

Régi adat nem vén adat: Az Eötvös-ingás mérési eredmények újraélesztéséről¹

SZAFIÁN PÉTER, TIMÁR GÁBOR, HORVÁTH FERENC²

A múlt század első felének legsikeresebb geofizikai műszere a torziós inga volt. Magyarország területén több tízezer ingamérést végeztek, melyek pontossága máig megállja a helyét, és felhasználhatók lennének a mai földtani kutatásokban. Sajnos az adatok jelentős része csak térképi formátumban lelhető fel. Cikkünkben egy olyan eljárást mutatunk be, amelynek segítségével az „analóg” térképekből digitális adatbázist hozhatunk létre. A módszer alkalmazásával eddig a hazai Eötvös-ingás mérések 15 százalékát sikerült feldolgozunk.

P. SZAFIÁN, G. TIMÁR, F. HORVÁTH: Old gravity never dies: On the revival of torsion balance gravity measurements

The most successful geophysical tool in the first half of the last century was the torsion balance constructed by Loránd Eötvös. Several tens of thousands of data were measured with this instrument in Hungary. The high accuracy of these data makes them very useful in geological explorations even today. Unfortunately, a significant part of them can only be found in maps. In this paper a method is presented that can be used to transfer the analogue maps into a digital data base. With the help of this method 15 percent of the Hungarian torsion balance measurements has been processed.

Bevezetés

A XX. század első felének legsikeresebb és legnagyobb geofizikai műszere kétségkívül az EÖTVÖS Loránd által kifejlesztett torziós inga [EÖTVÖS 1896, 1906]. Amint az SZABÓ Zoltán kiválóan dokumentált cikkében is olvasható [SZABÓ 2005], EÖTVÖS elsődlegesen alap kutatás céljából szerkesztette a torziós ingát, ám hamar felismerte, hogy a gravitációs és mágneses tér együttes felméréssel és értelmezésével megismerhetők a föld mélyében húzódó földtani szerkezetek. EÖTVÖS Loránd és munkatársai először a műszer terepi hitelesítését végezték el (Ság hegy 1891; Balaton 1901–1903; Fruška Gora 1902). Később az Erdélyi-medence gravitációs megkutatása (1912–14), majd az egebli antiklinális szerkezet geofizikai verifikálása és pontosítása 1916-ban [BÖCKH 1917], a szénhidrogén-kutatás számára is ismertté tette a torziós ingát.

Közel hetven éve, 1937. november 21-én a Budafapuszta-2 fúrásból megindult a mai Magyarország területén az első jelentősebb kőolajmező kitermelése [PAPP 1939; KÖRÖSSY 1988]. Hosszú út vezetett ideig. Budafapuszta környékét 1916 és 1919 között BÖCKH Hugó utasítására PAPP Simon s a hamarosan hozzá csatlakozó PÁVAI VAJNA Ferenc tanulmányozta felszíni geológiai felvételekkel és sekély kutatóaknákkal. Az általuk feltérképezett K–Ny irányú felboltozódás közepére tűzte ki az első fúrás helyét Craig CUNNINGHAM és BÖCKH Hugó, akik a terepet nem ismerték részletesen, de bíztak magukban és munkatársaikban. Az 1921–23 között lemélyített fúrás eredménytelennek bizonyult. PÁVAI VAJNA Ferenc későbbi magyarázata szerint a sikertelenséget az okozta, hogy az Anglo–Persian Oil Company Ltd. fúró mestere nem volt hajlandó a sáros terepen a dombtetőre felvinni a fúróberendezést, ezért a fúrás a boltozat déli szárnyán, s nem a tengelyén mélyült.

Tíz évvel később a Dunántúlra az European Gas and Electric Company Ltd. (EUROGASCO) kapott szénhidrogén-kutatási koncessziót. A vállalat technikai igazgatója PAPP Simon volt, aki kezdettől fogva nagy súlyt fektetett a geofizikai kutatásokra, elsősorban a torziós ingával végzett mérésekre. PEKÁR Dezső szerint 1941 áprilisáig 15 131 állomáson végeztek ingaméréseket [PEKÁR 1941]. A budafapusztai terület gravitációs felmérését 1934-ben végezték [VAJK 1935], melyet szeizmikus mérésekkel egészítettek ki. A geofizikai alapon kitűzött Budafapuszta-1 fúrás 1937-ben, az előző, sikertelen kísérlettől mintegy 1200 méter távolságban földgázt talált. Húsz évvel a sikeres egebli kísérleti mérés — és az azt szinte azonnal követő nemzetközi sikerek — után az Eötvös-inga végre Magyarországon is kivívta méltó helyét a szénhidrogén-kutatásban.

Az 1920-as években világszerte keresetté vált az Eötvös-inga, a hazánkban gyártott eszközök Európa számos országába, Indiába, Jáva szigetére, Afrika több területére és Kanadába is eljutottak. A legnagyobb érdeklődés az Angol Birodalomban és az Egyesült Államokban volt, ahol külön képviselője volt a műszernek [PEKÁR 1941]. A múlt század harmincas éveinek a végére azonban a graviméter átvette a vezető szerepet a gravitációs kutatásokban.

