

A Nemzetközi Földmérés 1906-os budapesti konferenciájának hatása a geodézia és a geofizika fejlődésére¹

VÖLGYESI LAJOS^{2,3}, ÁDÁM JÓZSEF^{2,3}, CSAPÓ GÉZA⁴, NAGY DEZSŐ⁵,
SZABÓ ZOLTÁN⁴, TÓTH GYULA^{2,3}

A Nemzetközi Geodéziai Szövetség (International Association of Geodesy) 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 3 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 évfordulójára alkalmából áttekintjük ennek geodéziai és geofizikai jelentőségét, és a konferencia hatását e tudományterületek fejlődésére.

L. VÖLGYESI, J. ÁDÁM, G. CSAPÓ, D. NAGY, Z. SZABÓ, G. TÓTH: Influence of the Internationale Erdmessung conference held at Budapest in 1906 on the progress of geodesy and geophysics

The Internationale Erdmessung, predecessor of the International Association of Geodesy, 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.

1. Az Internationale Erdmessung 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 Kö-

zép-európai Fokmérés néven. A szervezet neve 1867-ben Európai Fokmérés, 1886-ban pedig — miután Európán kívüli államok is bekapcsolódtak a vonatkozó munkálatokba — Nemzetközi Földmérés (Internationale Erdmessung, IE) lett. Jelenlegi nevét — International Association of Geodesy (IAG) — már az IUGG tagszervezeteként 1930-ban vette fel [ÁDÁM 2000].

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.) Magyarországot mint önálló állam 1897. január 1-én lépett be az IAG-ba [REGŐCZI 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 Conferenz) előkészíté-

¹ Beérkezett: 2006. augusztus 4-én

² Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Általános és Felsőgeodézia Tanszék, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3, E-mail: volgyesi@eik.bme.hu, jadam@sci.fgt.bme.hu, gtoth@sci.fgt.bme.hu

³ MTA-BME Fizikai Geodéziai és Geodinamikai Kutatócsoport

⁴ Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, H-1145 Budapest, Kolumbusz u. 17–23, E-mail: csapo@elgi.hu, szabo@elgi.hu

⁵ Geodetic Survey Division, Natural Resources Canada, Ottawa, E-mail: denagy@NRCan.gc.ca

sében részt vett tanszéki munkatársa és utóda, OLTAY Károly is.

A rendezvényre 1906. szeptember 20–28. között került sor az MTA székházában. A megnyitótűlést 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 zárótűlést 28-án, pénteken tartották [Bericht... 1908].

A közgyűlés résztvevői között a kor neves csillagászeit, geodétáit, fizikusait és matematikusait találjuk. Részt vett a rendezvényen H. POINCARÉ, a Francia Tudományos Akadémia elnöke — akkor már az MTA tiszteleti tagja, valamint az Akadémia 1908-ban választott tiszteleti tagjai, G. H. DARWIN és F. R. HELMERT is [ÁDÁM 2002a]. Itt volt J. F. HAYFORD is, valamint Ch. E. GUILLAUME svájci származású francia fizikus, a párizsi *Nemzetközi Súly- és Mértekügyi 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. LEHRL 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 BAKHUYZEN, 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. SCHIÖTZ), *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 névsorában csak BODOLA Lajos és EÖTVÖS Loránd professzorokat találjuk, de az egyes ülések jegyzőkönyvében számos magyar meghívott vendég nevét találjuk: 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 professzorok. Állandóan jelen volt viszont FASCHING Antal, aki azzal volt megbízva, hogy naponta tájékoztassa az újságírókat.

A konferencia zárótűlést követően, szeptember 28-án délután a résztvevők számára kirándulást szerveztek a Margitszigeten. Ennek keretében készítették az *1. ábrán* látható csoportképet, amelynek eredeti fotója az Országos Műszaki Múzeumban található [RAUM 1994].

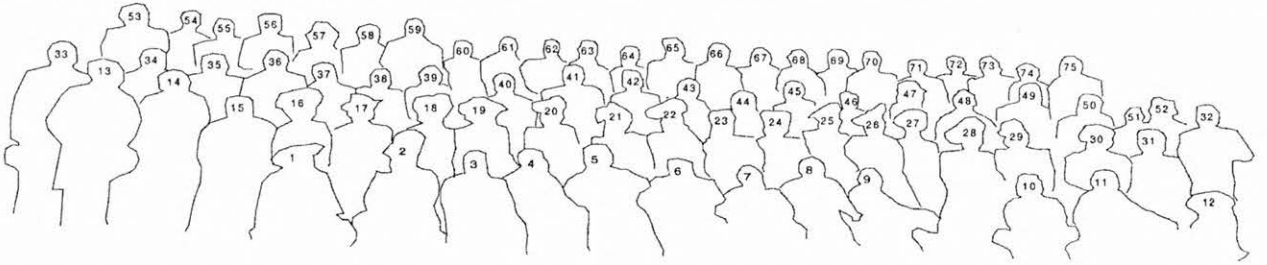
Megjegyezzük, hogy a jogutód IAG 95 év elteltével, 2001-ben ismét Budapestet, az MTA székházát választotta az új évezred első tudományos közgyűlésének helyszínéül. A tudományos közgyűlésen (2001. szeptember 2–7.) négy szimpózium keretében szervezett 20 szekcióban a geodéziatudomány és geodinamika legjelentősebb képviselői tartottak előadásokat. Az egyik szimpózium EÖTVÖS marandó munkásságának tiszteletére a *From Eötvös to Satellite Gradiometry — New Vistas in Measuring and Modelling 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 jelentősége

Az 1906-os konferencia legnagyobb hatású eseménye EÖTVÖS Loránd előadása volt, amely szeptember 24-én hangzott el. Ez kiváló lehetőséget biztosított EÖTVÖS számára, hogy a téma legjobb szakemberei, a kor legkiválóbb geodétái, csillagászai és matematikusai előtt bemutassa torziós ingáját, a már másfél évtizede folyó méréseit [EÖTVÖS 1908] és ismertesse a földalakkal kapcsolatos legújabb kutatási eredményeit. Másnap, szeptember 25-én az értekezlet résztvevői az egyetemi fizikai intézetben tett látogatáson megtekintették a műszereket is. EÖTVÖS itt megragadta az alkalmat és meghívta a társaságot Aradra, hogy a helyszínen is meggyőződjenek a terepi mérések pontosságáról [SELÉNYI 1953]. Egy 10 tagú delegáció élt is a lehetőséggel és a konferencia utáni hétvégén Sir George Howard DARWIN vezetésével megtekintették a terepi méréseket. Az inga aradi bemutatása olyan hatással volt a delegáció tagjaira, hogy Budapestre visszatérve DARWIN javaslatára a kongresszus beadványt nyújtott a kormányhoz, hogy anyagilag támogassa EÖTVÖS gravitációs kísérleteit [PEKÁR 1941].

