát feltételezve, amennyiben ezeket évente 200 napon keresztül használták a geofizikai mérőcsoportok 10 éven keresztül naponta két észlelést végezve, akkor a világon legalább 2 millió Eötvös-inga mérési eredmény született. Ez természetesen nagyon durva becslés, mégis jól mutatja a nemzetközi alkalmazás nagyságrendjét.

Kőolajkutatás 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.

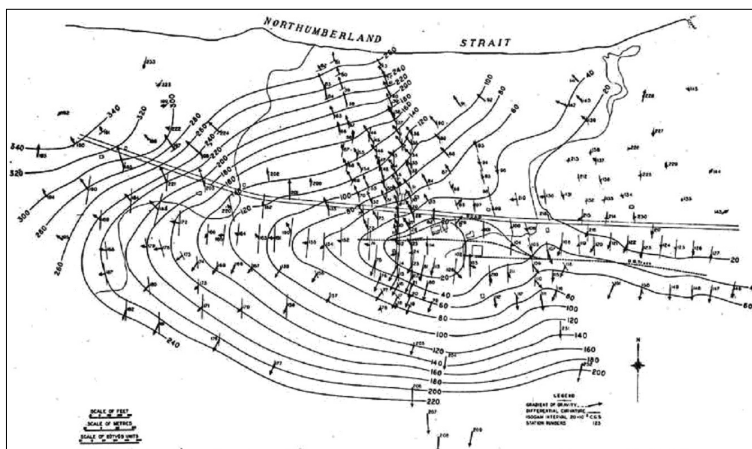
Az első méréseket az Amerada Petroleum Corporation keretében *Donald Barton* vezetésével *Gilmour* végezte a Spindletop (Texas) mezőn, ahol az ismert kőolaj előfordulás sötömzshöz kapcsolódott. Az amerikai kontinensen ez volt az első geofizikai térképezés egy ismert olajmezőn, amely gyakorlatilag az egbelli mérés mintájára történt. Ebben az esetben azonban a kőolajtelep nem antiklinális, hanem sötömzshöz kapcsolódott. Az első sikeres kutatás, ahol a kőolajtelep megtalálása 1924-ben torziós-inga mérés alapján kitűzött kutatófúrással történt, a Nash sötömzs (Brazoria County, Texas). 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 mérések alapján.

Kanadában 1929-ben kezdődtek a torziós-inga mérések, egy eredeti magyar és egy *Askania* műszerrel, *A. H. Miller* irányításával. A műszerek beszerzésének a célja az volt, hogy gyakorlatot szerezzenek a mérések végrehajtására, a szükséges redukciók számítására, s ezek után megvizsgálják alkalmazási lehetőségét geológiai szerkezetek kutatására. Az 1929 és 1935 között Kanada középső és keleti részén nyolc különböző helyszínen folytattak a torziós-inga méréseket. A mérési eredmények térképi formában maradtak fenn, az azonosítás meglehetősen nehézkes, mert földrajzi koordináták sehol nem szerepeltek, csupán geológiai alakzatokhoz csatlakozó helyi térképek. A mérési időszak alatt összesen 758 pontban végeztek Eötvös-inga méréseket, amelyeket más egyéb geofizikai (pl. mágneses) megfigyelésekkel is kiegészítettek. Klasszikus eredmény látható a 8. ábrán, amelyen az ingamérések pontosan mutatják a Malagash-i sötömzs elhelyezkedését (*Miller*, 1940).

Mivel egyrészt az ingaméréseket főként magánvállalatok pénzelték, másrészt 70–80 évvel ezelőtt történtek, ma már szinte lehetetlen

pontosan felsorolni valamennyi országot, ahol komolyabb eredménnyel alkalmazták a torziós-ingát. Az alábbiakban felsorolunk néhány további nevezetesebb helyszínt, amelyekről egyáltalán információkkal rendelkezünk.

