

# MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

A MAGYAR  
GEOFIZIKUSOK  
EGYESÜLETÉNEK  
FOLYÓIRATA



JOURNAL OF THE  
ASSOCIATION  
OF HUNGARIAN  
GEOPHYSICISTS

## Köszönet

Megjelent az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet történetének második, zárókötetete

Földmágneses esettanulmányok a Balatonfelvidékről, a Duna-Tisza közéről  
és a Tokaji-hegység területéről

A Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratórium első mérései és mérési programja

Jelentős évfordulók az Eötvös-ingamérések történetében

Európa-bajnok lett az ELTE-hallgatók kőolajkutató csapata!

## In Memoriam:

Dr. Márcz Ferenc      Madarasi András  
Pattantyús-Ábrahám Miklós





# MAGYAR GEOFIZIKA

## HUNGARIAN GEOPHYSICS

57. évfolyam (2016) 4. szám



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETÉNEK FOLYÓIRATA  
JOURNAL OF THE ASSOCIATION OF HUNGARIAN GEOPHYSICISTS

### TARTALOM • CONTENTS

#### SZERKESZTŐSÉGI ROVAT • EDITORIAL

123 Köszönet (Acknowledgments) – *Szerkesztőség*

#### MGE HÍREK • NEWS OF ASSOCIATION OF HUNGARIAN GEOPHYSICISTS

124 Megjelent az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet történetének második, zárókötetete (The second volume on the history of the Eötvös Roland Institute is published) – *Bodoky T.*

#### TANULMÁNYOK • PAPERS

126 Földmágneses esettanulmányok a Balatonfelvidékről, a Duna–Tisza közéről és a Tokaji-hegység területéről (Geomagnetic case studies from the Balaton Highland, the Danube–Tisza interfluvium and the Tokaj Mountains) – *Kiss J., Vértesy L., Gulyás Á.*

152 A Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratórium első mérései és mérési programja (First report of long-term measurements of the MGGL Laboratory in the Mátra mountain range) – *Barnafieldi G. G., T. Bulik, M. Cieslar, Dávid E., Dobróka M., Fenyvesi E., D. Gondek-Rosinska, Grácz Z., Hamar G., Huba G., Kis Á., Kovács R., Lemperger I., Lévai P., Molnár J., Nagy D., Novák A., Oláh L., Pázmándi P., Piri D., T. Starecki, M. Suchenek, Surányi G., Szalai S., Varga D., Vasúth M., Ván P., Vásárhelyi B., Wesztergom V., Weber Z.*

170 Jelentős évfordulók az Eötvös-ingamérések történetében (Actual anniversaries related to Eötvös' torsion balance) – *Szabó Z.*

#### HÍREK • NEWS

185 Európa-bajnok lett az ELTE-hallgatók kőolajkutató csapata! (Hungarians won AAPG's oil exploration competition for students) – *Tőkés L.*

#### IN MEMORIAM

186 Dr. Márcz Ferenc – *Sátori G.*

187 Madarasi András – *Vértesy L.*

188 Pattantyús-Ábrahám Miklós – *Törös E.*

# MAGYAR GEOFIZIKA

## HUNGARIAN GEOPHYSICS

57. évfolyam (2016) 4. szám

A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETÉNEK FOLYÓIRATA  
JOURNAL OF THE ASSOCIATION OF HUNGARIAN GEOPHYSICISTS

*Főszerkesztő • Editor-in-Chief*

DR. BODOKY TAMÁS

E-mail: bodoky.tamas@mfgi.hu

*Szerkesztőbizottság • Editorial Board*

DR. BARÁTH ISTVÁN, KAKAS KRISTÓF, DR. LENKEY LÁSZLÓ,

DR. PETHŐ GÁBOR, DR. SZARKA LÁSZLÓ, VERŐ LÁSZLÓ

*Technikai szerkesztő • Technical Editor*

HOCK GÁBOR

E-mail: hockg@t-online.hu



Lapunk megjelenését a Magyar Olaj- és Gázipari Nyilvánosan Működő Részvénytársaság támogatja

---

A szerkesztőség a szakcikkek (tanulmányokat) szaklektorálás után közli. A szaklektorok névsorát az évfolyam záró számában tesszük közzé. A lapban megjelenő cikkek adatainak és állításainak helyességéért, ill. közölhetőségéért kizárólag a szerzők tartoznak felelősséggel.

---

Kiadja a Magyar Geofizikusok Egyesülete  
A kiadásért felel: Horváth Zsolt

Szerkesztőség: 1145 Budapest, Columbus u. 17–23.  
Telefon/Fax: (1) 201-9815  
Titkársági e-mail: postmaster@mageof.t-online.hu  
Honlap: www.mageof.hu

Borító, tipográfia és nyomdai előkészítés:  
EP Systema Bt., Budapest

Készült: NestPress Kft., 1116 Budapest, Vegyész u. 17–25.  
Felelős vezető: Fekete Iván

Előfizethető a Magyar Geofizikusok Egyesületénél  
(1371 Budapest, Pf. 433, Telefon/Fax: (1) 201-9815)  
egyesületi tagoknak tagdíj ellenében  
Megjelenik évente négyszer

INDEX: 26 507  
HU ISSN 0025-0120



## Köszönet

A *Magyar Geofizika* szerkesztősége köszönetét fejezi ki a lap olvasóinak nevében is azoknak, akik a lap szerkesztésében, illetve színvonalának megőrzésében, javításában az elmúlt 2016. évben közreműködtek.

A hírek, beszámolók szerzőinek nevét mindig közöljük írásuk végén, így ezt nem ismétljük meg itt, de a köszönet természetesen nekik is szól.

Név szerint is szeretnénk megemlíteni itt azokat, akiknek a neve máshol nem jelent meg.

Köszönet a szócikkek lektorainak!

Ezt a sokszor sok vesződséggel járó munkát az elmúlt évben következő kollégáink vállalták:

*Bodoky Tamás, Dobróka Mihály, Guthy Tibor, Nagy Zoltán, Ormos Tamás, Szabó Norbert.*

Köszönet a hátlapon közölt képek beküldőinek!

Köszönjük, hogy kérésünkre vették a fáradságot, hogy sok évtizeddel ezelőtti fényképeket keressenek elő és juttassák el hozzánk. A képeket következő kollégáinktól kaptunk:

*Baráth István, Gili László, Kiss János.*

Végül, de nem utolsó sorban, köszönjük *Hock Gábor* technikai szerkesztőnek a lap igényes külsejét és a szerkesztés magas minőségét, illetve *Petró Erzsébet*nek a lappal járó adminisztráció gördülékeny intézését!

*Szerkesztőség*

# Megjelent az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet történetének második, zárókötetete

2017. február 23-án délután az egykori Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) volt konferenciatermében (ma a Magyar Bányászati és Földtani Hivatalhoz tartozik) könyvbemutatóra került sor. Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet történetének második és egyben zárókötetét mutatták be a könyv szerkesztői, *Polcz Iván* és *Bodoky Tamás*. A kötet az Intézet történetét 1965-től 2012-ig dolgozza fel.

Az ezredfordulót követően, ahogy közeledett az Intézet alapításának 100. évfordulója az Intézet elhatározta, hogy jubileumának méltó megünneplésére első 100 évének történetét írásba foglalja. A történet megírását és szerkesztését *Polcz Iván*, az Intézet tudományos főmunkatársa vállalta el.

Rögtön a munka legelején nyilvánvalóvá vált, hogy két, egymástól nagyon különböző szakaszra bontható ez a történet, és logikusan adódott, hogy az 1907-től 1964-ig tartó és az 1965-től 2007-ig terjedő időszakokat külön-külön tárgyaljuk. Amikor azonban köztudottá vált hogy az ELGI mint önálló intézet 2012-ben megszűnik és beolvad egy új intézménybe (Magyar Földtani és Geofizikai Intézet – MFGI), akkor ezt második időszakot értelemszerűen 2012-ig hosszabbítottuk meg.

2003-ban elkészült az első időszak története, és az Intézet még ebben az évben ki is adta könyv formában, *Hegybíró Zsuzsa* műszaki szerkesztésében.

2004-ben elindult a második időszak történetének megírása, de hamar kiderült, hogy ez – az ekkor gyorsan növekvő Intézet tevékenységének sokrétűsége miatt – nem állítható össze az első kötetben alkalmazott időrend szerinti sorrendben. A második időszakot ezért – az időrendet csak az egyes témákon belül figyelembe véve – kutatási témák szerint szerkesztettük.

2011-ben *Polcz Iván* bevonta *Bodoky Tamást* a munkába, a további anyaggyűjtésbe és a kötet végső formába hozatala céljából. Ezt ők a következő három év alatt végezték el, és 2014-ben a kötet elsődleges anyaga egy teljes éven át elérhető volt az ELGI utódszervezetének, a Magyar Földtani és

Geofizikai Intézetnek a honlapján, továbbá a kötet egyes részeinek szerzői pedig felkérést kaptak az anyag lektorálására. Sajnos ez nem mindenkihez jutott el, de még így is sokan igen lelkiismeretesen lektorálták az anyagot és tettek azzal kapcsolatban javaslatokat.

2016 végére elkészült a könyv végleges kézírata, amelynek a technikai szerkesztését az MFGI finanszírozásával *Hock Gábor*, a *Magyar Geofizika* technikai szerkesztője végezte el.

A nyomdakész anyagot szintén az MFGI adta ki, a nyomtatás költségeit azonban az Eötvös Loránd Geofizikai Alapítványon keresztül sokan támogatták. A kiadás támogatói a Magyar Tudományos Akadémia, a Magyar Geofizikusok Egyesülete, a Biocentrum Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kft., a Geo-Log Környezetvédelmi és Geofizikai Kft., a Geoport Tudományos-Műszaki és Kereskedelmi Kft., valamint a MinGeo Környezetvédelmi és Vállalkozási Kft. volt.

*Köszönjük a szerzőknek és a lektoroknak a kötet részeinek megírását és lektorálását!*

*Tisztelettel köszönjük a kötetet kiadó Magyar Földtani és Geofizikai Intézetnek, mindenekelőtt igazgatójának, Fancsik Tamásnak és a kiadást támogató szervezeteknek a könyv megjelentetését.*

*Köszönjük Pályi Andrásnak és Baráth Istvánnak, a kötet megjelentetése érdekében végzett kitartó munkájukat, és végül, de nem utolsósorban köszönjük Mészárosné Jelinek Beáta könyvtárosnak a könyvbemutató megszervezését.*

A könyvbemutató jelentős részvétellel, jó hangulatban zajlott.\* A könyv bemutatása után *Pályi András*, az Eötvös Loránd Geofizikai Alapítvány kuratóriumának elnöke a könyv szerzőinek és lektorainak, valamint a Pro Geophysica-emlékermeseknek (ők korábban az emlékéremmel együtt az első kötetet is megkapták) a könyvből egy-egy tiszteletpéldányt adott át.