A kormány elfogadta a külföldi kutatók javaslatát. APPONYI Albert vallás- és közoktatásügyi miniszter 1907. május 15-én kelt rendeletében tudatta EÖTVÖS Loránddal, hogy a gravitációs kutatásait az 1907. évben hatvanezer koronás összeggel támogatja. Később ezt az állami támogatást a kormány további két évvel meghosszabbította. Az évi 60 000 koronás állami támogatás jelentőségét jól szemlélteti, hogy EÖTVÖS Fizikai Intézetének akkori éves költségkerete 4000 korona volt (amely egyébként az MTA által folyósított Semsey-adományból, valamint EÖTVÖS saját vagyonából állt össze). 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, 1913].



1. ábra. Az IAG 1906-os budapesti konferenciájának résztvevőiről a Margitszigeten készült csoportkép. A fényképen azonosítható személyek: (2) BODOLA L. felesége, (3) TASAKA T., (4) BODOLA L., (5) KALMÁR A. R., (6) EÖTVÖS L., (8) KIMURA H., (9) HELMERT F. R., (32) FASCHING A., (38) POINCARÉ H., (39) BASSOT L., (42) DARBOUX G., (43) GUILLAUME C. E., (45) DARWIN G. H., (52) DOBROVIC V., (57) WEISS E., (61) HAYFORD J. F., (65) TINTER W., (70) HENVELINK H. J., (71) van de SANDE BAKHUYZEN H. G.

Fig. 1. Tableau of the participants of the IAG conference in 1906 made in Margaret Island in Budapest. The identifiable persons on the picture are: (2) wife of BODOLA L., (3) TASAKA T., (4) BODOLA L., (5) KALMÁR A. R., (6) EÖTVÖS L., (8) KIMURA H., (9) HELMERT F. R., (32) FASCHING A., (38) POINCARÉ H., (39) BASSOT L., (42) DARBOUX G., (43) GUILLAUME C. E., (45) DARWIN G. H., (52) DOBROVIC V., (57) WEISS E., (61) HAYFORD J. F., (65) TINTER W., (70) HENVELINK H. J., (71) van de SANDE BAKHUYZEN H. G.

Az említett állami támogatás lehetővé tette többek közt azt is, hogy OLTAY Károly megfelelő műszerfelszereléssel és felkészültséggel folyamatosan elláthassa EÖTVÖS geofizikai kutatásainak felsőgeodéziai mérésekkel történő kiszorgálását. A Műegyetem geodéziai tanszékén BODOLA utóda 1913-tól OLTAY lett, aki már 1906-ban bekapcsolódott EÖTVÖS gravitációs kutatásaiba. OLTAY az 1907–1908 közötti években Potsdamban volt felsőgeodéziai tanulmányúton, majd felsőgeodéziai és geofizikai méréseket végzett. EÖTVÖS Loránd halála után OLTAY három füzetből álló kiadványsorozatban ismertette 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 International 1906. évi budapesti konferenciája tartott kívánatosnak, s amelyekkel báró Eötvös Loránd az Intézetet bízta meg”.

Az intézetnek külön személyzete nem volt, jórészt külön 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 7 füzet jelent meg (5 magyar, 2 pedig német nyelven), ezek mindegyikét OLTAY Károly írta.

Az MGI fő tevékenysége az invariábilis ingákkal végzett relatív gravitációmérés volt. OLTAY 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, 1948].

3. Eötvös Loránd munkásságának geodéziai jelentősége

Gravitációs kutatásainak kezdetén EÖTVÖS Lorándot a Föld alakjának kérdése izgatta. Az elméleti földalak, a geoid meghatározása visszavezethető a Föld nehézségi

erőterének vizsgálatára. EÖTVÖST torziós ingájának kifejlesztésekor éppen az a cél vezette, hogy műszerének segítségével nagy pontossággal meghatározza a nehézségi erőter szintfelületének változásait.

Az első terepi mérésre 1891 augusztusában került sor a Celldömölk melletti Ság hegyen. EÖTVÖS a sikeres Ság hegyi mérés után élete végéig műszere további tökéletesítésén is 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. 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 balatoni mérések létrejöttében nagy szerepe volt a Balaton Bizottságnak és vezetőjének, LÓCZY Lajosnak, akik a Balaton tudományos tanulmányozásának keretében támogatták a kutatást.

A rendszeres terepi méréseket 1902-ben a Fruška Gora hegységtől északra levő területeken kezdték el, majd Arad környékén folytatták. EÖTVÖS Arad környéki méréseire alapozva a világon elsőként készített részletes geoid térképet. Bár EÖTVÖS érdeklődése egyre inkább a földtani problémák megoldása felé fordult, továbbra is foglalkozott a földalak kérdésével. 1909-ben megépítette hármas görbületi variométerét, amely elsősorban geodéziai célokra alkalmas műszer volt. 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 hegyiségei milyen mértékben befolyásolják a nehézségi erőter potenciálfelületének alakját. Ezért Dél-Tirolban, a Dolomitoiban Cimabanche környékén a Monte Cristallo (3199 m) és a Croda Rossa (3148 m) közötti, 1520 m körüli magasságban fekvő szűk völgyben PEKÁR Dezső és FEKETE Jenő torziósinga-méréseket végzett. 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 földsugár 6371 km-es középértéke [EÖTVÖS 1913]. Fentiekből következik, hogy a völgy fölül tornyosuló hegyek hatására a szintfelület a völgy peremén annyira lapos, mintha egy, a Földünknel harmincszor nagyobb sugarú gömbhöz tartoznék.

Összességében ki kell jelentsük, hogy EÖTVÖS Loránd a geodézia tudományában mind elméleti, mind 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

Azokat a terepi méréseket, melyek EÖTVÖS életében folytak, mind a Magyar Geofizika, mind egyéb kiadványok sokszor és részletesen tárgyalták az elmúlt években [pl. SZABÓ 2004a, 2004b], ezért ezt az időszakot átugorva inkább az ezt követő évekkel kívánunk részletesebben foglalkozni.