Elsősorban olajmezőket találtak az alábbi helyeken: 1917 Schweydar Nienhagen-Haenigsen (Észak-Németország); 1919–20 Schuman Vienna Basin Leopoldsdorf-vetődés; 1923–28 India Khairpur őserdeiben Assam vidékén; 1924 Black Forrest (Lake Titi); 1925 Mironov Dossor Oroszország; 1925–1928 kiterjedt mérések az Emba területén; 1927 Matuyama Japan, Kokubu síkság a Sakurazima vulkán közelében; 1927 Franciaország (Auvergne, Puy-de-Dome) Pekár vezetése; 1928 Perzsia; 1928 Fort Collins Colorado Amerika, Midcontinent olajmezők (Colorado, Nebraska); 1928 Anglia, Pentland vetődés Portobello mellett, 1929 Numerov Lake Shuvalovo Leningrád közelében; 1929 Mexia-Luling vetődés; 1929 Lubthen, Észak-Németország; 1929 Li-magne-Graben Franciaország; 1929 Dél Afrika; 1929 Slikamsk mellett (észak Ural, Oroszország); 1929-30 Venezuela; 1930 Takumati Japan; 1933 Vajk Délamerika; 1934-ig a Volga és az Ural közötti területen több mint 400 sötömzsöt találtak; 1934-ig Romániában (első mérések valószínűleg *Schweydar* által 1918-ban) később a méréseket a Román Geológiai Intézet végezte (Baicoi-Tintea, *Bucovul*, *Filipsei*, *Novacesti* és mások, Ploesti és Targoviste között); 1935 Moss Bluff sötömzs, Belle Isle sötömzs, St. Mary's Parish Louisiana; 1938-ig Texas és Louisiana Mexikói-öböl mentén részben vagy teljesen 79 olajmezőt fedeztek fel a torziós-ingákkal.



8. ábra. A Malagash-i sötömzs területén végzett ingamérések eredményei

Egyéb fontosabb helyszínek: 1917 Banat Romania (Rybar); 1919 Zillingdorf Bécstől északra; 1923 Siegerland, Németország; 1924 Fushun Colliery, Japán; 1925 Menstrask Lake Svédország; 1926–27 Krivoj-Rog Dél-Oroszország; 1927 Swynnerton dike; 1928 Kursk Oroszország; 1929 Falconbridge Kanada.

Az Eötvös-inga mérések virágkora egyébként az 1930-as évek közepe volt. Míg 1936–37-ben pl. az USA-ban 40 Eötvös-inga csoport dolgozott, számuk a graviméterek fokozott térhódítása miatt 1938-ra 20-ra csökkent. A II. világháború idején a világ nyugati felén a graviméterek végleg kiszorították a torziós-ingát a földtani kutatásból.

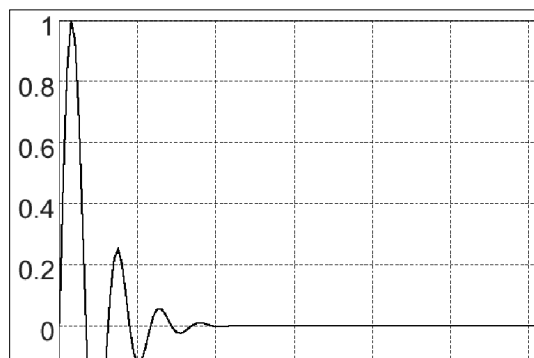
Torziós-inga mérések geodéziai célú felhasználására az USA-ban és Németországban is végeztek méréseket és számításokat. Ohio állam dél-nyugati részén sokszögláncolatok mentén 228 pontban történtek ingamérések, amelyeket részben függővonal elhajlás interpolálására használtak fel (*Badekas–Mueller*, 1967), részben az Eötvös-inga mérésekből a gravitációs anomáliák becslésének kérdését vizsgálták (*Arabelos–Tscherning*, 1987). Ezen kívül külföldön még Németországban foglalkoztak az ingamérések geodéziai célú felhasználásával (*Haalck*, 1950; *Groten*, 1975; *Hein*, 1981).