Úgy tűnt, hogy a gravitációs tér gradienseinek mérése és értelmezése tudománytörténeté válik. Alig néhány éve azonban BELL, ANDERSON és PRATSON arról számolt be, hogy az Amerikai Egyesült Államok haditengerészetének eszköztárából polgári használatra felszabadították a tenger-alattjárókban rendszeresített gradiométert. Ez az eszköz 12 gyorsulásmérőt tartalmaz és a nehézségi erőter teljes tenzorát képes meghatározni [BELL, ANDERSON, PRATSON 1997]. A modellszámítások szerint a gradiensek használatával pontosabban és részletesebben leképezhetők a meredek határokkal jellemezhető hatók, azok alsó határfelületeinek a topográfiája, valamint helyzetük meghatározása is pontosabbá válik [pl. COBURN, SCHNEIDER 2002]. Emellett fontos látni azt is, hogy a potenciáltér második deriváltjai erőteljesebben tükrözik a felszínközeli tömeg-inhomo-

¹ Beérkezett: 2005. május 19-én

² Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai Tanszék, H-1117 Budapest, Pázmány P. sétány 1/C. Tel.: (1)381 2191, E-mail: szafian@ludens.elte.hu

genitások hatását, s emiatt ismeretük fontos hozzájárulást jelenthet a környezetgeofizikai kutatásokban.

Adatok

„... sehol a világon nincs más ország, ahol ily nagy területre kiterjedő ily részletes és pontos gravitációs felmérések volnának. A tudományos anyag oly óriási, hogy annak közlése a legtömörebb módon, nagy quart alakban kilenc vaskos kötetet fog kitenni.” – írta PEKÁR Dezső [PEKÁR 1930]. Sajnos e kötetek megjelenésére nem került sor. SZABÓ [1999, 2004] szerint 1901 és 1967 között — ekkor mérték az utolsó Eötvös-ingás adatokat Magyarországon — EÖTVÖS Loránd és munkatársai, majd az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet és az olajipar szakemberei összesen mintegy 60 000 állomáson végeztek hazánkban mérést torzós ingával, melyből körülbelül 5000 a mai Magyarország területén kívülre esik. Ezeket az adatokat szeretnénk a papírtérképek múlandóságából a talán biztosabban megőrizhető, de mindenféleképpen könnyebben használható digitális formába átalakítani. Ráadásul ezzel lehetővé válik más adatokkal való közvetlen összehasonlításuk is. Tudván azt, hogy ez nem egyszerű és gyorsan megoldható feladat, első lépésként igyekeztünk olyan mérések adatait feldolgozni, amelyek időben lefedik a torziós ingás kutatás közel hét évtizedét, némelyikük ráadásul fontos lépés is volt a hazai geofizika számára.

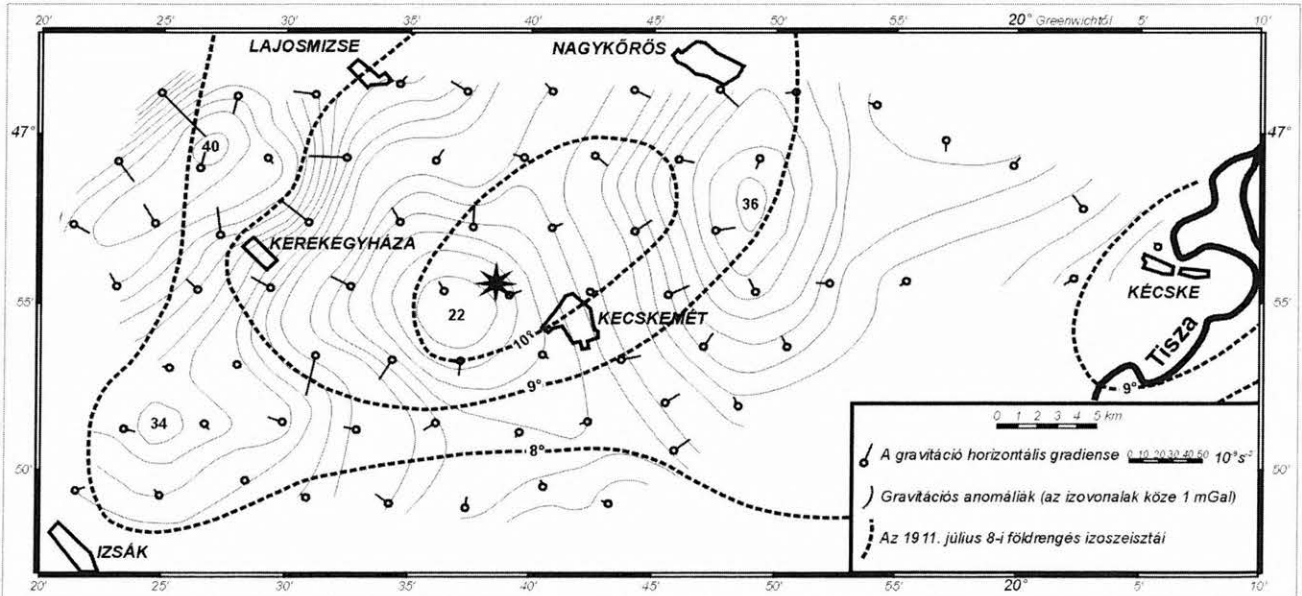
A Balaton

Az első adatrendszer az addig talán legnagyobb nyilvánosságot kapott geofizikai méréssorozat adatait tartalmazta,