*Polcz Iván, Bodoky Tamás*

*Fotó: Deák Villó*

\* Némileg beárnyékolta az ünnepélyes hangulatot, hogy kormányzati intézkedések következtében 2012-ben az intézmény nevéből eltűnt a nagy Alapító neve, és a jelenleg folyó újabb átalakítás után már a „geofizika” és az „intézet” szavakat is száműzik jelezve az egykor nemzetközi hírű kutatóintézet hivatallá, az állami bürokrácia egy fogaskerekévé alakítását. – *Bodoky Tamás*



A könyvbemutató hallgatósága



Bodoky Tamás bemutatja a könyvet



Polcz Iván megemlékezik az időközben elhunyt szerzőtársáról



A tiszteletplédányok átadása: Pályi András Kovács Bélának adja át a kötetet



A könyvbemutató vége: az egykori munkatársak tanulmányozzák a vaskos kötetet

# Földmágneses esettanulmányok a Balatonfelvidékről, a Duna–Tisza közéről és a Tokaji-hegység területéről\*

KISS J.<sup>@</sup>, VÉRTESY L.<sup>&</sup>, GULYÁS Á.<sup>#</sup>

Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI), 1143 Budapest, Stefánia út 14.

<sup>@</sup>E-mail: kiss.janos@mfgi.hu, <sup>&</sup>E-mail: vertesy.laszlo@mfgi.hu, <sup>#</sup>E-mail: gulyas.agnes@mfgi.hu

A cikkben magmás testek helyzetének meghatározását mutatjuk be három magyarországi esettanulmányon keresztül. A vizsgálatok során alapvetően a mágneses adatokat és feldolgozásokat alkalmaztunk, de a szeizmikus és gravitációs adatok és feldolgozások is a segítségünkre voltak. A geofizikai adatok és komplex feldolgozások alapján a pannóniai bazalt és miocén andezit testek helyzetéről, elhelyezkedéséről kapunk a korábbiaknál sokkal pontosabb képet.

## Kiss, J., Vértesy, L., Gulyás, Á.: Geomagnetic case studies from the Balaton Highland, the Danube–Tisza interfluvium and the Tokaj Mountains

In this article the localizations of magnetic bodies are presented utilizing case histories of three different regions of Hungary. We applied mainly the magnetic data and magnetic processing steps in the course of the examinations, but the seismic and gravity data and their processing also helped us in the interpretation. Using these data and their complex processing we obtained a much more accurate image than the previous one for the Pannonian basaltic and Miocene andesitic bodies of the studied regions.

*Beérkezett:* 2017. március 6.; *elfogadva:* 2017. március 29.

### Bevezetés

A jelentős mennyiségű magnetitot tartalmazó kőzettestek lehatárolásának alapvető eszköze a földmágneses mérés. Magyarország teljes területéről – viszonylag egyenletes fedettségben – már az 50-es évek óta elérhetőek a mágneses adatok. Az ország egészéről 2006-ban került kiadásra a mágnesesanómália-térkép (Kiss, Gulyás 2006) legújabb változata. A mögötte álló mágneses adatrendszer feldolgozása számos tudományos és ipari célú munka alapja volt (Pozsgay 1962, 1966a, 1966b, 1967, Zelenka et al. 2012, Kiss 2009, 2013, 2015). Mindazonáltal az új feldolgozási módszerek alkalmazása és az újabb földtani-geofizika információkkal történő együttes értékelés sokkal pontosabb eredmények elérését teszi lehetővé.

### Alapok

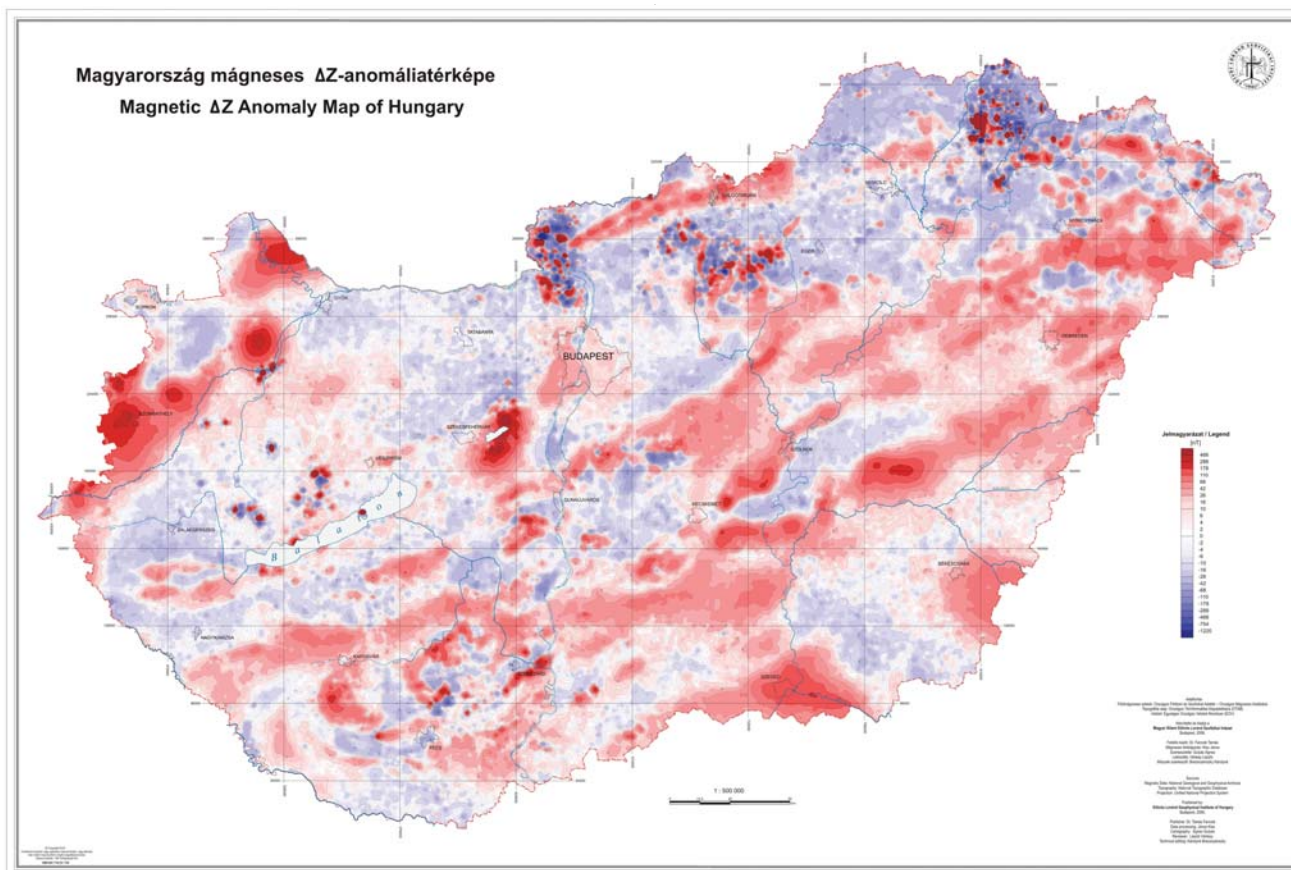
#### *A mágnesesanómália-térkép*

Az első mágneses  $\Delta Z$ -anomáliatérkép nyomdai kiadása Haáz István és Komáromy István (1966) nevéhez fűződik. Ez a (45 000 mérési pontból álló) térképi adatrendszer képezte a digitális mágneses adatbázis alapját. Az adatbázisban lévő  $\Delta Z$  mérési adatok száma a részletező méréseknek köszönhetően mára közel megduplázódott. A 60-as években az adatok feldolgozása területrészenként kézi interpolálással történt, majd a részterképeket szintén kézi úton dolgozták össze.

A 2006-ban megjelent mágneses térkép (1. ábra) esetében a fő hangsúly az összes adat együttes kezelése mellett a

\* A „Magyarhoni Földtani Társulat Földtudományi Vándorgyűlése és Kiállítása” rendezvényen (Sárospatak, 2016. augusztus 24–27.) elhangzott előadás kibővített változata





**1. ábra** | Nyomdai kiadásban megjelent, M=1 : 500 000 méretarányú mágneses ΔZ-anomáliatérkép (Kiss, Gulyás 2006)  
**Figure 1** | Magnetic Anomaly Map of Hungary, published in scale 1 : 500 000 (Kiss, Gulyás 2006)

kis amplitúdójú mágneses hatások kiemelésén volt. A térképen a nagytektonika irányába rendeződött mágneses anomália-vonulatok rejtélye a litoszférakutató szeizmikus szelvények mérési eredményei alapján látszik megoldódni (Kiss et al. 2015, Kiss 2015, Kiss 2016).