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 torziósinga-mérésekkel kimutatott gravitációs maximum tetőpontjára telepítették. Az első magyarországi (a budafapusztai) szénhidrogénmező megtalálása is Eötvös-inga-mérésekhez kapcsolódott. Közben a Dunántúlon sikeresen folytatták a rendszeres torziós ingás felmérést, egy másik gravitációs mérőeszköz, a graviméter is egyre nagyobb szerepet nyert a földtani kutatásokban. Ezek a berendezések könnyű kezelhetőségük és termelékenységük miatt komoly versenytársai lettek az Eötvös-ingának. Hazánkban az első jelentős és nagyszámú graviméteres mérést FACSINAY László végezte a Dunántúlon. Ezen méréseket 1939-től elsősorban a MAORT megrendelésére végezte kőolaj-kutatási célból, de a Kisalföldön és a Dél-Dunántúlon 48 pontból álló gravimetriai alaphálózatot is létesített. A graviméteres méréseket a korábbi Oltay-féle ingaállomásokon, vagy azok közvetlen közelében végezte egy Tanakadate gyártmányú kettős lengőrendszerű rugós graviméterrel. Az alappontok egyrészt az ingamérések kiegyenlítéséhez szolgáltak keretül, másrészt összehasonlítást tettek lehetővé az ingamérésekből és a graviméteres mérésekből számítható nehézségi anomáliák meghatározási pontossága között. [FACSINAY 1942] kimutatta, hogy a graviméteres mérésekből számított anomáliák egy nagyságrenddel megbízhatóbbak, mint az Oltay-féle ingamérésekből számított értékek. Szó szerint idézve: „*a dunántúli 48 relatív ingaállomáson újból meghatározva graviméterrel a nehézségi erő anomáliáinak értékeit, a meghatározás pontossága a relatív ingamérések pontosságának tízszerese, mert a hibaszámítások szerint a graviméteres mérések középhibája $m = \pm 0.15$ mGal.*” A hivatkozott dolgozatban igen alaposan tárgyalja az alkalmazott graviméterrel kapcsolatos tudományos vizsgálatait is. Nevéhez fűződik az első graviméter-kalibráló alapvonal létesítése a Hármashatár-hegyen, amire műszervizsgálataihoz volt szüksége.

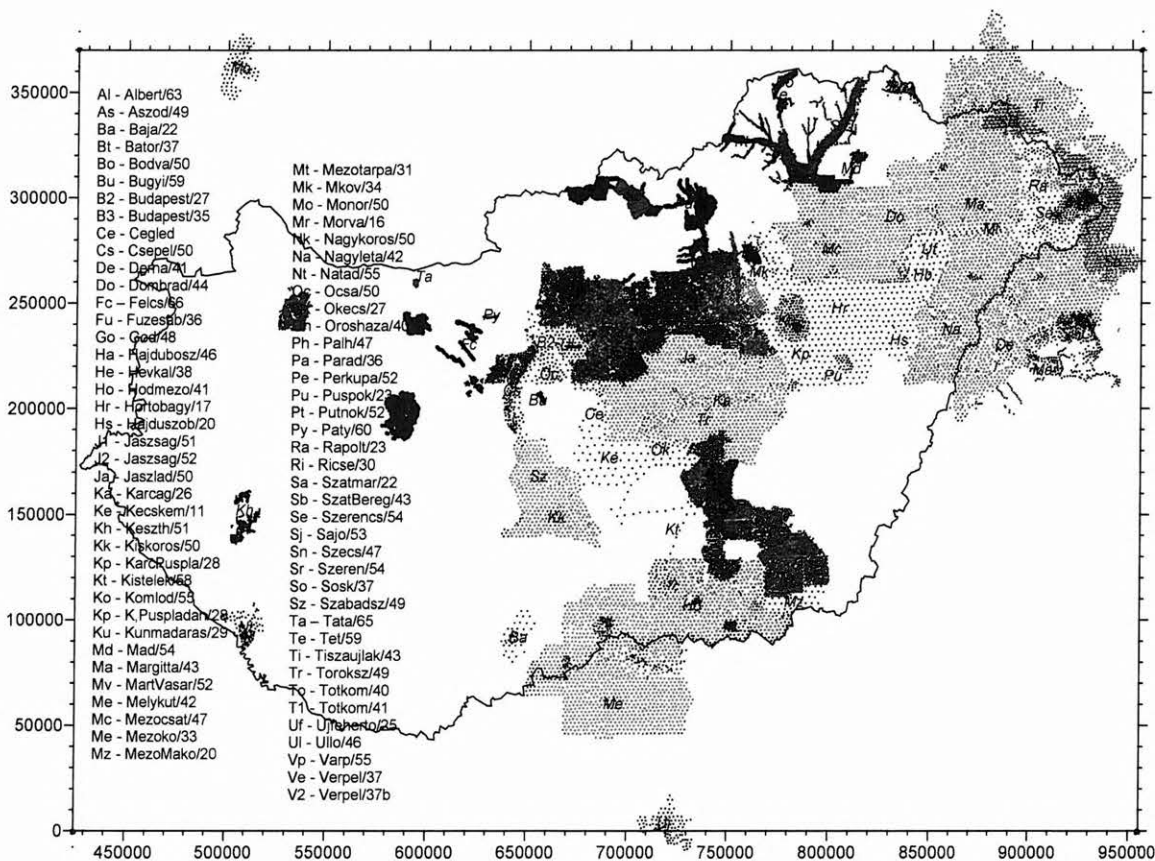
A II. világháborút követően gomba módra szaporodtak a Nyugat-Európában és Amerikában gyártott, egyre nagyobb megbízhatóságú méréseket biztosító graviméterek (Askania, LCR, Sharpe, Worden). Azonban a modern gravimétereket a nyugati cégek — a kialakuló politikai szembenállás miatt — stratégiai jelentőségüknek minősítették, így azokhoz a volt szocialista országok nem juthattak hozzá. Ezért az 50–60-as években tovább folytatták az Eötvös-ingás 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 mintegy 29 000 Eötvös-inga-állomás mérésére került sor, míg ezzel párhuzamosan az Alföldön az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet végeztet hasonló mennyiségű torziósinga-mérést. Eközben az 50-es évek második felében megkezdődött az országos „áttekintő graviméteres felmérés”, ami együtt járt az Eötvös-inga háttérbe szorulásával. 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 felmérés szempontjából világviszonylatban is meglehetősen jó helyzetben van (összesen kb. 60 000 Eötvös-inga-mérési állomás és mintegy 380 000 graviméteres pont az ország kb. 93 000 km² területén), számos részén található 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-anómália-térképek előállítását. Vizsgálatok igazolták, hogy az Eötvös-inga-mérési adatok hasznosan egyesíthetők a graviméteres mérések adataival több és pontosabb informá-

ció elérése érdekében. Sajnálatos módon az Eötvös-ingás 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 26 859 Eötvös-inga-mérés adatait sikerült számítógépes adatbázisba menteni. A 2. ábrán az eddig adatbázisba rendezett mérések területi eloszlását láthatjuk. Az ábra bal oldalán a jelölések alapján megállapítható, hogy az egyes területrészek mikor történtek az ingamérések (pl. az As — Aszod/49 arra utal, hogy a térképen „As”-sel jelölt Aszód környéki területen 1949-ben végezték a méréseket). A mérések egy része a trianoni határokon túli területekre esik.