8. Az Eötvös-inga mérések jövőbeli felhasználása és jelentősége

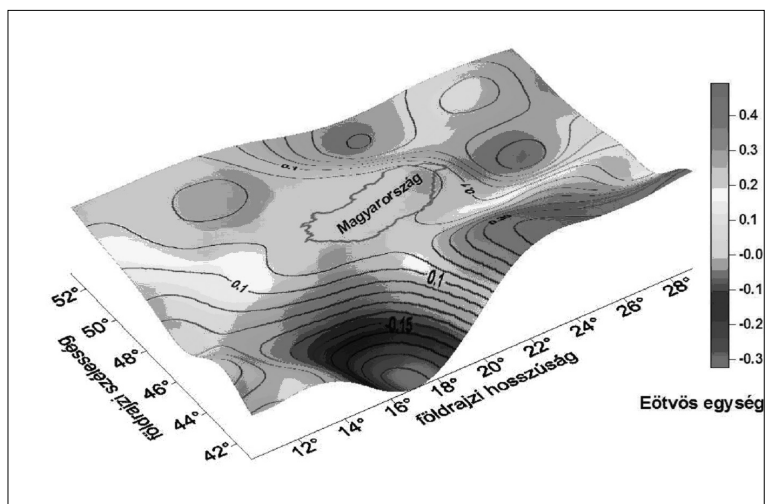
Az Eötvös-inga mérések jövőbeli felhasználása nem csak a már meglévő mérési anyag tekintetében képzelhető el, hanem új mérésekre is sor kerülhet. Az alkalmazások köre a geodézia mellett geodinamikai, geofizikai, sőt hidrológiai lehet. Ismételt ingamérésekkel ugyanis várhatóan jól kimutathatók a felszín közelében bekövetkező tömegátrendeződések, tömegváltozások gravitációs hatásai. A légi gradiometriának már számos alkalmazásáról tudunk felszín alatti bunkerek, eltakart létesítmények kutatásában (*Romaides et al.*, 2001). A gravitációs gradiensek mérésének hatékonyságát a szerzők kísérleti mérésekkel is igazolták. A változó talajvízszint gravitációs hatását modellezve néhányszor 10 μGal nagyságú hatás jelentkezik a felszínen (*Damiata és Lee*, 2006). Kimutatható, hogy ilyen talajközeli tömegváltozások esetén a gradiens mérések kedvezőbb jel/zaj viszonytal rendelkeznek, mint a graviméteres mérések, ezért nem elképzelhetetlen a felszíni gradiensemérések ilyen jellegű alkalmazása sem.

Az Eötvös-inga mérések a jövőben jelentős szerepet játszhatnak egy korszerű, nagy pontosságú új magyarországi geoidmegoldás szempontjából is. Ennek az az oka, hogy vizsgálataink alapján az ingamérések – a nagyfelbontású domborzatmodellek mellett – jól használhatók a meglévő megoldások pontosítására, különösen a nehézségi erőter 30 km-nél kisebb távolságokon jelentkező összetevőinek a modellezésére. Az ingamérések ugyanis az ún. Eötvös-féle peremértékfeladat keretében felhasználhatók a nehézségi erőter potenciáljának, vagy a nehézségi rendellenességeknek az előállítására (*Tóth*, 2002).

Végül megemlítjük az Eötvös-inga mérések egy újabb lehetséges geodéziai alkalmazási területét. Ez a korszerű műholdas gravitációs mérési technikákhoz és különösen az Európai Űrügynökség (ESA) által 2007-ben indítandó GOCE (Gravity and Ocean Circulation Experiment) műhold gradiométeres méréseivel kapcsolódik. Az egyedülálló magyarországi Eötvös-inga mérések segítségével ugyanis mód nyílik arra, hogy a nehézségi erőter helyi szerkezetének egyes összetevőit a különböző típusú (űrgradiométeres és felszíni gravitációs gradiensek) mérések optimális kombinációjából határozzuk meg. A szükséges összefüggések megtalálhatók a (*Haagmans et al*, 2002) cikkben, a teljes gravitációs gradiens tenzor felfelé/lefelé folytatásának összefüggései pedig a (*Tóth et al*, 2006)-ban. A GOCE mérésekből meghatározott vertikális gravitációs gradiensek lefelé folytatásához szükséges ún. súlyfüggvény a



9. ábra. A V_{zz} vertikális gravitációs gradiensek 250 km-es magasságból történő lefelé folytatásához szükséges súlyfüggvény. A sáváteresztő szűrő 1. rendű gömbi Butterworth-szűrő. A függvény normalizált, és a fokokban kifejezett gömbi szögtávolságtól függ. Jól látható, hogy 4° -os szögtávolságon túl a gradiométeres műhold méréseinek már gyakorlatilag nincs hatása a földfelszínen.



10. ábra. A V_{xy} vízszintes gravitációs gradiensek alakulása Magyarország fölött a GOCE pályamagasságában (Eötvös egységben).

9. ábrán látható. Ezek a mérések tehát ily módon kombinálhatóak valamely geopotenciál modellel, a felszíni gravitációs és Eötvös-inga mérésekkel a nehézségi erőter helyi jellegzetességeinek pontos modellezése érdekében. Illusztrációként továbbá bemutatjuk a vegyes második vízszintes gravitációs gradienseknek a GOCE pályamagasságában számított értékeit Magyarország fölött (10. ábra).