nevezetesen a Balaton jegén 1901. január vége és március eleje között, valamint 1903 februárjában felmért negyven állomás pontos koordinátáit és mérési eredményeit [EÖTVÖS 1908]. A mérést a Magyar Földrajzi Társaság Balatonbizottsága és annak vezetője, LÓCZY Lajos kérte és támogatta. A befagyott Balatonon elvégzett megfigyelések jelentették az Eötvös-inga első komoly terepi megmértetését, ráadásul a felszíni zavaró tényezők (topográfia) hatásától mentes környezetben. A mérésről és annak kalandos történetéről számos szerző részletesen beszámolt [pl. EÖTVÖS 1908; PEKÁR 1930; CHOLNOKY 1936; SZILÁRD 1974; SZABÓ 1999; POLCZ 2003], így ettől eltekintünk. Bár annyit szeretnénk megjegyezni, hogy a Politisches Volksblatt történetét [POLCZ 2003] EÖTVÖS és LÓCZY közös kalandjáról az elsodródott jégtáblán egyetlen magyar szerző sem említi, így ez a beszámoló alighanem féligazságokon alapuló újságírói túlzás.

Kecskemét

1911. július 8-án földrengés rázta meg Kecskemét városát és környékét (fészekmélység 12 km, $M=5.6$, $I_0=10^\circ$). A rengés okának minél teljesebb feltérképezése érdekében EÖTVÖS Loránd és munkatársai torziós ingás és — mint minden más mérés esetében is — mágneses méréseket végeztek [EÖTVÖS 1912]. A méréseket Szegednél kezdték, majd egy zezugos vonal mentén eljutottak Kecskemétiig, ahol körülbelül négy kilométeres állomásközzel, 75 pontban határozták meg a nehézségi gyorsulás horizontális gradiensét (1. ábra). E mérésekről EÖTVÖS a XVII. Nemzetközi Földmérési Konferencián, Hamburgban számolt be.



1. ábra. A nehézségi gyorsulás horizontális gradienseinek térképe Kecskemét környékén [EÖTVÖS 1912 után]

Fig. 1. Horizontal gravity gradients around Kecskemét [after EÖTVÖS 1912]

A gravitációs eredmények mellett feltüntette a földrengés izozeisztáit is (RÉTHLY Antal adatai alapján), s így megállapítható, hogy a földrengés epicentruma — melyet az ábrán egy fekete csillag jelöl — a terület lokális gravitációs minimumába esik. Fontos eleme volt ennek az elő-

adásnak, illetve tanulmánynak, hogy felhívja a figyelmet arra: a torziós inga segítségével kimutathatók az antiklinálisok, s ennél fogva fontosak lehetnek a szénhidrogén-kutatásban. A kecskeméti gravitációs képet EÖTVÖS olyan „körhegységhez” hasonlítja, mint amilyenek a Hol-

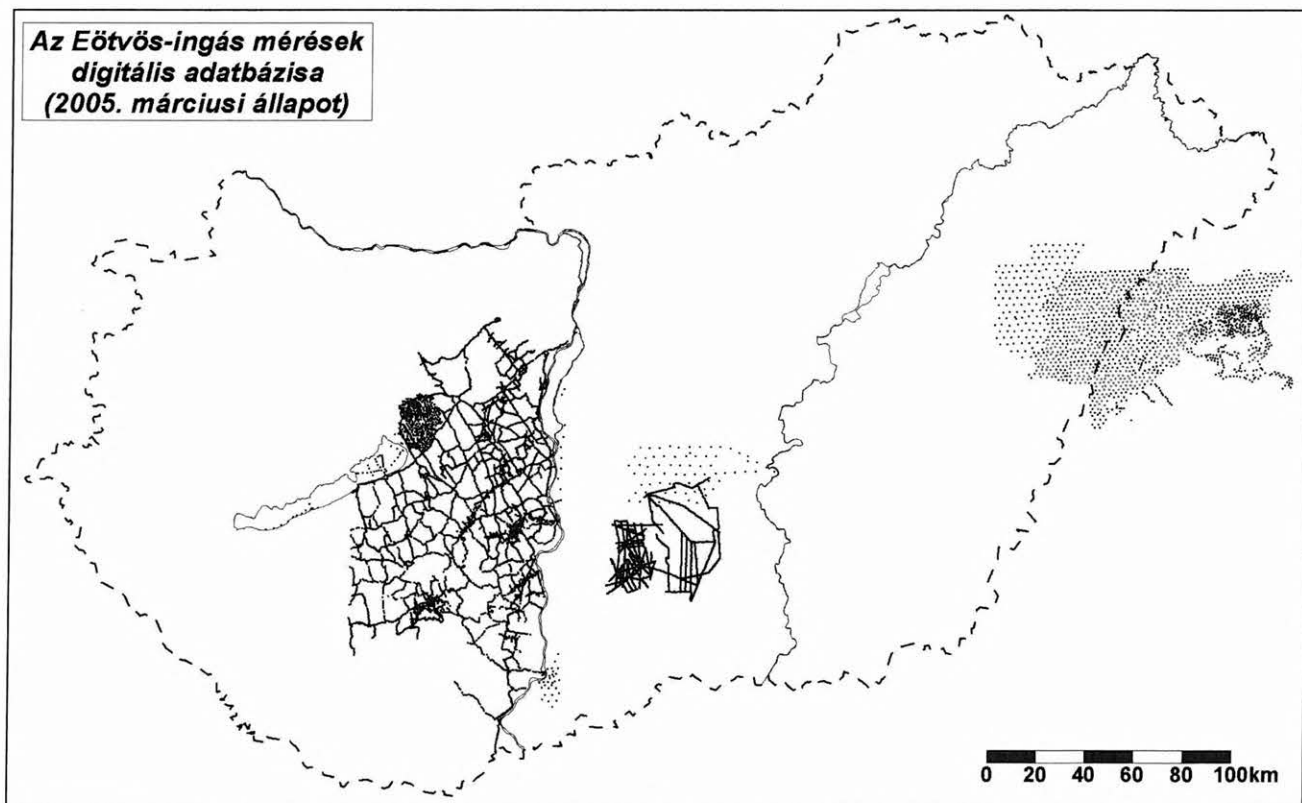
don található kráterek [EÖTVÖS 1912; PEKÁR 1917]. BÖCKH Hugó az észlelt gravitációs anomália formáján két lehetőséget vetett fel: vagy egy kőso magvú dóm a ható, amelynek búbja a tömeghiány maximumánál van, vagy egy olyan brachyantiklinális, amelyben nincs kőso, és tetőpontja a pozitív anomália csúcsa alatt található [BÖCKH 1917]. PEKÁR Dezső a kőso jelenlétét a geofizikai adatok alapján kizárhatónak tartotta [PEKÁR 1941]. A kecskeméti földrengés oka rejtve maradt EÖTVÖSÉK előtt, ám napjainkban már többet tudunk erről: a rengés hipocentruma az ALCAPA nagytektonikai egység déli határát kijelölő szeizmikusan aktív zónába esik, amely a Periadriai-vonaltól Varaždinon (Varasd), Kecskeméten és az Érmelléken keresztül követhető [HORVÁTH, BADA 2003].