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

Fig. 2. Location of torsion balance measurements being stored in computer database at December 2005

5. Az Eötvös-inga-mérési eredmények geodéziai felhasználása

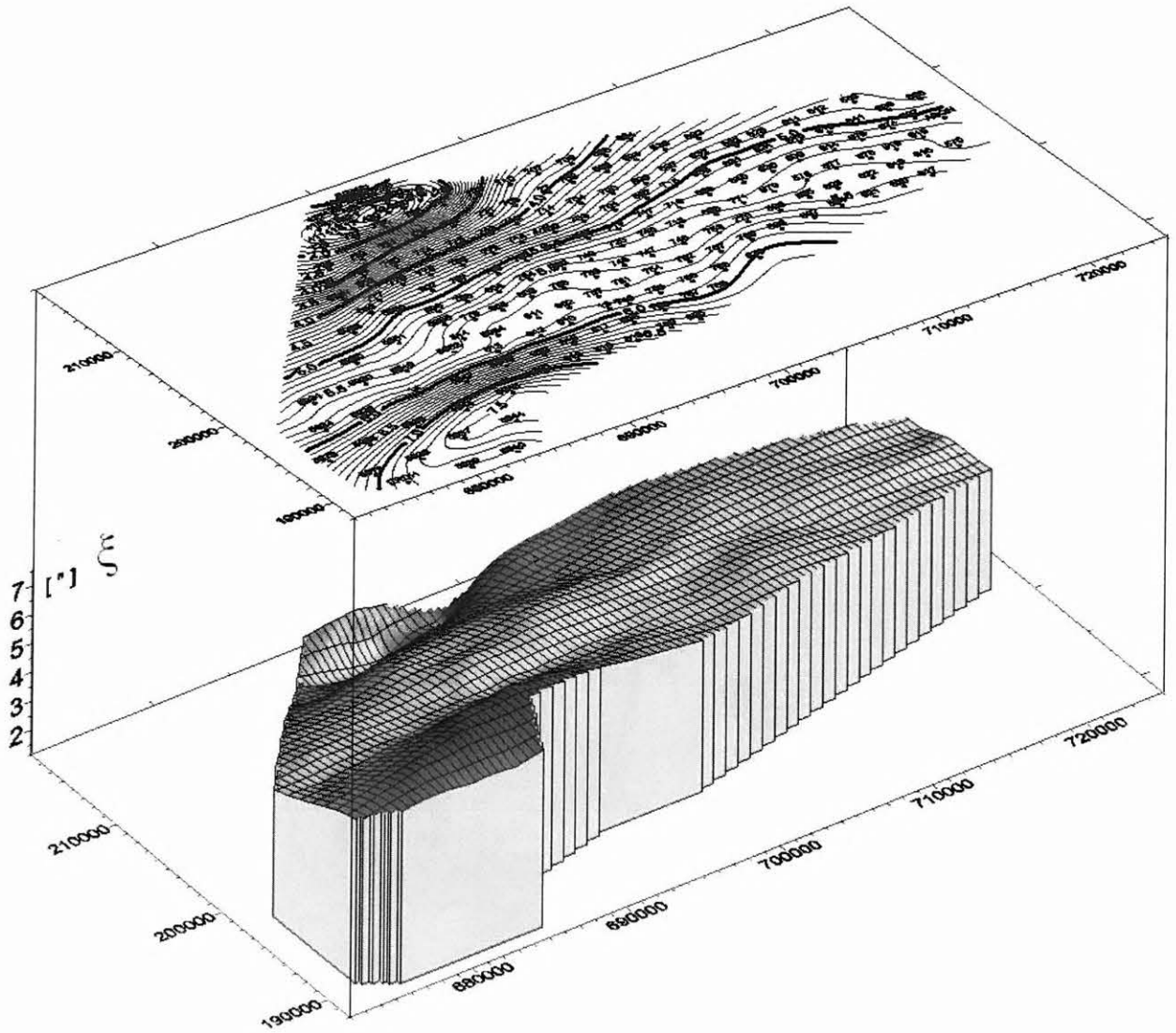
Mivel a közel 60 000 magyarországi Eötvös-inga-mérés jelentős részét ásványi nyersanyagok kutatása céljából végezték, ezért nagy általánosságban csak a horizontális gradiensek kerültek feldolgozásra, a geodézia szempontjából fontosabb görbületi mennyiségek feldolgozatlanul maradtak.

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 a 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 színtezés 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]. A 3. és a

4. ábrán példaként a Cegléd környéki teszhálózat területén elvégzett számítások eredményei láthatók szemléletes formában. A 3. ábrán a függővonal-elhajlások meridián irányú ξ összetevője, majd a 4. ábrán az első paralelkör irányú η összetevőjének látható az izovonalas képe, illetve felületi ábrája.



3. ábra. Interpolált ξ értékek a teszhálózat területén

Fig. 3. Interpolated ξ components of deflections of the vertical on the test area

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 erőtér ismeretének meghatározó jelentősége van, időközben felmerült a szükségése 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 erőtér rövid, különösen a 30 km-nél rövidebb hullámhosszúságú összetevői [VÖLGYESI, TÓTH, CSAPÓ 2004].