Megállapíthatjuk tehát, hogy a gravitációs gradiometria, melyet Eötvös indított el egyedülálló műszerének a megalkotásával, napjainkban is fontos szerepet játszik a nehézségi erőter, és különösen a felszín közeli tömegváltozások vizsgálatában.

9. Összefoglalás

Az 1906. évi budapesti IAG konferencia egyik legnagyobb jelentősége, hogy Eötvös tudományos tevékenységének nemzetközi szakmai támogatásán keresztül megteremtette a magyar geofizikai kutatások önállóságának alapját, lehetővé tette a terepi mérések kiterjesztését és a további műszerfejlesztéseket. Ennek következtében világszerte egyedül álló módon felpezsdültek és felértékelődtek a gravitációs kutatások. Eötvös Loránd munkásságának pozitív hozományát a magyarországi gravitációs adatok mennyisége és minősége tekintetében mind a mai napig élvezhetjük.

Eötvös Loránd szellemi hagyatékát hazai és nemzetközi szinten is hasznosítják és továbbfejlesztik. Hazai vonatkozásban a BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszéke és az ELGI között az

elmúlt évtizedek alatt szoros együttműködés alakult ki, melynek keretében az Eötvös-ingával végzett méréseket geodéziai szempontból hasznosítjuk. Nemzetközi szinten több űrkutatási kísérletet is terveztek, amelyek Eötvös szellemi hagyatékán alapulnak. Ezek egyike a GOCE, mely a tervek szerint 2007-ben fog megvalósulni.

IRODALOM

Ádám, J. (2000): Geodesy in Hungary and the Relation to IAG around the turn of 19th/20th Century – A Historical Review. *Journal of Geodesy*, 74, 1 (7–14).

Ádám J. (2002a): A 175 éves MTA szerepe a magyar geodéziatudomány fejlődésében. *Közgyűlési előadások 2000 – 175 éves a Magyar Tudományos Akadémia*, II. kötet, 559–589 old, MTA, Budapest.

Ádám J. (2002b): Az IAG 2001. évi tudományos közgyűlése Budapesten. *Geodézia és Kartográfia*, 54, 8 (12–19).

Arabelos, D.–Tscherning, C. C. (1987): Computation of the gravity vector from torsion balance data in Southern Ohio. *Journal of Geophysical Research*, 92, B8, (8157–8168).

Badekas, J.–Mueller, I. I. (1967): Interpolation of deflections from horizontal gravity gradients. Reports of the Department of Geodetic Science, No. 98, The Ohio State University.

Bericht über die Verhandlungen der fünfzehnten Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung abgehalten vom 20 bis 28 September 1906 in Budapest. *Verhandl. d. XV. allg. Konferenz der Internat. Erdmessung in Budapest*, 1906, I. Theil, pp. 55–108, Berlin, 1908.

Böckh H. (1917): Brachyantiklinálisok és dómok kimutatása a torziós mérleggel végzett nehézségi mérések adatai alapján. *Bányászati és Kohászati Lapok* 50. 1, 9 (265–273).

Csapó G. (2005): Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet geodéziai vonatkozású gravitációs kutatásai napjainkig. *Magyar Geofizika*, 46, 2 (66–76).

Damiata, B. N.–Lee T.-C. (2006): Simulated gravitational response to hydraulic testing of