Dél-Dunántúl

Amint azt a bevezetőben már említettük, az 1930-as évektől a hazai olajipari kutatásokban már elterjedten alkalmazták a torziós ingát. Az egyik legszebb példa erre az EUROGASCO, majd jogutódja, a Magyar–Amerikai Olajipari Rt. (MAORT) által elvégzett mérésorozat, amellyel gyakorlatilag a Dél-Dunántúl egészét lefedték, nagyjából a Budapest–Székesfehérvár–a Balaton déli partja–Zalaeger-

szeg vonaltól délre. Az eredményekről több ipari jelentés mellett [pl. VAJK 1941] tudományos publikáció is született [VAJK 1943], amely nagyszerűen mutatja be az Eötvös-ingás mérések eredményeiből levonható következtetések mennyiségét és minőségét. Adatbázisunkba ennek az ipari felmérés-sorozatnak a Fonyód–Táska–Nagybajom–Rinyabesenyő vonaltól keletre eső részét építettük be. Zalaegerszeg, Nagykanizsa és Budafapuszta környéke egyelőre kimaradt a digitalizálásból, aminek a fő oka az, hogy az MGSZ Geofizikai Adattárában fellelt térképeken nem szerepelnek földrajzi koordináták, illetve a térképek illesztését szolgáló egyéb pontok.

Mivel a kutatás célja főként előzetes felmérés volt, az állomásokat utak mentén telepítették (2. ábra). A digitalizált térképen a több mint hatezer torziósinga-adat mellett ötven graviméteres állomás adatai is megtalálhatók, valamint a gravitációs anomáliák izovonalait is tartalmazza, amelyek kiszámításánál a graviméteres adatokat vették a szerzők mérvadónak, s ezekhez illesztették az ingamérésekből származtatott értékeket. A változatos domborzat hatására sok helyen irreguláris gradiensek adódtak, s helyenként a görbületek is kiugró értékeket mutattak, melyeket fel sem tüntettek a térképen.



2. ábra. A cikkben tárgyalt Eötvös-ingás mérések digitális adatbázisa

Fig. 2. Digital data base of the torsion balance measurements discussed in the text

A mérés egyik érdekessége, hogy EÖTVÖS expedícióit követően először végeztek észleléseket a Balaton jegén, 1939–40 telén. A térképen ezen új adatok mellett ábrázolták a század eleji eredményeket is, ami nagyon fontosnak bizonyult. Ezek segítségével lehetett ugyanis megállapítani, hogy a térkép jelkulcsában feltüntetett 1 mm = 1 eötvös nem állja meg a helyét, mivel a gradiensvektorok fele olyan

hosszúak voltak, mint így lenniük kellett volna. Ezt tehát figyelembe kellett venni az adatbázis kialakításánál.

Derna–Tataros

A következő adatrendszert a magyar királyi báró Eötvös Loránd Geofizikai Intézet által 1941–42. évben a visszatartott érmelléki–szilágysági területeken (Derna–Tataros

vidéke) végzett torziósinga-mérések eredményeit bemutató 1: 75 000 méretarányú térkép jelentette [BANAI, ORSZÁGH, DOMBAI 1943]. A kampány az 1917, 1920 és 1922 években Derecske, Debrecen és Hajdúsámson környékén elvégzett kutatásokat [ld. PEKÁR 1930] folytatta kelet felé, a Magyar–Német Ásványolaj Vállalat (MANÁT) koncessziós területétől észak-északkelet irányban (2. ábra).