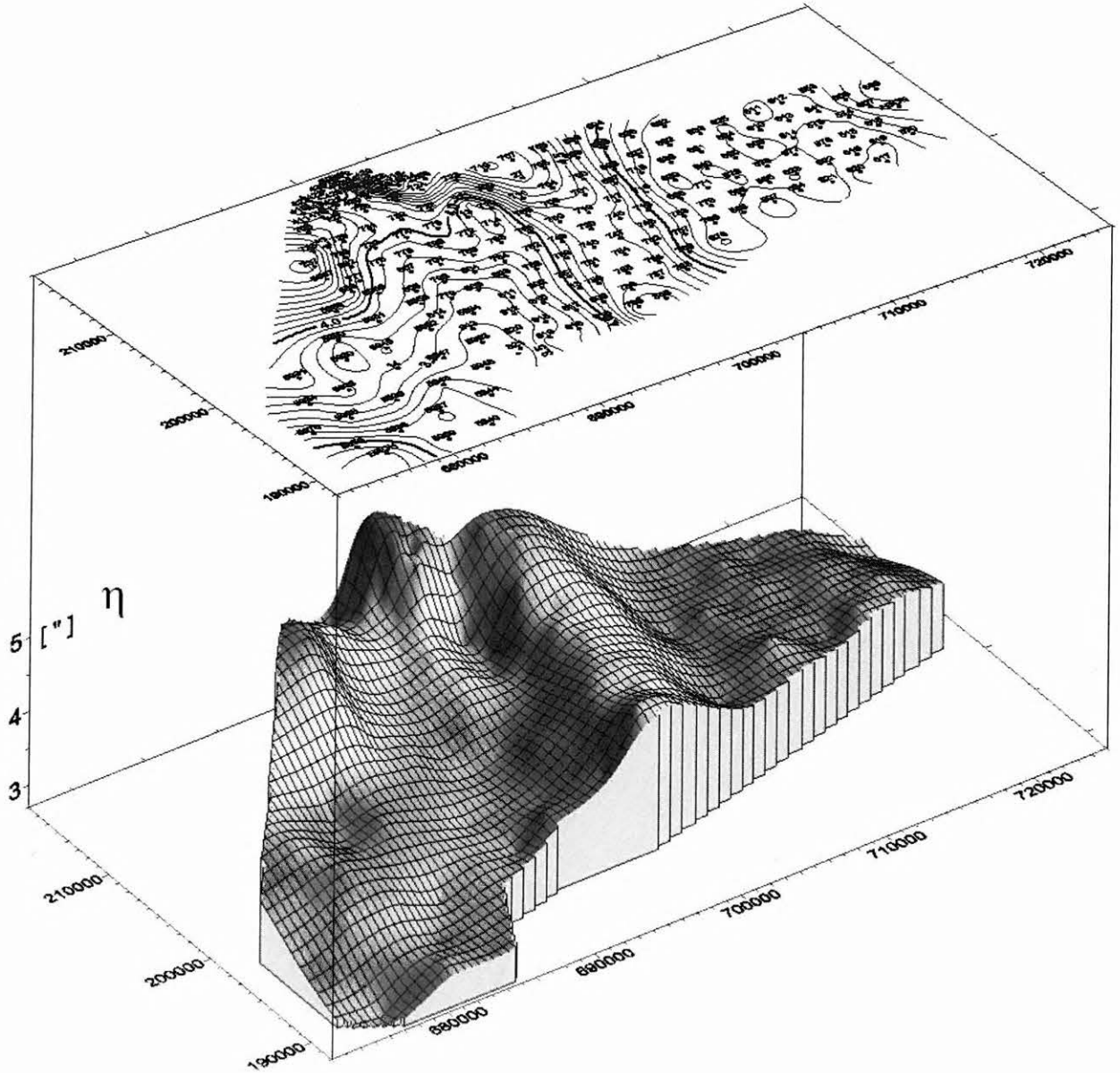
A nehézségi erőtér ilyen úton történő előállításához viszont szükségünk van a vertikális gradiensek (VG) értékére is, amelyek valódi értéke a vizsgálataink szerint Magyarországon jelentősen eltér a VG normálértékétől [CSAPÓ 2001]. Mivel a VG értékek graviméteres mérésekkel történő meghatározása valamennyi 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 erőtér potenciálfüggvényének inverziós előállítása. Amennyiben ugyanis az Eöt-

vös-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 legújabban kidolgozott módszer lehetőséget ad az Eötvös-inga-mérések alapján a nehézségi erőter potenciálfüggvényének és a potenciálfüggvény valamennyi fontos deriváltjának inverziós előállítására [DOBRÓKA, VÖLGYESI 2005]. Az 5. és a 6. ábrán a Szabadszállás–Kiskörös környéki tesz-

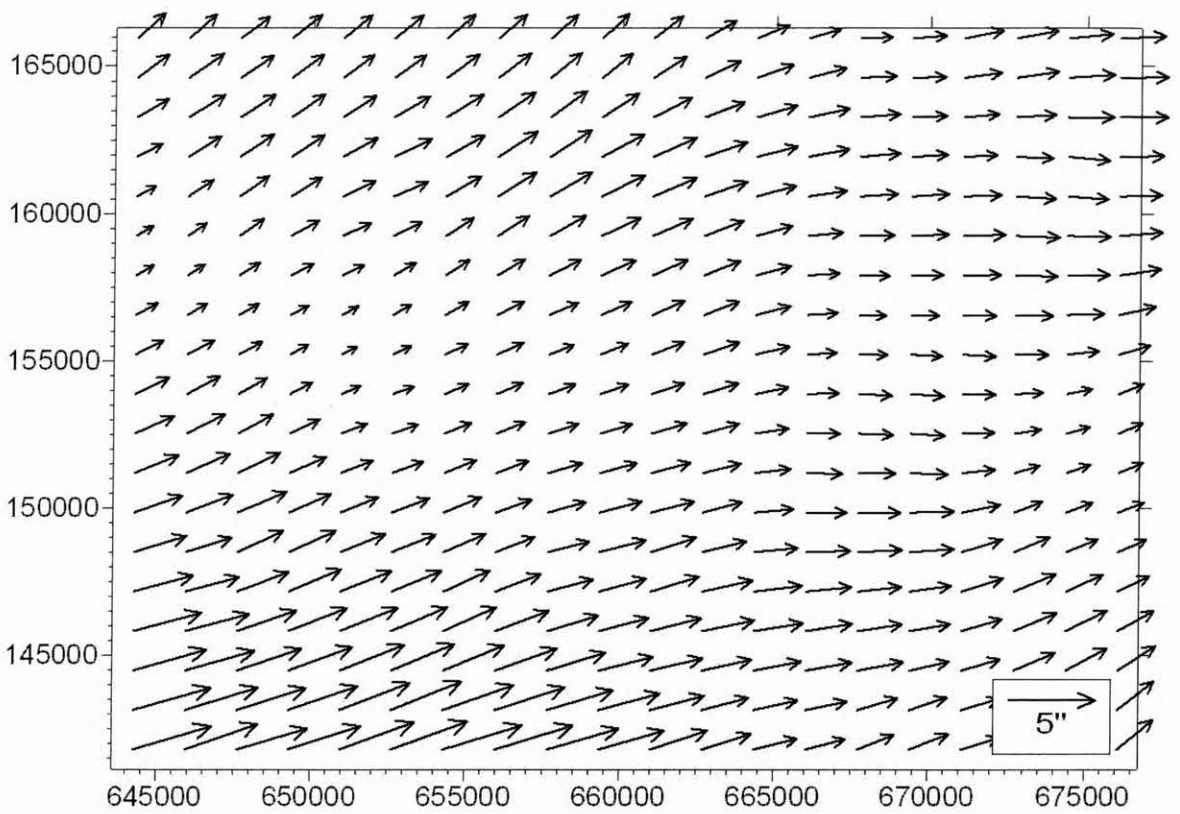
területen a függővonal-elhajlások vektorábrája és a geoid finomszerkezetének az inverziós eljárás alkalmazásával meghatározott képe látható.