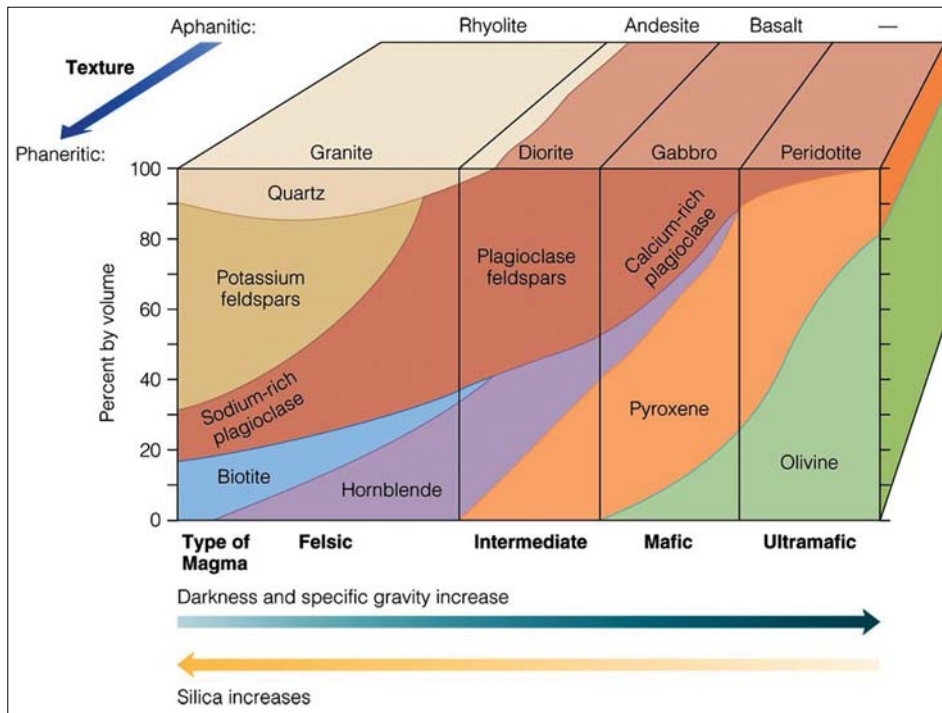
*Mágneses földtani képződmények, a hatók*

Mágneses adatfeldolgozás szempontjából a legfontosabbak a magmás kőzetek, mivel közöttük vannak a legerősebben mágnesezett képződmények. Ide tartoznak, a bázikus mély-

**1. táblázat** | A mágneses magmás és metamorf képződmények táblázata (Ravasz, Kovács 1977, Pantó 1976 alapján, módosítva). a) Szubvulkáni bázisos összetételű magmás kőzet (mikrogabbbró); b) átalakult dolerit, mikrogabbbró illetve bazalt (metadolerit, metamikrogabbbró, metabazalt); c) bazaltvulkanizmusból kialakuló effúzív kőzet; d) metamorfizálódott diabáz; e) szerpentinit akkor keletkezik, ha vizes környezetben (például óceáni litoszféra), a bázikus és ultrabázikus magmás kőzetek olivin és piroxén ásványai átalakulnak szerpentin ásványokká

**Table 1** | Table of the different magmatic and metamorphic formations (after Ravasz, Kovács 1977 and Pantó 1976, modified)

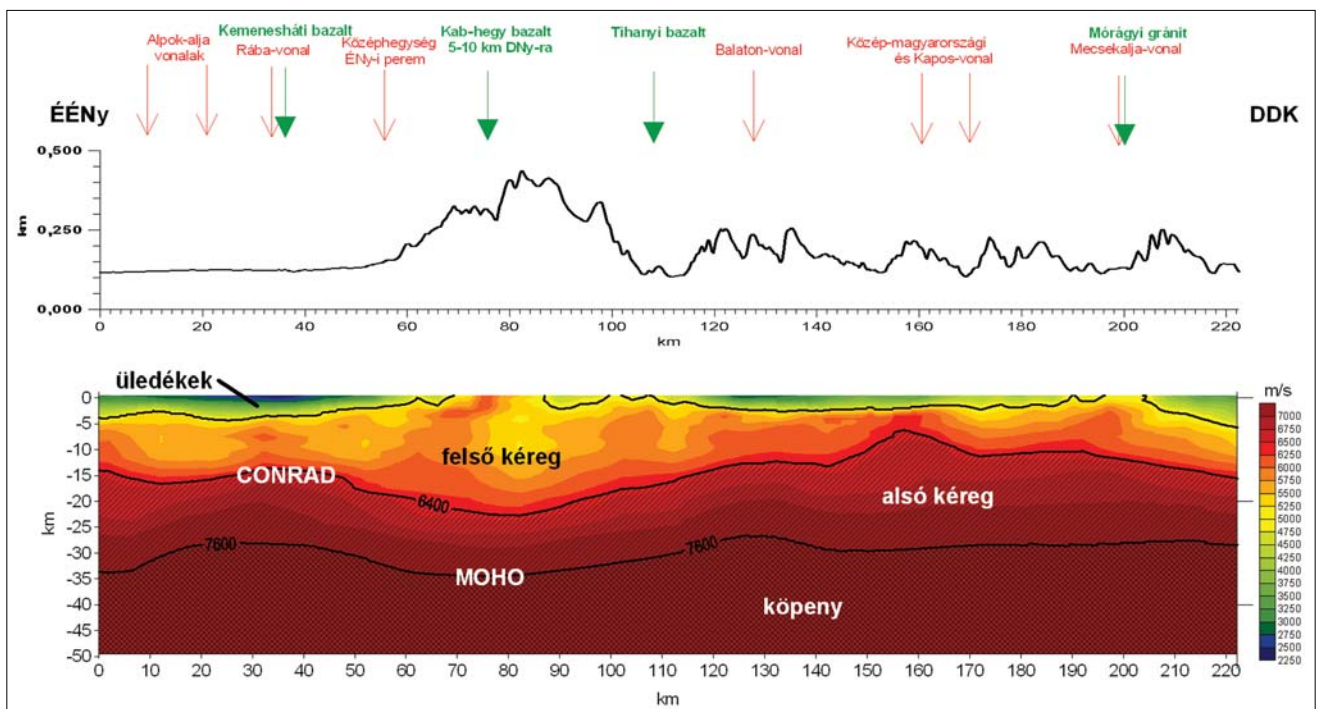
Mágmás kőzetek							
Típus	Túltelített		Telített		Telítetlen		
Keletkezési hőmérséklet	600	750	850	950	1600		
Mélységi	gránit,	granodiorit, tonalit	szenit	diorit, monzonit	gabbró norit	nefelin- szenit	piroxenit, peridotit, dunit
Kiömlési	paleo- neo- riolit	kvarcporfir dácit	ortofir trachit	profir andezit	dolerit <sup>b)</sup> , bazalt, diabáz <sup>b)</sup>	fonolit <sup>c)</sup> , pikrit	kimberlit, nefelinbazanit
Átalakult kőzetek							
Metamorf	gneisz		kloritpala		zöldpala <sup>d)</sup> , szerpentin <sup>e)</sup> , amfibolit, granulit, eklogit		



**2. ábra** | Magmás kőzetek klasszifikációja (www.geologyin.com) (A sötét elegyrészek növekedése a sűrűség, és mágneses paraméterek megnövekedéséhez vezet)  
**Figure 2** | Classification of magmatic rocks (www.geologyin.com) (Density and magnetic parameters increase by the increasing ratio of dark components)

ségi és kiömlési kőzetek, azokon belül is elsősorban a láva-képződmények.

Másik fontos csoport a metamorf képződményeknek az a csoportja, amelyeknek eredeti kiindulási kőzetei bázisos



**3. ábra** | CEL08 litoszférakutató szeizmikus szelvény. Helyszíni adatok és domborzat (felül), szeizmikus sebességszelvény és értelmezett litoszférafelépítése (alul)  
**Figure 3** | Lithosphere exploration profile CEL08. Topography and location data (above) seismic velocity section and interpreted lithosphere elements (below)

összetételű magmás kőzetek vagy a metamorf átalakulás során mágnessé vált képződmények voltak.

Az 1. táblázat kőzeteit vizsgálva, balról jobbra haladva, a sötét elegyrészek (pl. magnetit) növekedése jellemző. A sötét elegyrészek mennyiségi növekedése egyben a mágneses anyagtartalom (vastartalom) és a sűrűség megnövekedését is jelenti.

Kicsit leegyszerűsítve a dolgot azt mondhatjuk, hogy minél nagyobb a sötét elegyrészek aránya az adott kőzetben, annál valószínűbb, hogy a kőzetnek mágneses hatása is van, azaz mágneses hatóként fog jelentkezni a mágneses mérések során.

Egy amerikai geológiai honlapon jelent meg a 2. ábra, amely az 1. táblázatnak megfelelő felosztást mutatja be szemléletesen, jelezve az összetételbeli változásokat is. Az ábráról látszik, hogy magas olivin-, piroxén- és Ca-plagioklástartalom jellemzi a mágneses hatóként megjelenő magmás képződményeket.

Vizsgálódásunk tárgya a magyarországi bázisos magmás és bázisos metamorf kőzetek csoportja, azaz az 1. táblázat jobb oldalán megjelenő képződmények összessége

## Esettanulmányok

### CEL08 – kéregbeli mágneses hatók kimutatása

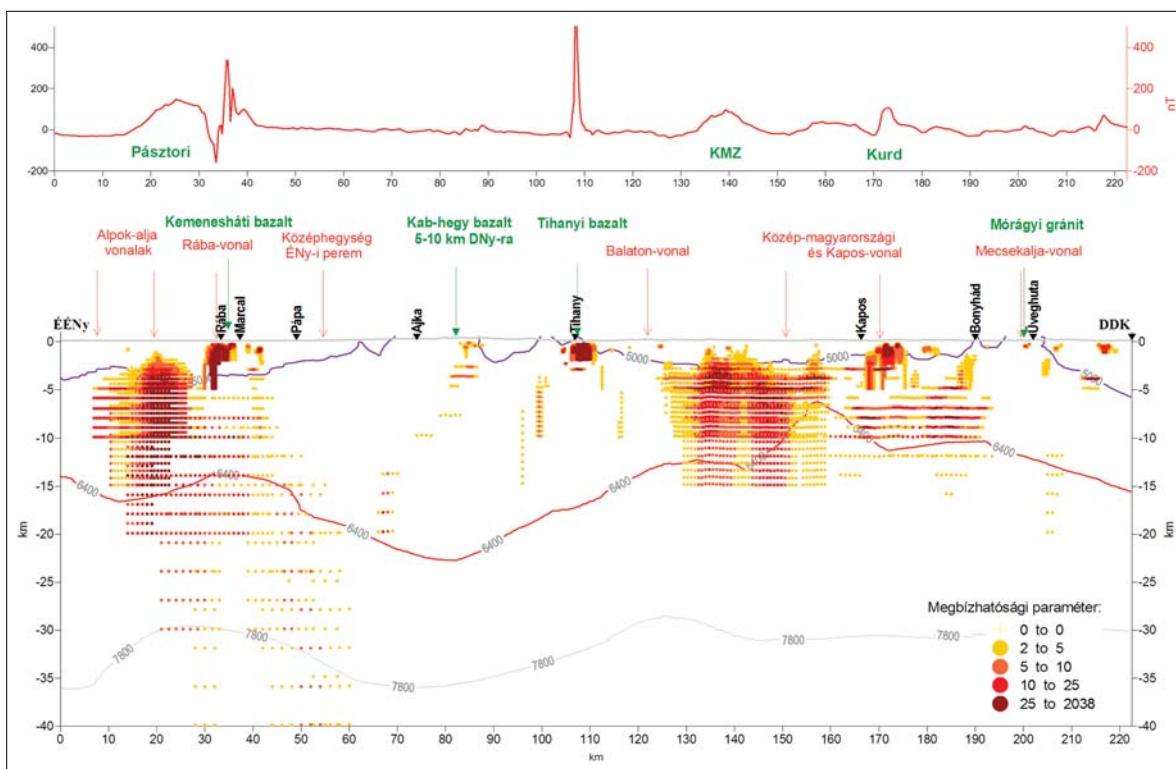
A CELEBRATION litoszférakutató program szeizmikus refrakciós tomografikus mérésének egyik szelvénye a Balatonfelvidéken át, a nagyszerkezeti irányokra merőle-

sen, egy sor mágneses anomáliát is érintve keresztezte a Dunántúlt, kiváló lehetőséget biztosítva a kéregbeli mágneses hatók megismerésére.