A térkép 1600 mérési pont eredményeit ábrázolja: a gradiensvektorokat és a mérési eredményekből szerkesztett izogammákat. A terület nyugati részén az 1917–22 között mért adatok egy részét tüntették fel a szerzők. Itt a mérési pontok távolsága körülbelül 3000 méter. Ettől keletre az 1941–42-es mérések során az állomások kijelölése úgy történt, hogy azok szabályos, 2 kilométer élhosszúságú háromszögek csúcspontjait jelölik. A Szilágyság dombos vidékein (Tasnádtól délre) 1000 méter körülire csökken a mérési pontok távolsága. A Réz-hegység nyugati részéhez érve a jelentős topográfia miatt a hálózatos mérés már lehetetlenné vált, itt völgyekben és hegygerinceken jelölték ki a mérési pontokat. A torziós ingás mérésekkel egyidejűleg graviméteres felmérés is zajlott, melynek eredményei nem mondanak ellent az ingás adatoknak. A térképi alapot az Osztrák–Magyar Monarchia katonai sztereografikus térképlapjai adták. Szerettük volna az Erdély belső területein (Kolozsvár környéke) elvégzett mérések is bevonni az adatbázisunkba, ám ezt egy, esetünkben nehezen érthető jogszabály miatt — amely szerint a magyar szakemberek által külföldön mért adatok államtitoknak minősülnek — nem tehetjük meg. A Magyar Geológiai Szolgálat vezetői segítettek abban, hogy legalább a részben a mai Magyarország területére eső térképlapot feldolgozhattuk.

Kiskunság

A magyar olajipar egyik utolsó Eötvös-ingás méréssorozat eredményeit is tartalmazza az adatbázis. SZABÓ [2004] szerint az utolsó terepi torziós ingás mérést 1967-ben végezték. Az általunk feldolgozott adatrendszert 1965–1966-ban mérte az OKGT Kőolajipari Szeizmikus Kutatási Üzeme Soltvadkert, Szank és Kecskemét környékén [FACSINAY 1967]. A mérések célja törések kimutatása volt, ezért az állomásokat az előzetes gravitációs mérések által kirajzolt anomáliavonalakra, valamint a törések várható csapásirányára merőlegesen, szelvények mentén jelölték ki. A két mérési félév során 1710 pontban határozták meg a horizontális gradiens és a görbület nagyságát. A mérési pontok távolsága változó, a kutatási terület nyugati részén (Szank–Kecel–Csengőd) nagyjából 250–300 méter, a keleti részen nagyjából 500 méter (2. ábra).

A mérések során és a két méréssorozat közötti időszakban folyamatosan ellenőrizték a felhasznált torziós ingák mérési pontosságát. A vizsgálatokból kiderült, hogy a mérések hibája gradiensek esetén 2 eötvös, a görbületeknél pedig 3 eötvös. Ezek alapján minősíteni is tudták a szerzők a méréseiket, s kijelentik, hogy a szélcsendes, csapadékmentes őszi napok a legalkalmasabbak az ilyen típusú mérésekre. Ennél az eredménynél azonban sokkal fontosabb az a megfigyelés, hogy a Bugac környéki, szeszélyes topográfiájú homokbuckák hatását a leggondosabb szintezést követően sem lehetett megfelelően korrigálni.

Várpalotai-medence

Nemcsak a szénhidrogén-kutatás eszköztárába tartozott a torziós inga, amint ezt adatbázisunk utolsóként bemutatott forrásmunkája is bizonyítja. A szénbányászat szempontjából kiemelkedően fontos Várpalotai-medence részletes geofizikai feltérképezésének fontos részét képezte az 1955-ös Eötvös-ingás méréssorozat, amelynek eredményeiről BANAI [1958] számolt be (2. ábra). A felmért 380 km²-nyi terület jórészt sík, ám az enyhén dombos részeket is mérésre alkalmasnak találták az ELGI szakemberei. A négy ingával végrehajtott kutatás során két és fél hónap alatt 340 állomáson határozták meg a horizontális gradienseket. Az állomások kitűzésekor figyelembe vették a korábbi MAORT-mérések elhelyezkedését is, a hálózatosan telepített pontok között átlagosan egy kilométer a távolság. Az eredményeket bemutató térképeken feltüntettek az Eötvös-féle balatoni és a Vajk-féle MAORT-mérések, valamint a kutatási területtel ÉK-ről határos Falubattyán környéki felmérés eredményeit is.

Digitalizálás

Az Eötvös-ingával végzett felmérések jegyzőkönyveinek egy része az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben fennmaradt, s ezeknek az adatbázisba rendezését és feldolgozását a BME és az ELGI szakemberei el is kezdték [pl. CSAPÓ 2005; VÖLGYESI et al. 2005]. Azonban sok esetben sajnos nem találhatók meg az észlelési lapok, így az adatbázis elkészítéséhez digitalizálni kellett a méréssorozat eredményeit ábrázoló térképeket. E folyamat során a térképeken ábrázolt mérési eredményeket (analog adatok) digitális formátumúvá kell alakítanunk, vagyis egy számítógépes adatrendszerben tároljuk a mérési pont helyét (x , y és z koordináták), valamint a horizontális gradiensvektor hosszát és irányát.