- unconfined aquifers. *Journal of Hydrology* Vol 318, (348–359).
- De Golyer, E.* (1938): Historical notes on the development of the technic of prospecting for petroleum. *The science of petroleum* I. (268–275). Oxford University Press
- Dobróka, M.–Völgyesi, L.* (2005): Inversion reconstruction of gravity potential based on gravity gradients. A joint meeting of the IAG, IAPSO and IABO; *Dynamic Planet 2005*, Cairns, Australia, August 22–26 2005.
- Eötvös L.* (1896): Vizsgálatok a gravitatio és mágnesség köréből. *Mathematikai és Természettudományi Értesítő* XIV. 4 (1–46).
- Eötvös L.* (1901): Elnöki megnyitó beszéd (MTA, 1901. május 12.) *Akadémiai Értesítő* (260–269).
- Eötvös, R.* (1908a): Bestimmung der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveauflächen mit Hilfe der Drehwaage. *Verhandl. d. XV. allg. Konferenz der Internat. Erdmessung in Budapest, 1906*. I. Theil, (337–395), Berlin.
- Eötvös, R.* (1908b): Die Niveauflächen und die Gradienten der Schwerkraft am Balaton-see. Wien.
- Eötvös, R.* (1910): Bericht über geodätische Arbeiten in Ungarn besonders über Beobachtungen mit der Drehwaage. *Verhandl. d. XVI. allg. Konferenz der Internat. Erdmessung in London und Cambridge, 1909*, I. Theil, (319–350), Berlin.
- Eötvös, R.* (1913): Bericht über Arbeiten mit der Drehwaage ausgeführt im Auftrage der kön. Ungarischen Regierung in den Jahren 1908–1911. *Verhandl. d. XVII. allg. Konferenz der Internat. Erdmessung in Hamburg, 1912*, I. Theil, (427–438), Berlin.
- Gombár L.–Göncz G.–Késmárky L.–Kloska K.–Molnár K.–Nagy Z.–Pogácsás Gy.–Szilágyi L.–Véges I.* (2002): A felszíni geofizikai kutatás 50 éve a kőolajiparban. GES Kft. kiadványa, Budapest.
- Groten, E.* (1975): On the Determination and Applications of Gravity Gradients in Geodetic Systems. *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, Anno XXXI V, No. 4, 357–394.
- Haagmans, R.–Priyatna, K.–Omang, O.* (2002): An Alternative Concept for Validation of GOCE Gradiometry Results Based on Regional Gravity. *Gravity and Geoid 2002*. 3rd Meeting of the IGGC, I.N. Tziavos (Ed), Ziti, (218–286).
- Haalck, H.* (1950): Die vollständige Berechnung örtlicher gravimetrischer Störfelder aus Drehwaagemessungen. *Veröffentlichungen des Geodätischen Institutes Potsdam*, Nr. 4, Potsdam.
- Hein, G. H.* (1981): Untersuchungen zur terrestrischen Schweregradiometrie. Deutsche Geodätische Kommission, bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe C, Heft Nr. 264
- Miller, A. H.* (1940): Investigations of Gravitational and Magnetometric Methods of Geophysical Prospecting. *Publications of the Dominion Observatory, Ottawa*, XI, 6 (175–208).
- Oltay, K.* (1910): Vorläufiger Bericht über die im Auftrage des Herrn Baron R. Eötvös ausgeführten Lotabweichungsbestimmungen und Schweremessungen. *Verhandl. XVI. Konferenz der Internat. Erdmessung in London und Cambridge, 1909*, I. Theil, pp. 351–353, Berlin.
- Oltay K.* (1925): A nemzetközi felső geodéziai mérések állása hazánkban. A „Stella” *Csillagászati Egyesület 1925. évi almanachja*, Kir. M. Egyetemi Nyomda, (210–214), Budapest.
- Oltay K.* (1930): *Tudományos geodézia*. A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet „Technikai fejlődésünk története 1867–1927.” című jubiláris kiadványából, 13 old., Budapest.
- Oltay K.* (1931): A Magyar Geodéziai Intézet működése megalakulásától 1930-ig. *Geodéziai Közlöny*, VII, 1–3 (8–16), 4–6 (92–96), 7–10 (148–169).
- Oltay K.* (1934): A Magyar Geodéziai Intézet működése 1930-tól 1932 végéig. *A Magyar Geodéziai Intézet Közleményei*, II, Budapest, 1934.
- Oltay K.* (1948): Eötvös Loránd és a Geodézia. *Geodéziai Közlöny*, XXIV, 6–7 (83–87).
- Pekár D.* (1930): Gravitációs mérések. Báró Eötvös Loránd emlékkönyv, szerk. Fröhlich I. (129–187). MTA
- Pekár D.* (1941): Báró Eötvös Loránd. A torziós inga ötven éves jubileumára. Bp. Kis Akadémia, 40 old.
- Proubasta, D.* (1984): Remembrance of geophysical things past. *Geophysics, the Leading Edge of Exploration*, 3, 10 (32–38).
- Polcz I.* (2003): A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet története, I. rész, Budapest (ELGI kiadvány).
- Raum F.* (1994): Nemzetközi geodéziai együttműködési évforduló. *Geodézia és Kartográfia*, 46, 4 (237–239). (*Új Földmérő*, a Geodéziai és Térképészeti Rt. lapja, XL. évf., 1994/3, 20–26. old.).
- Regőczy E.* (1954): Hogyan kapcsolódott bele Magyarország a nemzetközi geodéziai munkálatokba. *Geodézia és Kartográfia*, 6, 3 (201–202).
- Romaides, A.–Jm Battis, J. C.–Sands, R. W.–Zorn, A.–Benson, D. O.–Jr. Di Francesco,*