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].



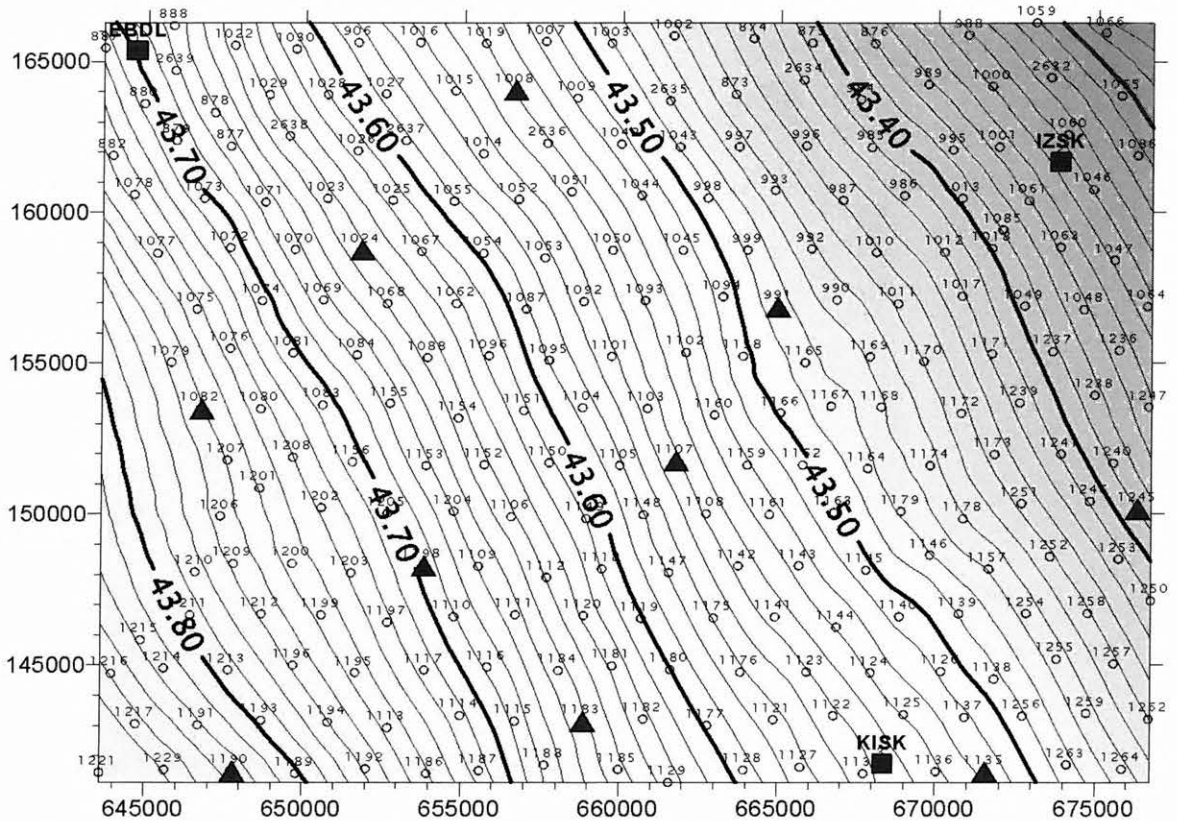
4. ábra Interpolált η értékek a teszthálózat területén

Fig. 4. Interpolated η components of deflections of the vertical on the test area



5. ábra. Az inverziós eljárás alkalmazásával meghatározott függővonal-elhajlások vektorábrája a teszt területen

Fig. 5. Vectors of deflections of the vertical computed by inversion algorithm on the test area



6. 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)

Fig. 6. Fine structure of geoid forms computed by inversion algorithm on the test area (torsion balance stations are marked by circles, astrometric and astrogravimetric points are marked by quadrilaterals and triangles respectively)

6. 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 darab E-54 és 70 E-60 modell került exportra [SZABÓ 1999; POLCZ 2003], így összesen több mint 300 torziós inga került Magyarországról a világ különböző országaiba. (Ezenkívül a német ASKANIA cég is készített ingákat, ebből a műszerből 1929-ig több mint 200 darabot exportáltak.)