A szeizmikus sebességeloszlás (3. ábra) alapján nagy sebességű zónák rajzolódhatnak ki, amelyek egészen a felszínig (medencealjzatig) nyúlnak. A zónák és az ismert tanúhegyek között kapcsolat látszik. Több esetben mágneses anomália is található a nagy sebességű zónák közvetlen közelében.

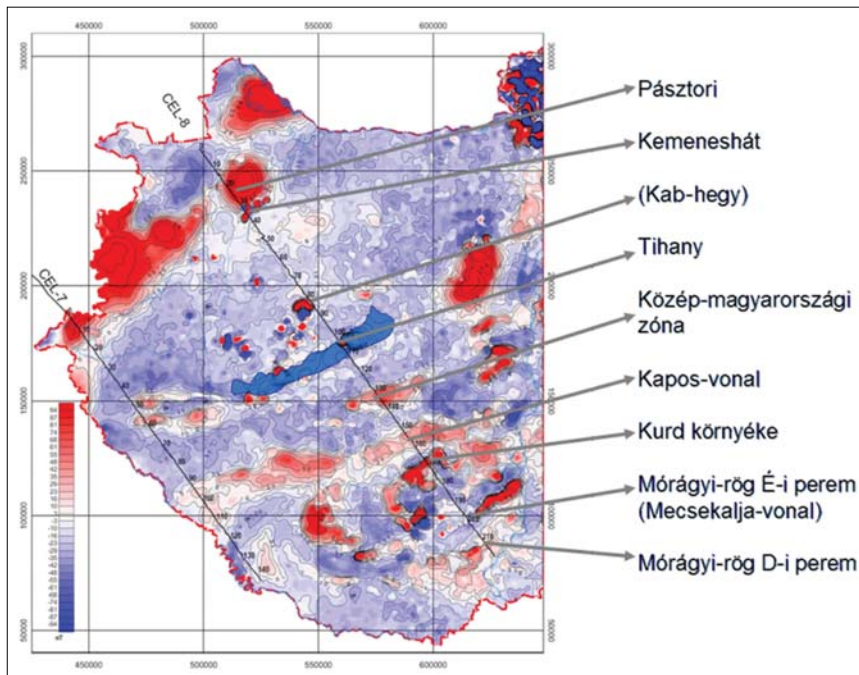
A szelvény mentén mágneses anomáliák regionális léptékben jelzik a mágneses hatók közelítő helyét. A hatók mélységére a hagyományos értelmezés során az anomáliák nagysága és térfrekvenciája utalt.

A Naudy-dekonvolúció alkalmazásával (a mágneses hatók automatikus kijelölésével) a hatók mélységi elhelyezkedésére kaptunk adatokat. Az algoritmus szubjektív elemek nélkül közvetlenül a kétdimenziós geometriát határozza meg a mágneses anomália menetéből, azaz az  $x, y$  mellé megkapjuk a közelítő  $z$  koordinátát is (Kiss, Prácer 2016). A különböző mintavételi távolságok és szűrőméretek mellett elvégzett feldolgozások megbízhatósági paraméter alapján rangsorolt megoldásai jelzik a mágneses testek legvalószínűbb helyzetét (4. ábra). A Naudy-féle automatikus feldolgozási eljárás sok egyedi megoldást ad, de megbízhatósági kritériumok alkalmazásával a megoldások száma szűkíthető, a mágneses hatók geometriai leképzése javul, a testek várható mélysége és mérete pontosabb lesz. Korábban egyetlen feldolgozási eljárás sem adott ehhez hasonló részletességű információt a mélybeli mágneses hatókról. A 4. ábrán nem egy szondázó típusú geofizikai mérés eredményét látjuk, hanem térképező mágneses felmérés egyedi

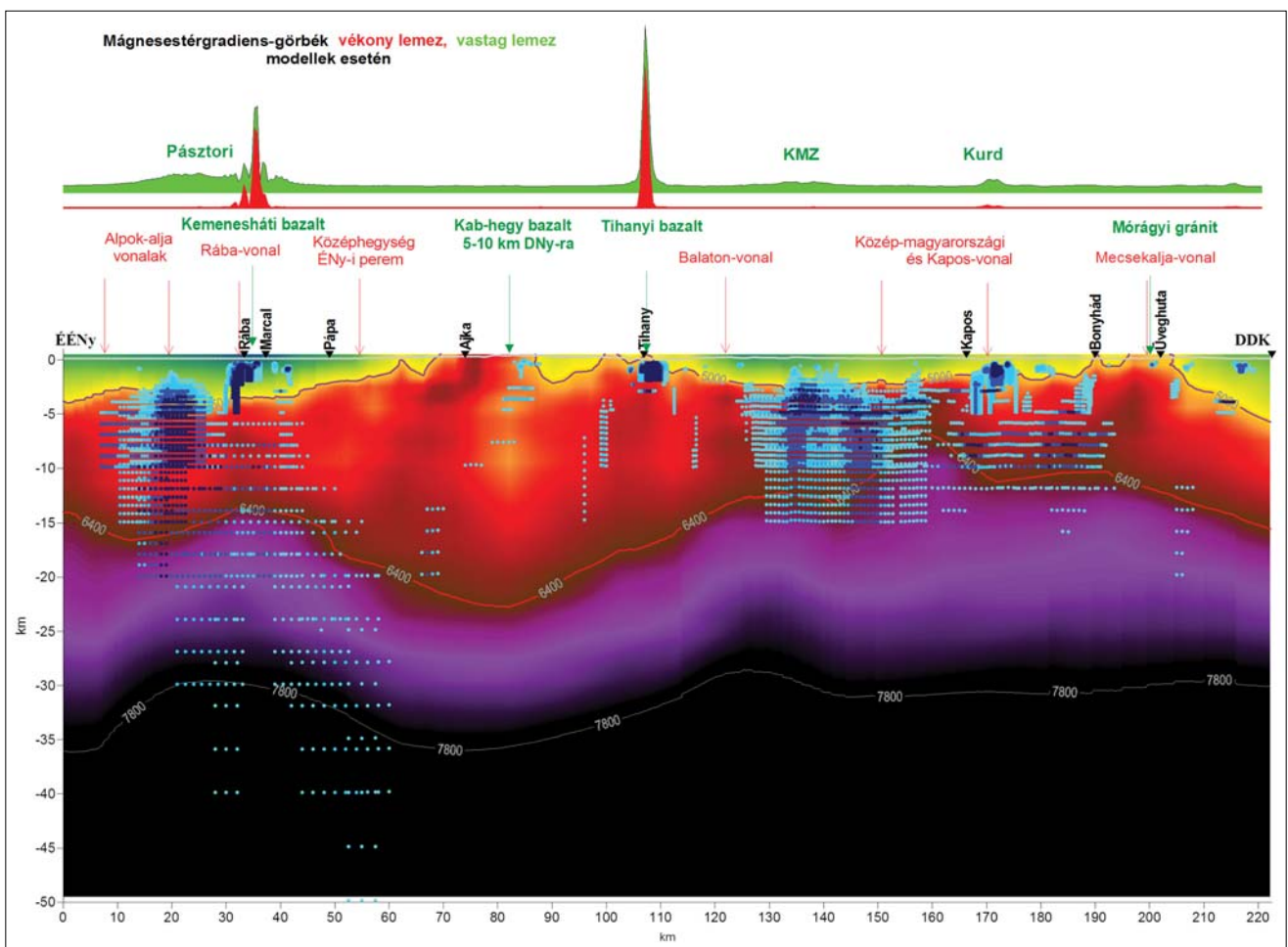


4. ábra | Mágneses anomáliák (felül) és hatók a Naudy-feldolgozások alapján (alul) a CEL08 szelvény mentén  
 Figure 4 | Magnetic anomalies (above) and magnetic bodies based on the Naudy-solutions (below) along the CEL08 profile





5. ábra | Dunántúl mágneses anomália-térképe, a CEL08 szelvény menti anomáliák földrajzi azonosításával  
 Figure 5 | Magnetic anomaly map of Transdanubia and geographical identification of magnetic anomalies along CEL08 seismic profile



6. ábra | CEL08 szeizmikus sebességszelvény mágneses Naudy-megoldásokkal (alul) és térgradiens-görbékkel (felül)  
 Figure 6 | Naudy-solutions along the seismic velocity section of CEL08 (below) and anomalies of 2D analytical signals (above)



mérési adatait dolgoztuk fel a szelvény mentén a spektrálisan szűrt adatokon is, eltérő mintavételi távolsággal, különböző szűrőméretekkel.

A szelvényen ÉNy-ről DK-re haladva, földrajzi helyekhez (5. ábra), ismert földtani képződményekhez kapcsolhatók a mágneses anomáliák, illetve mélybeli mágneses hatók. A szelvény nem ment át a Kab-hegyen (nyomvonala a központi csúcstól ÉK-re 5–10 km-re volt), így a bazaltok hatása közvetlenül nem érződik a CEL08 szelvény feletti mágneses anomália-görbén. A szeizmikus sebességszelvényen a Kab-hegy alatt 15 km-es mélységig egy nagy sebességű, közel függőleges zóna (csatorna) látszik, amely a mélybeli bazaltokkal lehet kapcsolatban. Ez a nagy sebességű zóna és az ennek megfelelő rajzolatú mágneses Naudy-megoldások egymáshoz képest eltolódva jelentkeznek (6. ábra). Az okokra később visszatérünk.