A digitalizálás során egy többlépcsős folyamatot követünk. Először is a papírtérképet egy számítógépek által elfogadható formába kellett konvertálni, azaz bináris képpé alakítottuk őket. Ezt legegyszerűbben egy síkágys lap-olvasó, közismertebb nevén szkener segítségével tehetjük meg. Az esetenként több négyzetméteres térképlapok — és különösen azok fénymásolatai — szürke fátyolosak és itt-ott elpiszkolódtak voltak. Emiatt nem használhattuk a szkennelő programok fekete-fehér beolvasást lehetővé tevő opcióit, mivel az így beolvasott adatokat helyenként elfedte a papír szennyezettségéből adódó „zaj”, más esetekben viszont a halvány vonallal megjelenített adatok váltak „fehérré”. Természetesen lehetséges a szürke árnyalatait vagy éppen színeket alkalmazó beolvasási mód, ekkor viszont a térképek fizikai mérete és a pontos munkához szükséges felbontás miatt kezelhetetlen nagyságú képek jöttek létre. Következésképpen kisebb darabokra osztva olvastuk be a térképeket és az egyes darabokon külön-külön, változó paraméterek mellett elvégeztük a képi állomány optimalizálását.

Ezt követően a különálló képkockákat össze kellett illeszteni. Ezt a lehető legpontosabban egy derékszögű rács-háló segítségével lehetett megoldani. Néhány feldolgozott térképen ez eredetileg is szerepelt, a többire szkennelés előtt rajzoltuk fel. A térképdarabok beolvasása során elkerülhetetlen, hogy egy kicsit el ne forduljanak, amit össze-

illesztés előtt korrigálni kell. A szokványos grafikus programok nyújtotta forgatási lehetőségek erre nem alkalmasak, mivel nem ismerjük pontosan sem az elfordulás központját, sem annak mértékét. Ezért a képfájlok forgatását egy külön erre a feladatra írt program segítségével valósítottuk meg, amely az egyes képpontokhoz rendelt koordináták alapján átmintavételezi és a koordinátáknak megfelelően elforgatja az adott darabot. A pontos forgatási paraméterek meghatározásában a térképeken található rácsahlót használtuk fel.

A következő lépés az egyes mérési pontok digitalizálása volt, ekkor még egy, a térképlap egyik sarkához illesztett centiméter alapú derékszögű koordináta-rendszerben. Ebben a fázisban a digitalizált állományba a mérési pontok helye, valamint a gradiensvektorok kezdő- és végpontjai kerültek. Tekintve, hogy a térképeket északra tájolva digitalizáltuk, ekkor már minden vektorról meg tudtuk állapítani két fő paraméterét — az irányát és a hosszát —, ám a pontos helyének meghatározása még hátra volt.

Az általunk eddig feldolgozott térképek mind tartalmaztak olyan azonosítási pontokat, amelyek segítségével meghatározhattuk a korábban digitalizált mérési pontjaink helykoordinátáit, amint ez célunk is volt kiválogatásuk során. Egyes térképek az Osztrák–Magyar Monarchia hadserege által használt sztereografikus vetületű lapokat vették alapul, mások a Liechtenstern-féle poliéder vetületet alkalmazták, végül volt olyan is, amelynek keretén földrajzi koordinátákat tüntettek fel a szerzők. Minden térképlapon megkerestük azokat az azonosítási pontokat, amelyek segítségével át lehetett transzformálni mérési pontjainkat a „centiméter alapú” koordináta-rendszerből a ma használatos Egységes Országos Vetületbe (EOV). Ezek a pontok a földrajzi koordinátakeresztek, fűrészek, valamint az első- és másodrendű gravitációs alaphálózat állomásai voltak.

A transzformációt két lépésben végeztük el. Tekintettel arra, hogy az adatbázisunkban alkalmazott EOV koordináták az Eötvös-ingás méréseknél alkalmazottakhoz képest fiatalabb vetületi rendszerben értelmezettek, először sztereografikus vetületbe számítottuk át a mérési pontok helyzetét. A referenciapontok aktuális és végső koordinátáit ismerve egy alaphálózatot alakítottunk ki. Ezután a vizsgált pont és az alapháló két pontja segítségével — az oldalak hosszaránya és szögeltérése alapján — kiszámoltuk a pont új koordinátáját. Ezt minden lehetséges háromszögre elvégeztük, majd a kapott eredményeket a pont és a háromszög másik két csúcsa közötti távolság reciprokával súlyoztuk és átlagoltuk, így számítva ki az adott pont koordinátáját a sztereografikus vetületben. Ezt az eljárást minden egyes mérési pontra elvégezve elhelyezhettük a világban a korábban digitalizált mérési pontjainkat. Utolsó lépésként a sztereografikus koordinátákat átszámoltuk az Egységes Országos Vetületbe. A pontok magasságát első közelítésben az SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) [WERNER 2001; a hazai irodalomban TIMÁR, TELBISZ, SZÉKELY 2003] digitális domborzati modell segítségével becsültük meg. Olyan alföldi területeken, ahol a topográfiai modell hibája nyilvánvaló volt, a környező pixelek átlagértékeinek felhasználásával korrekciót végeztünk.