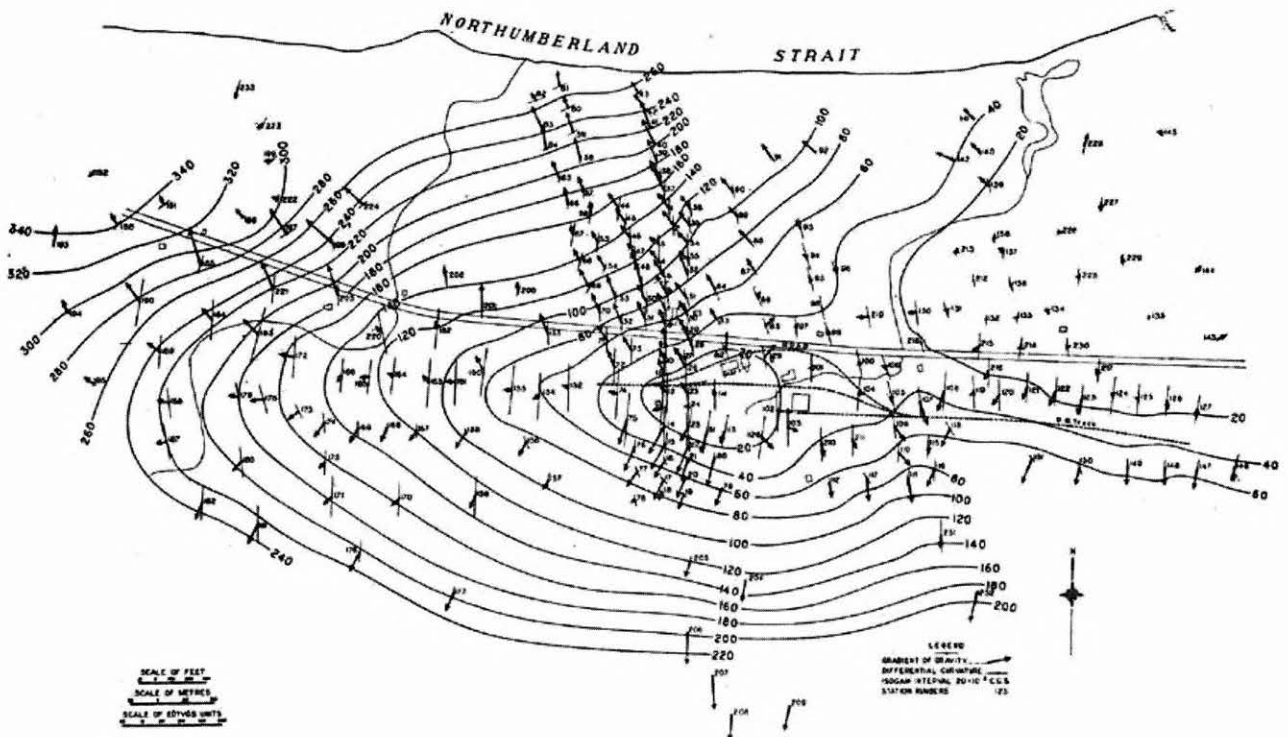
Mielőtt részletesebb adatokat ismertetnénk a különböző országokban végzett ingamérésekről, érdekes lehet egy rövid számítás segítségével megbecsülni a világon végrehajtott mérések számát. 500 torziós ingát feltételezve, amennyiben ezeket évente 200 napon keresztül használták a geofizikai mérőcsoportok, 10 éven keresztül naponta 2 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 őszen 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 sótörmzshöz 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-hoz, hanem sótörmzshöz kapcsolódott. Az első sikeres kutatás, ahol a kőolajtelep megtalálása 1924-ben torziósingamérés alapján kitűzött kutatófúrással történt, a Nash sótörmzs (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-mérések alapján.

Kanadában 1929-ben kezdődtek a torziósingamérések, egy eredeti magyar és egy Askania műszerrel, A. H. MILLER irányításával. A műszerek beszerzésének célja az volt, hogy gyakorlatot szerezzenek a mérések végrehajtására, a szükséges redukciók számítására, s ezek után megvizsgálják alkalmazási lehetőségét geológiai szerkezetek kutatására. 1929 és 1935 között Kanada középső és keleti részén 8 különböző helyszínen folytattak torziósingaméréseket. 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 7. ábrán, amelyen az ingamérések pontosan mutatják a Malagash-i sótörmzs elhelyezkedését [MILLER 1940]



7. ábra. A Malagash-i sótörmzs területén végzett ingamérések eredményei

Fig. 7. Torsion balance measurements on the region of Malagash salt plug

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: Bécsi-medence, Leopoldsdorf-vetődés (Ausztria); 1923–28 Khairpur öserdeiben, Assam vidékén (India); 1924 Black Forest (Titicaca-tó, Peru); 1925 MIRONOV: Dosszor (Kazahsztán); 1925–1928 kiterjedt mérések az Emba területén; 1927 MATUYAMA: Kokubu síkság a Sakurazima vulkán közelében (Japán); 1927 PEKÁR: Auvergne, Puy-de-Dôme (Franciaország); 1928: Perzsia; 1928 Fort Collins, Colorado, Midcontinent olajmezők Colorado, Nebraska (USA); 1928: Pentland vetődés Portobello mellett (Nagy-Britannia), 1929 NUMEROV: Szuvalovo-tó Leningrád közelében (Szovjetunió); 1929: Mexia-Luling vetődés, Texas (USA); 1929: Lubthen (Észak-Németország); 1929: Limagne-árok (Franciaország); 1929: Dél-Afrika; 1929: Szolikamszk mellett (Északi-Urál, Szovjetunió); 1929–30: Venezuela; 1930? Takumati (Japán); 1933 VAJK: Dél-Amerika; 1934-ig a Volga és az Urál 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 (USA); 1938-ig Texasban és Louisianában a Mexikói-öböl mentén részben vagy teljesen 79 olajmezőt fedeztek fel a torziós ingákkal.

Egyéb fontosabb helyszínek: 1917 RYBÁR: Banat (Románia); 1919 ZILLINGDORF: Bécstől északra (Ausztria); 1923: Siegerland (Németország); 1924: Fushun Colliery (Japán); 1925: Menstrask-tó (Svédország); 1926–27: Krivoj Rog (Szovjetunió); 1927: Swynnerton dike (Nagy-Britannia); 1928: Kurszk (Szovjetunió); 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.

Torziósinga-mérések geodéziai célú felhasználására az USA-ban és Németországban is végeztek méréseket és számításokat. Ohio állam délnyugati részén sokszöglancolatok 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]. Ezenkívül külföldön még Németországban foglalkoztak az ingamérések geodéziai célú felhasználásával [HAALCK 1950; GROTEN 1975; HEIN 1981].

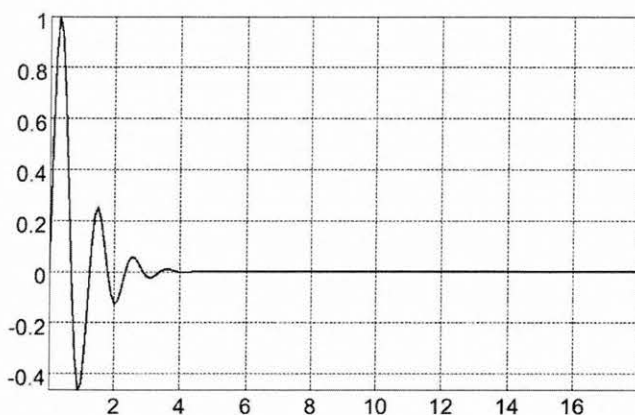
7. Az Eötvös-inga-mérések jövőbeli felhasználása és jelentősége

Az Eötvös-inga-mérések jövőbeli felhasználása nemcsak a már meglévő mérési anyag tekintetében képzelhető el, hanem új mérésekre is sor kerülhet [VÖLGYESI et al. 2005]. (Az OTKA igen fontosnak tartotta és nagy összeggel támogatja CSAPÓ Géza (ELGI) pályázatát, amelyben — 40 év után — új Eötvös-inga-mérések végzése szerepel azzal a céllal, hogy tényleges mérési eredményekkel bizonyítsa az 5. pontban említett elméleti kutatások helyességét.) 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.