Egyszerűbb anomáliagörbe-rajzolatok eléréséhez analitikus jelképzést (Nabighian 1972, 1974) is alkalmaztunk. Az analitikus jel az irányderiváltak vektorösszegzése miatt a számításából adódóan csak pozitív értékeket eredményez. A kapott analitikus jelgörbéken csak ott van nullától különböző érték, ahol mágneses hatás van, kicsit hasonlóan a gravitációhoz.

Ezt a feldolgozási eljárást magyarul totálgradiens- ( $x$ ,  $y$ , és  $z$  deriváltak felhasználása esetén térgradiens-) számításnak szoktuk nevezni. Kiszámoltuk az analitikus jelet az eredeti anomáliaértékek alapján és a horizontális gradiensek alapján is (6. ábra).

Láthatjuk a felszíni bazaltokat (Kemeneshát, Tihany) mindkét görbe alapján, de megjelennek a mélyebben elhelyezkedő mágneses testek is mint a Pásztori környéki

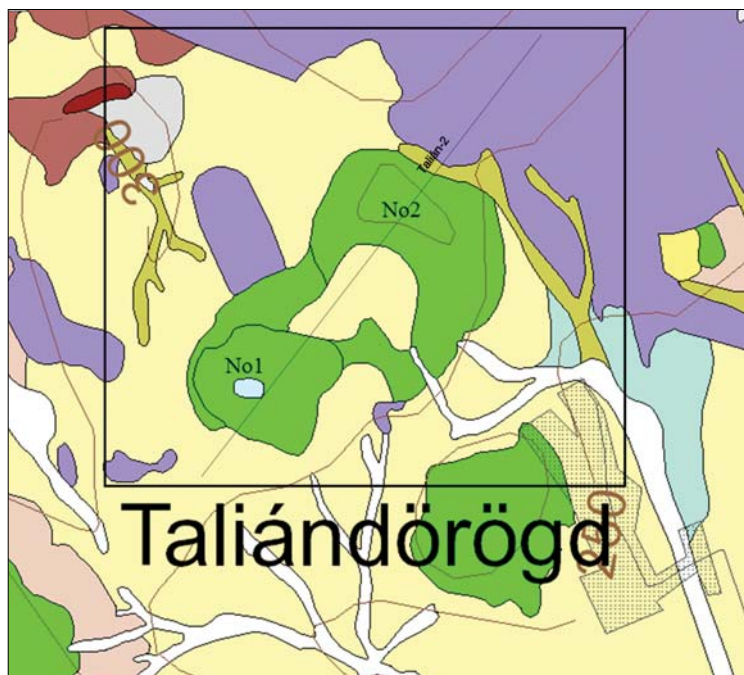
hatók (legnagyobb anomália), a Közép-magyarországi zóna hatói (még azonosíthatóan) és a Kurd környéki lokális mágneses ható képződményei. Ezeket a mélyebb hatókat azonban már inkább csak a zöld görbe alapján tudjuk azonosítani (6. ábra). Minél kiterjedtebb és nagyobb a zöld színű anomália, annál mélyebb a Naudy-megoldások alapján kapott mágneses ható.

Az analitikus jelanomáliákból leszűrt következtetések és a Naudy-megoldások megerősítik egymást, ugyanazokat a jellegzetességeket mutatják. A Naudy-megoldások alapján mélynek jelzett hatók kis amplitúdójú, elkent térgradiens-anomáliát okoznak, míg a felszínközeli lokális, nagy amplitúdójú anomáliákat. Persze a térgradiens-anomáliák a pontos mélységet nem adják, míg a Naudy-megoldások a legvalószínűbb hatómélységet is megadják.

A mágneses hatók azokon a területeken jelentkeznek, ahol a sebességek alapján a felső kéregben alsó kéregre jellemző, nagy sebességű zónák (kiemelkedések) tapasztalhatók (Kiss et al. 2015, Kiss 2015). Nyilván ezek a köpenykiemelkedések adják meg, hozzák felszínközeli a felszínen ismert magmás képződmények bázisos alapanyagát.

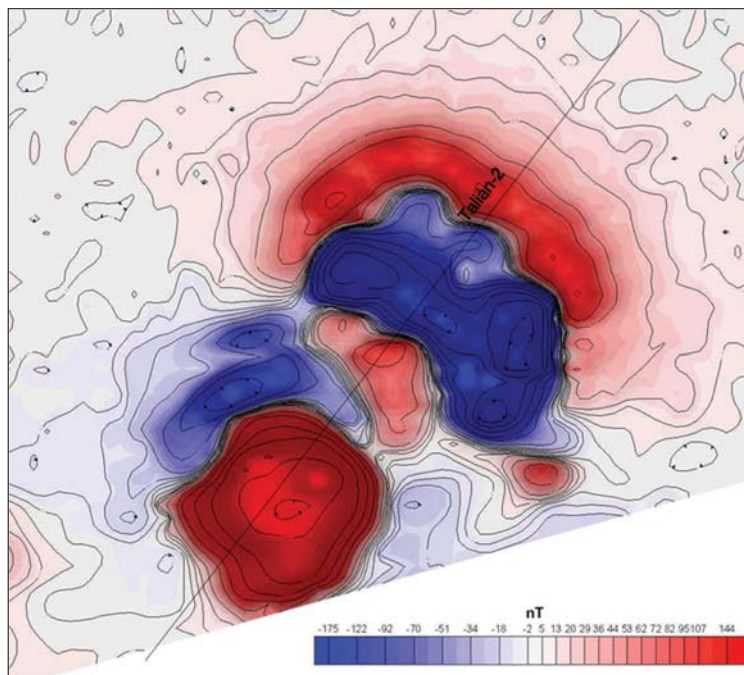
#### A bazalt tanúhegyek vizsgálata

A légi geofizikai mérések két nagyságrenddel sűrűbb mágneses adatrendszerrel lehetővé teszi a felszíni, felszínközeli hatók részletesebb vizsgálatát. Az 1989. évi halimbai bauxitkutató légi geofizikai mérés területének D-i peremén bazaltos előfordulások felett is mértünk. Taliándörög falutól É-ra (és Ny-ra) található ezek a felszínen is azonosítható pannóniai korú bazaltképződmények (7. ábra).



7. ábra Taliándörög környéki bazalt-előfordulások (zöld poligonok) a vizsgált légi mérési terület kivágatával (Gyalog, Síkhegyi 2005, <https://map.mfgi.hu/fdt100/>)

Figure 7 Near surface basaltic bodies (green polygons) near Taliándörög (Gyalog, Síkhegyi 2005, <https://map.mfgi.hu/fdt100/>)



**8. ábra** | Mágneses ( $\Delta T$ ) anomáliák Taliándörögd-től É-ra és a Talián-2 szelvény nyomvonala  
**Figure 8** | Magnetic anomalies North of Taliándörögd and the location of Talián-2 profile

Felszínről is ismert lokális testekről van szó, egyszerű geometriával, ami a légi mágneses adatok feldolgozása szempontjából kedvező. Összetett, pozitív–negatív mágneses ( $\Delta T$ ) anomáliák rajzolódhatnak ki a bazalttestek/mágneses dipólok felett (8. ábra). Az eltérő hatók és azok anomáliaterének elkülönítése nem egyszerű. Ebben segítségünkre lehet a szimmetriatengelyek meghatározása, ami alapján az eredő mágnesezettségre következtethetünk. A szimmetriatengelyek a fő mágnesezettségi (deklinációs) irányt adják meg. Ez egyszerű geometriájú hatók esetén az anomália rajzolatából meghatározható. A hatók általában bonyolult geometriával rendelkeznek, így ez a művelet a gyakorlatban sokszor nem kivitelezhető.

Taliándörögd esetében két szimmetriatengely jelölhető ki az extrémumok előjelének figyelembevételével. Az egyik, a DNy-i anomáliapár esetében a 350–355°-os, míg az ÉK-i

anomáliák esetében a 200–210°-os irány. Ezek az irányok a testek eredő mágnesezettségének ( $J_e$ ) irányát mutatják, ami az indukálthoz képest domináns remanens mágnesezettség esetén (azaz  $J_r \gg J_i$ ) a bazaltképződés idejének paleomágneses pólushelyzetét adja meg.

A mágneses anomália-tér alapján azonosítható két szimmetriatengely jelzi, hogy legalább két ható van, és a bazalttestek (7. ábra) eredő mágnesezettsége eltérő. Az anomáliaképet az is bonyolítja, hogy a két test mágneses hatása szuperponálódik (vektorosan összeadódik), amelynek a mértékét nehéz megítélni és korrekcióba venni.

Vannak persze más lehetőségek is, például digitális feldolgozási eljárások. A mágneses hatók kimutatásához szokták használni a pszeudogravitációs transzformációt. Ennek azért lehet szerepe, mert a mágneses ásványok sűrűsége a kéreg 2,67 g/cm<sup>3</sup>-es átlagsűrűségénél jóval nagyobb (2. táblázat).

**2. táblázat** | Mágneses ásványok (balra) és a mélységi magmás kőzet sűrűsége, savanyútól a bázisosig (jobbra)  
**Table 2** | Density of different magnetic minerals and different felsic and mafic intrusive rocks

Ásvány	Képlet	Sűrűség (g/cm <sup>3</sup> )	Kőzet	Sűrűség (g/cm <sup>3</sup> )
Magnetit	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	5,20	Gránit	2,6
Ulvöspinel	Fe <sub>2</sub> TiO <sub>4</sub>	4,78	Granodiorit	2,7
Hematit	αFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,10	Szienit	2,8
Maghemit	βFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,88	Diorit	2,8
Trevorit	NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	5,26	Gabbro	2,9
Jakobzit	MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	4,87	Piroxenit	3,1
Magnezioferrit	MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	4,52	Peridotit	3,2
Ilmenit	FeTiO <sub>3</sub>	4,74	Dunit	3,3

látat). Így egy földtani képződmény, amelynek mágneses hatása van és anomáliát okoz, az valószínűleg gravitációs hatással is bír, ami a fizikai paraméterek ismeretében kiszámítható.