A soklépcsős folyamat során természetesen hibával terhelték az adatok. Az első hiba nyilván már akkor jelentkezett, amikor a mérési jegyzőkönyvekből megszerkesztet-

ték a térképeket. Az irattári térképek fénymásolása során is torzulhatott a képi tartalom. Erre az első két hibára legfeljebb becslést adhatunk. Egy 1: 75 000 méretarányú térképen 1 mm rajzolási hiba 75 métert jelent. Ezt alapul véve úgy becsüljük, hogy a rajzolás és a fénymásolás együttesen 50–200 méter hibát okozhat a mérési pontok helyzetében, és 1–2 eötvös hibát a vektoroknál (1 eötvös = 10^{-9} s⁻²). Elemzésünk szerint a nagy felbontású szkennelés (300 DPI), majd a képfájl forgatása nagyon kis hibával jár. A kettős transzformáció első lépése, azaz a sztereografikus koordináták hozzárendelése a mérési pontokhoz vizsgálataink szerint átlagosan 10–50 m, szélső esetben 250 m hibát eredményezett. A nagyobb hiba különösen abban az esetben jelentkezik, ha a térképezett terület peremét nem tudjuk kellő módon „kifeszíteni”, azaz nem található elégséges számú viszonyítási pont a terület szélein, vagy azok eloszlása nem elég egyenletes. A sztereografikus koordinátákból az EOV koordináták már nagy pontossággal számíthatók [MOLNÁR, TIMÁR 2002; TIMÁR, MOLNÁR, MÁRTA 2003]. Összességében úgy becsüljük, hogy legrosszabb esetben lehet olyan mérési pont, amelynek pozíciója 500 m, a vektor hossza pedig 3–4 eötvös hibával jelenik meg az adatbázisban. Átlagosan a pozícióban 50–100 m, a vektor hosszában pedig 1–2 eötvös hibával számolhatunk. Ebben az elemzésben segítségünkre voltak azok az adatrendszer-ek, amelyek átfedéseket mutattak [EÖTVÖS 1908; VAJK 1941; BANAI 1958].

A fentebb tárgyaltaktól lényegesen eltér két adatrendszer. Az 1911. július 8-i kecskeméti földrengéshez kapcsolódó mérési adatait nem a kutatási jelentéseknél megszokott méretarányú térképről, hanem egy cikkben megjelent 1: 200 000 méretarányú térkép alapján digitalizáltuk [EÖTVÖS 1912], így ezek vélhetőleg nagyobb hibákkal terhelték. Emiatt az adatbázisunkban külön megjelöltük az innen származó értékeket. A másik kivételt a Balaton jegén 1901 és 1903 telén elvégzett mérések jelentik, amelyeknek pontos mérési adatai táblázatos formában megjelentek EÖTVÖS [1908] dolgozatában, így ezek gyakorlatilag hiba nélkül kerültek az adatbázisba. Ez tette őket alkalmassá arra, hogy az ezen adatokat szintén feltüntető térképek [VAJK 1941; BANAI 1958] pontosságát megbecsüljük.

Összességében az adatbázis jelenleg 9070 torziós ingás mérési pont adatait tartalmazza, ebből 1025 a mai határainkon kívül esik (2. ábra). SZABÓ [1999, 2004] becslését alapul véve a hazai Eötvös-ingás mérések 15, a külföldi mérések 20 százalékát tartalmazza jelenleg adatbázisunk (külföldi mérések alatt itt az egykor Magyarországhoz tartozott területeken végzett mérésorozatokot értjük). Az MGSZ Geofizikai Adattárának felmértségi térképei szerint Magyarországon a középhegységek területétől eltekintve szinte mindenütt található torziósinga-adatok. Kivételt ez alól az Alföldön Hajdú–Bihar megye déli része és Békés megye jelent, és a Kisalföld is jobbára előzetes, mintsem részletező jellegű mérésekkel került megkutatásra. Természetesen nagyszerű lenne valamennyi ma fellelhető adatot digitalizálni, hiszen ezeknek a méréseknek a pontossága olyan nagy mértékű, amely mind a mai napig szinte páratlan a földtani és geofizikai adatok között. Ráadásul minden okunk megvan azt feltételezni, hogy a nehézségi erő ily módon meghatározott horizontális gradiensei olyan értékes adatrendszert képviselnek, amely a földtani ismertség mai

szintjén is új információt tud nyújtani a Pannon-medence mélyszerkezetéről. Igaz tehát a mondás: „Old gravity never dies.”

Köszönetnyilvánítás

A cikk elkészítését az Országos Tudományos Kutatási Alap támogatta (D34598). DÖVÉNYI Péter és VIDA Róbert a képek transzformálásánál nyújtottak segítséget, amit itt is szeretnénk megköszönni. Köszönjük SZABÓ Zoltán és VÖLGYESI Lajos konstruktív bírálatait.