Az Eötvös-inga-mérések a jövőben jelentős szerepet játszhatnak egy korszerű, nagy pontosságú új magyarországi geoid megoldás 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 peremérték-feladat keretében felhasználhatók a nehézségi erőter potenciáljának, vagy a nehézségi rendellenességeknek az előállítására [TÓTH 2002].

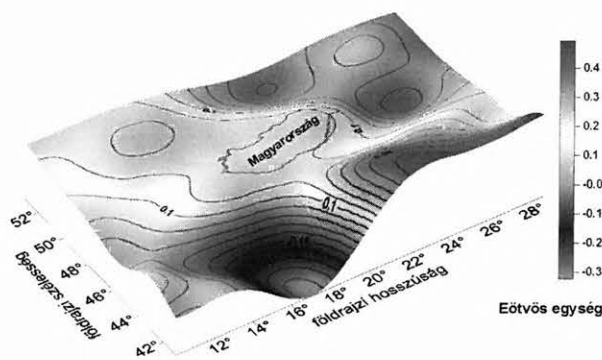
Végül megemlítjük az Eötvös-inga-mérések egy újabb lehetséges geodéziai alkalmazási területét. Ez a korszerű műholdas gravitációs mérési technikákhoz kapcsolódik és különösen az Európai Űrügynökség (ESA) által 2007-ben indítandó GOCE (Gravity and Ocean Circulation Experiment) műhold gradiométeres méréseihez. 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, PRIJATNA, OMANG 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 folytatáshoz szükséges ún. súlyfüggvény a 8. ábrán látható. Ezek a mérések tehát ily módon kombinálhatók valamely geopotenciál-moddal, 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 (9. 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 felszínközeli tömegváltozások vizsgálatában.



8. 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 szög távolságtól függ. Jól látható, hogy 4° -os szög távolságon túl a gradiométeres műhold méréseinek már gyakorlatilag nincs hatása a földfelszínen

Fig. 8. Weight function for the analytical downward continuation of vertical gradients of gravity V_{zz} from the height of 250 km. The band-pass filter is a first order spherical Butterworth-filter. The function is normalized, and its values depend on the spherical angular distance. It can be seen that practically there is no effect of gradiometric observations of satellites beyond 4° angular distance on the Earth's surface



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

Fig. 9. Horizontal gradients of gravity V_{xy} over Hungary at the orbital height of GOCE satellite (in eötvös unit)

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 egyedülálló 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 űrutasítási kísérletet is terveztek, amelyek EÖTVÖS szellemi hagyatékán alapulnak. Ezek egyike a GOCE, mely a tervek szerint 2007-ben fog megvalósulni.

HIVATKOZÁSOK

- 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 geodézia-tudomány fejlődésében. *Közgyűlési előadások 2000 — 175 éves a Magyar Tudományos Akadémia*, II. kötet, 559–589. o. 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, p. 55–108, Berlin, 1908
- DE GOLYER E. 1938: Historical notes on the development of the technic of prospecting for petroleum. The science of petroleum I, p. 268–275, Oxford University Press
- DOBROKA 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 R. 1908: Die Niveaulflächen 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 Int. 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 Int. Erdmessung in Hamburg, 1912*, I. Theil, p. 427–438, Berlin
- FACSINAY L. 1942: A dunántúli relatív ingaállomásokon mért nehézségi anomáliák újabb meghatározása graviméterrel. *Doktori értekezés. Egyetemi Könyvkiadó és Nyomda, Pécs*
- GROTEN E. 1975: On the Determination and Applications of Gravity Gradients in Geodetic Systems. *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, Anno XXXIV, 4, 357–394
- HAAGMANS R., PRIJATNA 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*, (Ed.: I. N. TZIAVOS), Ziti, p. 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 Ba-*

- yerischen Akademie der Wissenschaften, Reiche 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, p. 175–208
- OLTAY K. 1910: Vorläufiger Bericht über die im Auftrage des Herrn Baron R. Eötvös ausgeführten Lotabweichungsbestimmungen und Schweremessungen. Verhandl. XVI. Konferenz der Int. Erdmessung in London und Cambridge, 1909, I. Theil, p. 351–353, Berlin
- OLTAY K. 1925: A nemzetközi felső geodéziai mérések állása hazánkban. A „Stella” Csillagászati Egyesület 1925. évi almanachja, Kir. M. Egyetemi Nyomda, p. 210–214, Budapest
- OLTAY K. 1930: Tudományos geodézia. A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet „Technikai fejlődésünk története 1867–1927.” című jubiláris kiadványából, 13 o., Budapest
- OLTAY K. 1931: A Magyar Geodéziai Intézet működése megalakulásától 1930-ig. Geodéziai Közöny **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
- OLTAY K. 1948: Eötvös Loránd és a Geodézia. Geodéziai Közöny **XXIV**, 6–7, 83–87
- PEKÁR D. 1930: Gravitációs mérések. Báró Eötvös Loránd emlékkönyv (Szerk.: FRÖHLICH I.), 129–187. o. MTA
- PEKÁR D. 1941: Báró Eötvös Loránd. A torziós inga ötven éves jubileumára. Budapest, Kis Akadémia, 40 o.
- 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**, 3, 20–26)
- REGŐCZI E. 1954: Hogyan kapcsolódott bele Magyarország a nemzetközi geodéziai munkálatokba. Geodézia és Kartográfia **6**, 3, 201–202
- ROMAIDES A., BATTIS J. C., SANDS R. W., ZORN A., BENSON D. O. JR., DIFRANCESCO D. J. 2001: A comparison of gravimetric techniques for measuring subsurface void signals. Journal of Physics D, **34**, 433–443
- SELÉNYI P. 1953: Roland Eötvös gesammelte Arbeiten. Akadémiai Kiadó, 385 o.
- 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
- TÓTH Gy. 2002: Az Eötvös geodéziai peremértékfeladat. Geomatikai Közlemények V, 163–174. o.
- 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
- 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 hasznosításának 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