A gravitációs potenciál és a mágneses potenciál (illetve erőterek) közötti kapcsolatot az Eötvös–Poisson-összefüggés írja le, melynek alapján az erőterek kölcsönösen átszámíthatóak egymásba (pszeudogravitációs transzformáció és pszeudomágneses transzformáció). A pszeudogravitációs anomália úgy adja vissza a mágneses hatót, mint ha egy gravitációs hatóval lenne dolgunk, és ebben az esetben a gravitációnál alkalmazott eljárások mindegyike használható lesz a mágneses ható kimutatására is (lásd később). A transzformáció során a mágnesezettség értékét sűrűségértékké alakítjuk át, ami ugyan nem egy abszolút eljárás, mivel egyrészt a paraméterek nem állandóak, másrészt nem is ismerjük azokat pontosan, de azért a művelet elvégzése hasznos. Elvileg a mágnesezettség irányát is ismernünk kellene, de csak a normál mágneses tér irányában (indukáló mágneses tér) lehetünk biztosak, a remanens mágnesezettség nagyságát és irányát többnyire nem ismerjük. A mágneses adatokon elvégzett transzformáció (normál mágnesezettséget feltételezve) eredménye esetünkben egy pszeudogravitációs maximum és egy pszeudogravitációs minimum (9. ábra), ami annak köszönhető, hogy a mágnesezettség iránya hatással van a transzformáció eredményére.

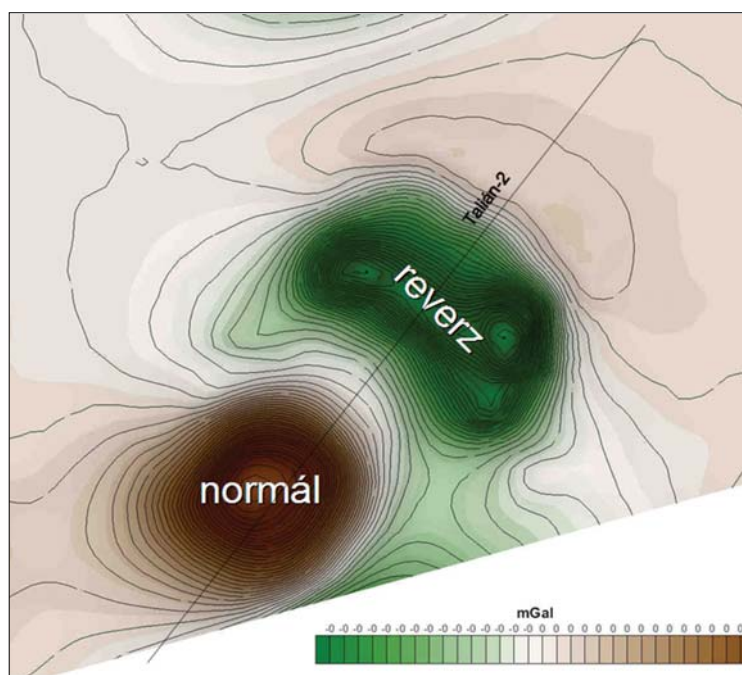
Pszeudogravitációs maximumot kaptunk ott, ahol a ható normál mágnesezettségű, de ahol a pszeudogravitációs anomália minimumot mutat, ott a mágnesezettségi irány ellentétes, ami reverz mágnesezettségű hatóra utal. A transzformáció során csak egy mágnesezettségi irányt lehet figye-

lembe venni, így csak az egyik ható esetében lehet „pontosan” beállítani a transzformációs paramétereket.

A Balatonfelvidéken elvégzett paleomágneses mérések (Márton, Szalay 1967, Dagley, Ade-Hall 1970, Márton 1985, Márton, Márton 1989) is kétféle, normál és reverz remanens mágnesezettséget határoztak meg a bazaltok esetében. A mérésekből kirajzolódó paleomágneses pólusok a jelenlegi földrajzi pólus körül helyezkednek el, és attól csak néhány mintavételi hely esetében térnek el.

A Königsberger-arány a pannon bazaltok esetében  $Q = 3 \pm 9$  körüli (Takács 1976), tehát a remanens mágnesezettség felülírja az indukált mágnesezettséget, azaz az eredő mágnesezettség paramétereit a remanens mágnesezettség határozza meg. A fiatal magmás képződményekre jellemző a nagy Königsberger-arány, a kőzetek korával a  $Q$  értéke csökken. A paleomágneses mérések során meghatározott deklináció középértéke egy normálhoz közeli  $D_1 = 8 \pm 15^\circ$ , illetve egy reverz, ennek ellentétes  $D_2 = 150 \pm 220^\circ$  irányt mutat. Az inklináció mért középértéke  $I_1 = 50 \pm 65^\circ$  (gyakorlatilag az indukáló térrel azonos irányú), illetve annak az ellentéte  $I_2 = -44 \pm -75^\circ$  (Márton, M. Szalay 1967, Dagley, Ade-Hall 1970, Márton 1985, Márton, Márton 1989). Ezek az értékek tehát egy normál (indukáló térrel azonos irányú) és egy reverz (indukáló térrel ellentétes irányú) remanens mágnesezettségű földtani időszakra utalnak. A kapott paleomágneses eredmények (a mintázás nagy száma – mintegy 315 db – miatt) a balatonfelvidéki bazaltokra általánosan jellemzőek lehetnek (3. táblázat).

A különböző mágnesezettségű bazaltok sávos elhelyezkedést mutatnak, a normál mágnesezettségi irányt mutatók Vidornyaszőllőst és Tihanyt összekötő, K–Ny-i zónában azonosíthatók, míg a reverz irányúak Szigliget és a Kab-

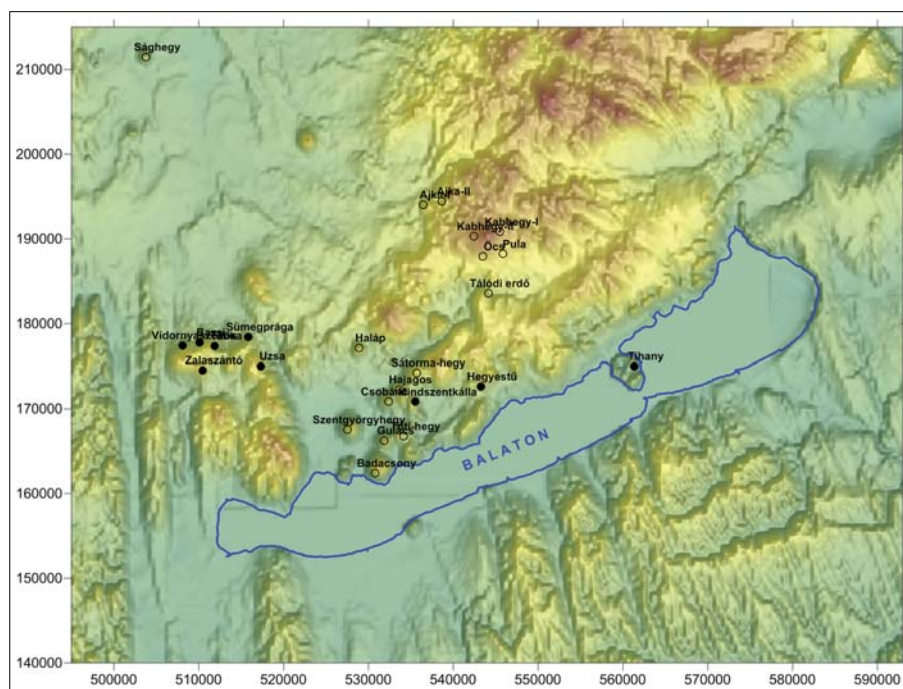


9. ábra | A bazaltok feletti pszeudogravitációs maximum (barna) és minimum (zöld), valamint a Talián-2 szelvény nyomvonala  
Figure 9 | Pseudo-gravity maximum (brown) and minimum (green) and the location of Talián-2 profile



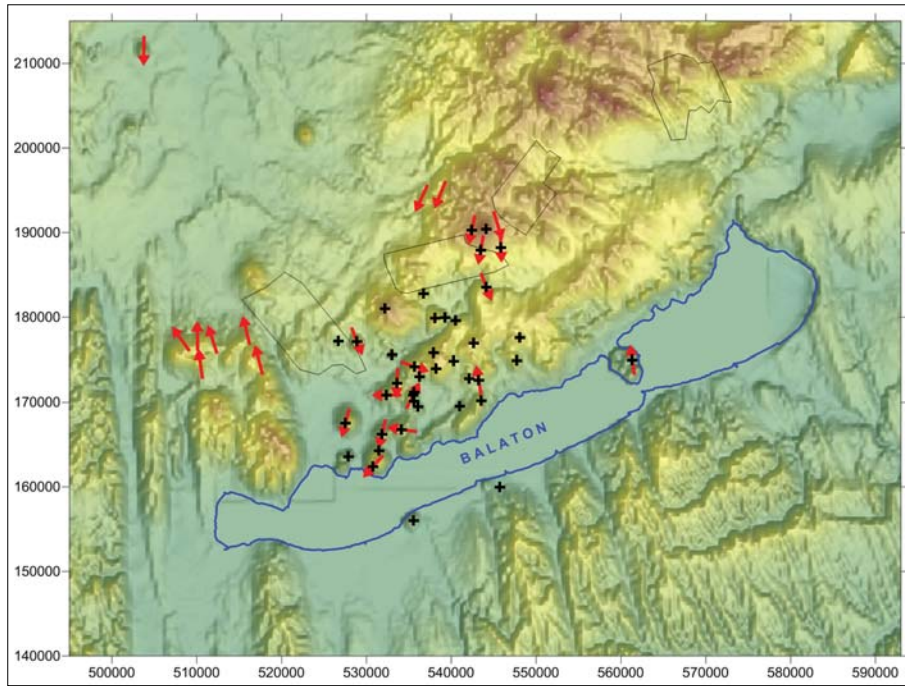
**3. táblázat** Paleomágneses mérési eredmények a Balatonfelvidéken, 315 minta (Márton E. 1985)  
**Table 3** Table of results of paleomagnetic measurements, 315 samples (Márton E. 1985)