HIVATKOZÁSOK

- BANAI Gy. 1958: Jelentés a M. Áll. Eötvös Loránd Geofizikai Intézet által az 1955. évben Várpalota-Nádasdladány vidékén végzett Eötvös-inga mérésekről. 5 p.
- BANAI Gy., ORSZÁGH J., DOMBAI T. 1943: Jelentés a m. kir. báró Eötvös Loránd Geofizikai Intézet által 1942. évben Derna-Tataros vidékén és Erdélyben végzett torziós inga mérésekről és Erdélyben végzett graviméteres mérésekről. 43 p.
- BELL R. E., ANDERSON R., PRATSON L. 1997: Gravity gradiometry resurfaces. *The Leading Edge* **16**, 1, 55–59
- BÖCKH H. 1917: Brachyantiklinálisok és dómok kimutatása torziós mérleggel végzett nehézségi mérések adatai alapján. *Bányászati és Kohászati Lapok* **L**, I. k., 9, 265–273
- COBURN G. W., SCHNEIDER J. 2002: Using gravity gradiometry in seismic interpretation in pre-SDM. *World Oil* **223**, 1, 69–72
- CHOLNOKY J. 1936: A Balaton. A Magyar Földrajzi Társaság Könyvtára, Budapest, Franklin Társulat
- CSAPÓ G. 2005: Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet geodéziai vonatkozású gravitációs kutatásai napjainkig. *Magyar Geofizika* **46**, 2, 66–76
- EÖTVÖS L. 1896: Vizsgálatok a gravitatio és mágnesség köréből. *Mathematikai és Természettudományi Értesítő* **XIV**, 4, 37–82
- EÖTVÖS L. 1906: Bestimmung der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveauflächen mit Hilfe der Drehwage. *Verhandl. d. XV. allg. Konferenz der internat. Erdmessung in Budapest*, I, 337–395
- EÖTVÖS L. 1908: A Balaton nivófelülete s azon a nehézség változásai. A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei. I. k., I. r., geofizikai függelék
- EÖTVÖS L. 1912: Bericht über Arbeiten mit der Drehwage ausgeführt im Auftrage der kön. ungarischen Regierung in den Jahren 1908–1911. *Verhandl. d. XVII. allg. Konferenz der Internat. Erdmessung in Hamburg*, 1912. I., 427–438
- FACSINAY L. 1967: G-2. jelentés az 1965–66. évben Soltvadkert–Szank–Kecskemét közötti kutatási területen végzett Eötvös-inga mérésekről. *Kutatási jelentés, OKGT*, p. 1–37
- HORVÁTH F., BADA G. 2003: A Pannon-medence recens tektonikája. *In: KEGYES Cs., LÖRINCZ Gy. (eds.) Magyarország földrengebiztonsága*. Széchenyi I. Egyetem, Győr, p. 25–39
- KÖRÖSSY L. 1988: A Zala-medencei kőolaj- és földgázkutatás földtani eredményei. *Általános Földtani Szemle* **23**, 3–162
- MOLNÁR G., TIMÁR G. 2002: Az EOV-koordináták nagypontosságú közelítése Hotine-féle ferdetengelyű Mercator-vetülettel. *Geodézia és Kartográfia* **54**, 3, 18–22
- PAPP S. 1939: A Magyar–Amerikai Olajipari Részvénytársaság földiolaj és földgáz kutatásai a Dunántúlon. *Bányászati és Kohászati Lapok* **LXXII**, 9, 200–241
- PEKÁR D. 1917: A báró Eötvös Loránd-féle geofizikai mérésekről. *Bányászati és Kohászati Lapok*, **L**, II. k., 14, 486–504
- PEKÁR D. 1930: Gravitációs mérések. *In: FRÖHLICH I. (szerk.) Báró Eötvös Loránd Emlékkönyv*. MTA, 129–187
- PEKÁR D. 1941: Báró Eötvös Loránd — A torziós inga ötven éves jubileumára. *Kis Akadémia*, Budapest, 336 p.
- POLCZ I. (szerk.) 2003: A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet története. I. r., *ELGI*, 309 p.
- SZABÓ Z. 1999: Az Eötvös-inga históriája. *Magyar Geofizika* **40**, 1, 26–38
- SZABÓ Z. 2004: A gravitációs és földmágneses kutatások története Magyarországon. *Magyar Geofizika* **45**, jubileumi különszám
- SZABÓ Z. 2005: A fizikus Eötvös Loránd és a földtani kutatás. *Magyar Geofizika* **45**, 3, 102–110
- SZILÁRD J. 1974: A gyakorlati célú Eötvös-inga mérések mérési módszerének kifejlesztése — emlékezés dr. Pekár Dezsőre, az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet első igazgatójára. *Magyar Geofizika* **XV**, 3–4, 135–140
- TIMÁR G., TELBISZ T., SZÉKELY B. 2003: Űrtechnológia a digitális domborzati modellezésben: az SRTM adatbázis. *Geodézia és Kartográfia* **55**, 12, 11–15
- TIMÁR G., MOLNÁR G., MÁRTA G. 2003: A budapesti sztereografikus, illetve a régi magyarországi hengervetületek és geodéziai dátumaik paraméterezése a térinformatikai gyakorlat számára. *Geodézia és Kartográfia* **55**, 3, 16–21
- VAJK R. 1935: Report on the torsion balance survey of the Budafapuszta area, County Zala, WS Hungary. *Kutatási jelentés, Eurogasco*
- VAJK R. 1941: Report on the torsion balance survey in the area between Lake Balaton, Lake Velence and the Danube, Transdanubia, Hungary. *Kutatási jelentés, Magyar–Amerikai Olajipari R.T.*, p. 1–35
- VAJK R. 1943: Adatok a Dunántúl tektonikájához a geofizikai mérések alapján. *Földtani Közöny* **LXXIII**, 1–3, 17–38
- 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
- WERNER M. 2001: Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Mission overview. *Journal of Telecommunication (Frequenz)* **55**, 75–79