- D. J. (2001): A comparison of gravimetric techniques for measuring subsurface void signals. *Journal of Physics D*, Vol 34, (433–443).
- Tóth Gy. (2002): Az Eötvös geodéziai peremértékfeladat. *Geomatikai Közlemények V.* (163–174) oldal.
- Tóth Gy.–Völgyesi, L.–Csapó, G. (2004): Determination of vertical gradients from torsion balance measurements. IAG International Symposium, Gravity, Geoid and Space Missions. Porto, Portugal August 30 – September 3, 2004. CD kiadvány.
- Tóth, Gy.–Völgyesi, L. (2005): Investigation of Hungarian torsion balance measurements by prediction. *Reports on Geodesy*, Warsaw University of Technology, 73, 2 (277–284).
- Tóth, Gy.–Földváry, L.–Ádám, J.–Tziavos, I. N. (2006): Upward / downward continuation of gravity gradients for precise geoid determination. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 41, 1, (21–30).
- Selényi, P. (1953): Roland Eötvös gesammelte Arbeiten. Akadémiai Kiadó 385 old.
- Szabó Z. (1999): Az Eötvös-inga históriája. *Magyar Geofizika* 40, 1 (26–38).
- Szabó Z. (2004a): A fizikus Eötvös Loránd és a földtani kutatás. *Magyar Geofizika*, 45, 3 (102–110).
- Szabó Z. (2004b): A gravitációs és földmágneses kutatások története Magyarországon. *Magyar Geofizika*, 45, jubileumi különszám.
- Szafián P.–Timár G.–Horváth F. (2006): Régi adat nem vén adat: Az Eötvös-ingás mérési eredmények újraélesztéséről. *Magyar Geofizika*, 46, 4 (146–151).
- Szilárd, J. (1984): Eötvös Loránd csavarási ingájának bevezetése a földtani kutatásba. *Földtani Kutatás*, XXVII, 3 (63–69).
- Völgyesi, L.–Tóth, Gy.–Csapó, G. (2004): Determination of gravity anomalies from torsion balance measurements. *Gravity, Geoid and Space Missions GGSM 2004*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York; Series: IAG Symposia, Vol. 129. (292–297).
- Völgyesi L.–Tóth Gy.–Csapó G.–Szabó Z. (2005): Az Eötvös-inga mérések geodéziai célú hasz-

nosításának helyzete Magyarországon. *Geodézia és Kartográfia*, 57, 5 (3–12).

Völgyesi, L. (2005): Deflections of the vertical and geoid heights from gravity gradients. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 40, 2 (147–159).

The geodetic and geophysical significance of the IAG conference held at Budapest in 1906 – commemoration on the occasion of the 100-th year anniversary

Völgyesi, L.–Ádám, J.–Csapó, G.–Nagy, D.–Szabó, Z.–Tóth, Gy.

Summary

The Internationale Erdmessung, predecessor of the IAG, held its General Meeting 100 years ago from September 20–28, 1906 at the Hungarian Academy of Sciences (MTA) in Budapest. This program was of historical importance for the discipline because it was here where the scientific community learned for the first time about the research activity of *Loránd Eötvös* and about the capability of the torsion balance, named after him. After the visit of a delegation to the field survey being carried out around Arad, a petition was drafted to the government and presented by Sir *George Howard Darwin*. As a result, beginning in 1907 for three years the government increased the financial support to Eötvös's research 15-fold. This provided greatly to the further development of the instrument. Due to this development, a revolutionary progress took place in gravity research, whose bountiful influence can be felt even today. The Eötvös torsion balance measurements were mainly used in searching for mineral resources. However the data obtained even today is priceless for information which can be used in geodesy. In Hungary in the last century more than 60000 torsion balance measurements were made, and until the 1940s practically on every continent the Eötvös torsion balance was one of the most frequently and most successfully used instruments used in geophysical surveys. In this paper the importance of this event in geodesy and geophysics is outlined and its effect on the scientific research is briefly discussed.