EOV Y (m)	EOV X (m)	Azonosító	Név	Eredet	No.	D (közép)	I (közép)
527528	167549	1	Szentgyörgyhegy	kibúvás	32	165,10	-55,00
528881	177127	2	Haláp	kőfejtő	22	201,20	-53,40
531847	166271	3	Gulács	kőfejtő	19	166,15	-74,45
530779	162415	4	Badacsony	kőfejtő	15	137,95	-73,80
533593	172282	5	Hajagos	kőfejtő	40	177,35	-76,40
503755	211464	6	Ság-hegy	kibúvás	4	179,10	-72,90
545491	190831	7a	Kab-hegy-I	felső láva	2	196,80	-51,10
542407	190297	7b	Kab-hegy-II	alsó láva	27	167,47	-56,10
535704	174217	8	Sátorma-hegy	kibúvás	5	251,70	-33,60
544112	183573	9	Tálódi erdő	kibúvás	5	200,90	-47,50
534177	166784	10	Tóti-hegy	kőfejtő	8	81,10	-42,70
545847	188221	11	Pula	kibúvás	8	182,30	-41,90
543474	187924	12	Öcs	kibúvás	8	170,10	-59,50
536474	194035	13a	Ajka-I	kibúvás	9	155,10	-57,70
538669	194450	13b	Ajka-II	kibúvás	9	157,90	-41,90
535495	170830	15	Mindszentkál	tufa	5	333,50	63,00
561331	174992	16	Tihany	tufa	10	8,20	64,70
543224	172643	17	Hegyestű	kibúvás	5	9,80	65,40
517312	174992	18	Uzsa	kőfejtő	33	14,30	55,20
510431	174517	19	Zalaszántó	kibúvás	14	8,00	56,45
515829	178432	20	Sümeprága	kőfejtő	13	13,30	54,40
511854	177365	21	Tátika	kibúvás	5	17,60	68,60
510075	177780	22	Bazsi	kőfejtő	6	1,10	58,90
508117	177424	23	Vidornyaszőllős	kibúvás	7	35,60	53,30



**10. ábra** Paleomágneses mérések a Balatonfelvidék domborzati térképén (a normál mágnesesség fekete kitöltésű, reverz mágnesesség üres körrel jelölve)

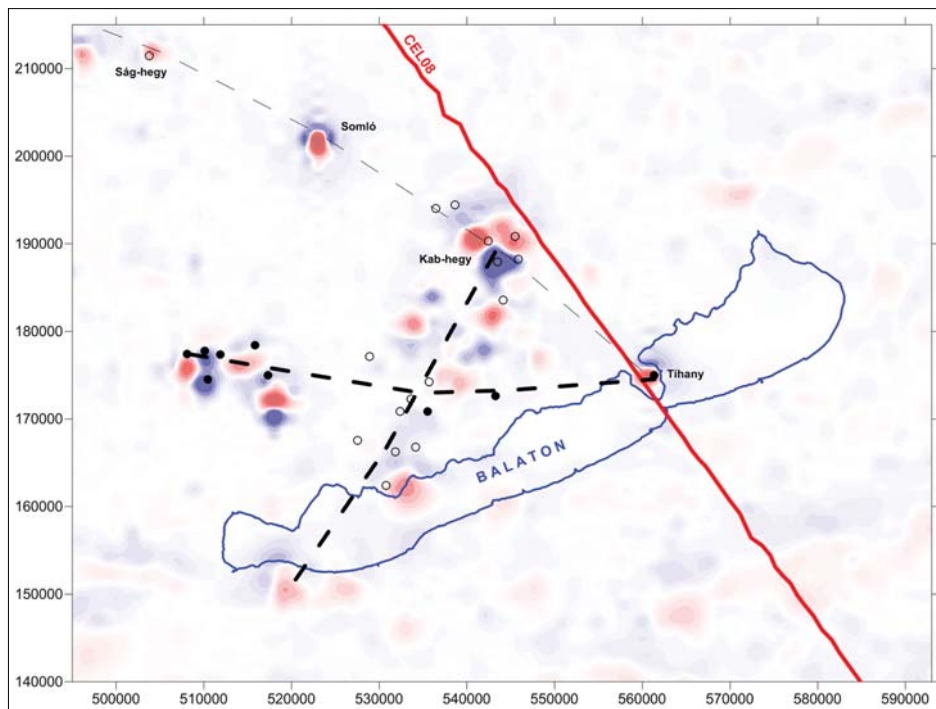
**Figure 10** Locations of paleomagnetic measurements on the Balaton Highland topographic map (sample of normal magnetization by black circle, sample of reverse magnetization by empty circle)



**11. ábra** A bazaltok alapján meghatározott paleomágneses pólus irányok (piros nyíl) és kormeghatározások (fekete kereszt) helye az árnyékolt domborzati térképen  
**Figure 11** Direction of paleomagnetic pole (by red arrows) and K/Ar age determinations of the basalt samples (black cross) are shown on the topographic map

hegy között egy DNy–ÉK-i sávban jellemzőek, kivéve az elkülönülő Ság hegyet (12. ábra). Sajnos nincs paleomágneses mérési eredmény a Somlóról, valamint a Szigliget és a Taliándörög környéki bazaltokról.

A 4. táblázat a balatonfelvidéki bazaltok korát mutatja a K/Ar-kormeghatározások alapján. A kor és a mágnesezettség valószínűleg szoros összefüggésben van, bár a paleomágneses és a K/Ar-vizsgálatok nem ugyanazokon a mintá-



**12. ábra** A felső 2 km-es mélység mágnesesanomália-térképe, normál és reverz paleomágneses minták helyével és a vulkanizmus, illetve a mágnesezettség típusa alapján feltételezhető szerkezeti zónákkal (fekete szaggatott vonalak), valamint a CEL08 szelvény nyomvonalával (piros vonal)  
**Figure 12** Magnetic anomaly map of the upper 2 km depth with locations of paleomagnetic sampling and some supposed structural zones based on magnetization (dashed black line) and the location of CEL08 profile

**4. táblázat** | K/Ar-kormeghatározások (millió év) a balatonfelvidéki bazaltokon (Balogh et al. 1982, Borsy et al. 1986; Balogh et al. 1986 után)  
**Table 4** | K/Ar age determinations of the basalts (My) of Balaton Highland area (after Balogh et al. 1982, Borsy et al. 1986)

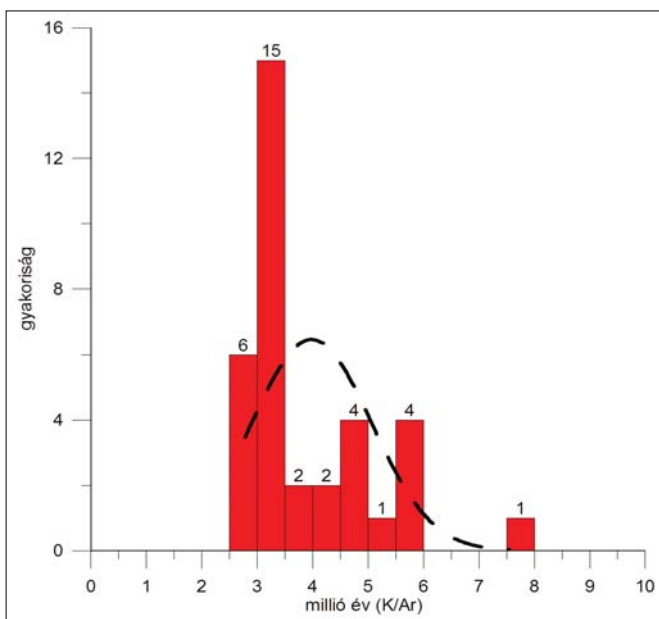
Lelőhely	x	y	K/Ar-kor	Lelőhely	x	y	K/Ar-kor
Badacsony	530779	162415	3,45	Pipa-hegy	535638	170167	3,50
Hármashegy	531488	164285	3,50	Harasztos-hegy (Kékkút)	536124	169500	3,50
Szentgyörgy-hegy	527528	167549	2,80	Kereki-domb	535655	171238	3,50
Gulács	531847	166271	3,47	Öreg-hegy (B.henye)	540285	174874	3,50
Haláp	528881	177127	2,94	Kishegyestű	540995	169552	3,50
Vendék-hegy	526701	177155	2,94	Kapocs	540558	179581	4,66
Fekete-hegy	538251	173993	2,78	Tálodi-erdő	544112	183573	4,65
Boncsos-tető	537952	175837	2,78	Pula	545847	188221	4,25
Bondoró-W	538087	179907	3,00	Kab-hegy	542407	190297	5,23
Hegyesd	533008	175566	3,08	Bondoró-E	539303	179930	5,54
Szigliget	527906	163588	3,40	Hegyesű	543224	172643	5,97
Fonyód	535595	156029	3,55	Kab-hegy (csúcs)	544116	190392	4,73
Boglár	545720	159977	3,50	Tóti-hegy	534177	166784	5,71
Agártető	532219	181039	3,44	Halom-hegy (Dörgicse)	548078	177610	5,69
Tagyon	547738	174950	3,26	Sátorma	535704	174217	4,53
Csobánc	532354	170852	3,50	Tihany	561331	174992	7,54
Hajagos	533593	172282	3,94	Taliándörög	536764	182791	4,50
Kopasz-hegy (Mindszentkál)	535495	170830	3,50				

kon történtek. A kérdés csak az, hogy a vulkáni működés során hány pólusátfordulás történt?

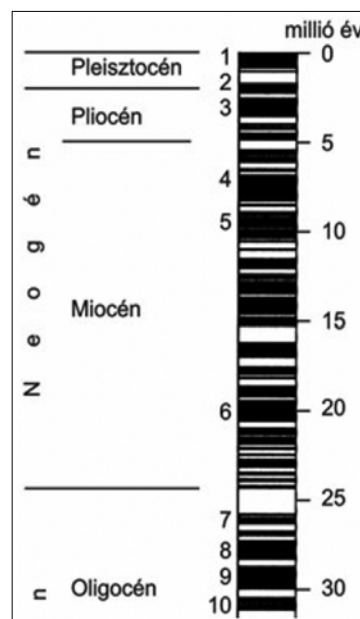
A 12. ábra a felső 2 km-es mélységtartomány mágneses-anomália-térképén mutatja, a normál (fekete pontok) és reverz polaritású minták (fekete karikák) lehetséges geometriai kapcsolatát (egy Ny–K irányú és egy DNy–ÉK irányú zóna).

A mágneses anomáliák alapján kijelölhetünk egy ÉNy–DK-i ívelt vonalat, amely mentén felfűzve megtalálhatjuk a Ság hegy, a Somló, a Kab-hegy és a Tihanyi-félsziget bazalt-előfordulásait.

Az ívelt Ság hegy – Tihany vonal és a CEL08 szelvény nyomvonalára hegyesszögben metszik egymást, ebből adód-



**13. ábra** | A bazaltok kora a Balatonfelvidéken a K/Ar-kormeghatározások hisztogramja (gyakorisági görbéje) alapján  
**Figure 13** | Histogram of the K/Ar age of basalts



**14. ábra** | Neogén paleomágneses időskála (Márton 2004)  
**Figure 14** | Neogene paleomagnetic timescale (Márton 2004)



hat, hogy a mágneses Naudy-megoldások a Kab-hegy mélybeli magmacsatornáját délebbre jelzik (6. ábra), mint ahogy a szeizmikus sebességek alapján látjuk. A magyarázat valószínűleg az, hogy ahol a szelvény nyomvonalához legközelebb van a mágneses ható, ott jelentkeznek a mélybeli Naudy-megoldások.

A szeizmikus hullámutak a robbantás és a geofonok közötti teret járók be, onnan gyűjtik az információkat. A többféle robbantási és észlelési (geofon-) pont miatt a Kab-hegy magmacsatornáját a szeizmikus mérések térbelileg pontosabban képezik le. A mágneses mérések esetében a minél közelebb van a mágneses ható, annál inkább domináns a hatása. Ebből következik, hogy a Naudy-megoldások nem a Kab-hegy geometriai közepét, hanem annak a CEL08 szelvényhez legközelebb eső DK-i részét képezik le, ami szabad szemmel a szelvény anomália görbéjén szinte nem is látszik (6. ábra), ám a mélybeli Naudy-megoldások mégis jelzik.

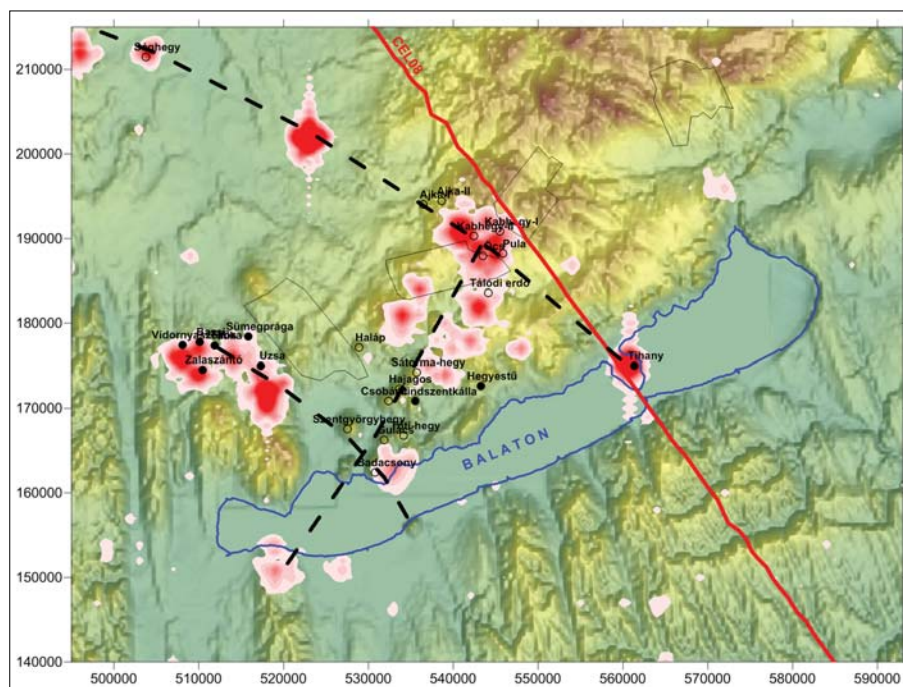
A bazaltok kora a legidősebb 7,54 millió éves tihanyi előfordulástól a 2,78 millió éves fekete-hegyi, boncsos-tetői bazaltokig terjed. Ez alatt a közel 5 millió év alatt (2,78–7,54 Mév) azonban kb. 5 pólusátfordulás történt (14. ábra), így a normál és a reverz mágnesezettség kapcsolata a földtani idővel nem párhuzamosítható egyértelműen. Ez számunkra azt jelenti, hogy a korábban feltételezett K–Ny-i irány nem bizonyítható, s ezért a Vidornyaszőlős–Tihany vonal helyett például a Vidornyaszőlős–Szigliget vonal a valószínűbb, amely viszont párhuzamos a Ság hegy – Tihany vonallal. Ez egy erősebb szerkezeti kapcsolatot jelenthet, mivel ez a TESZ (Trans-European Suture Zone) vonalával párhuzamos irány.

A Ság hegy és a Somló K/Ar-kormeghatározása nincs meg, így a paleomágneses irányok és a kor nem kapcsolhatók össze. A szerkezeti kapcsolat azonban nagy valószínűséggel megvan, de nem a mágnesezettség jellege alapján, hanem sokkal inkább a testek elhelyezkedése és a mágnesestérgradiens-anomáliák alapján (15. ábra).

A 15. ábra mutatja a mágneses anomáliák helyét (térgradiens-maximumok a földi mérési adatokból), a légi geofizikai mérések területét (fekete kontúrok) az árnyékolt domborzati térképen. Látható a Kab-hegytől DNy-ra található légi mérési terület, amelynek a DNy-i csúcskében a Taliándörögdi mágneses hatók is azonosíthatók még a ritka ponttávolságú földi mágneses felmérések térgradiensei alapján is.

Mindenesetre Taliándörögden, a légi mágneses mérések területén a DNy-i ható normál, az ÉK-i ható pedig reverz mágnesezettségű. A bazaltok azonos gyökérvonából származhatnak, de nem azonos időben törtek ki, mert ellentétes mágnesezettséget mutatnak, amire a pszeudogravitációs transzformáció eredményéből következtethetünk, s amit a paleomágneses mérésekből megismert normál és reverz mágnesezettségi irányok is megerősítenek. A paleomágneses időskála alapján, a többszöri pólusváltás miatt pedig normál vagy reverz mágnesezettség alapján a kor besorolása nem megbízható.

A mágneses hatóperem-kijelölést (16. ábra) az eltérő pólusközeli remanens mágnesezettségi irányok nem befolyásolták. Ha az eredő mágnesezettséget a pólustól eltérő irányú remanens mágnesezettség okozná, akkor pontatlan eredményt kapnánk, így viszont a hatókijelölés megbízható

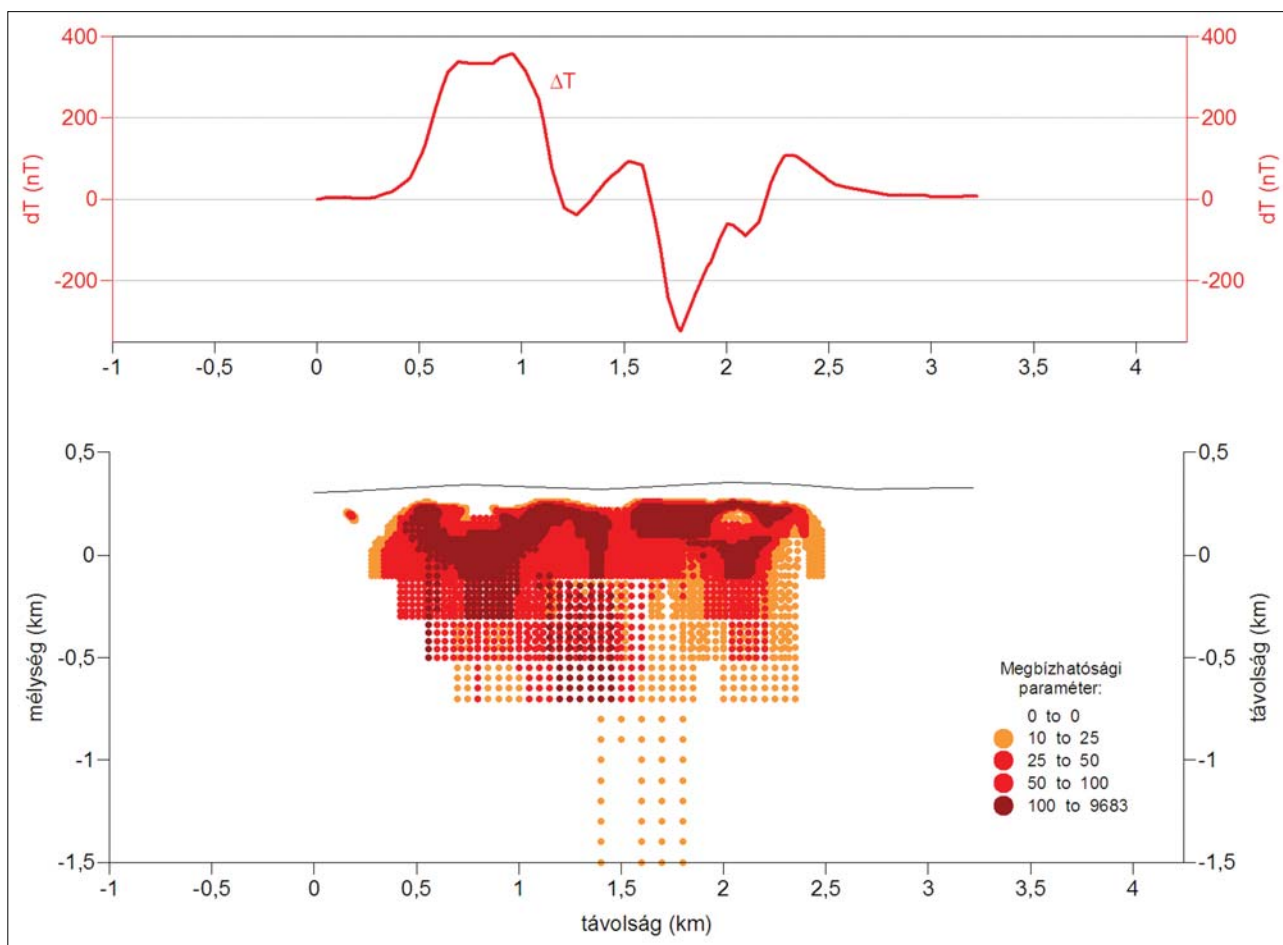


**15. ábra** Paleomágneses mintavételi helyek, mágnesestérgradiens-maximumok, feltételezhető szerkezeti zónák a domborzati térképen (jelezve van még a CEL08 litoszférakutató szelvény nyomvonala és a légi geofizikai mérések kontúrjai)

**Figure 15** Topographic map of Balaton Highland with the locations of paleomagnetic samplings and those of the structural lines (dashed lines) based on magnetic analytical signal maximums (white–red). The location of CEL08 lithosphere exploration profile and the areas of airborne geophysical measurements are also indicated



**16. ábra** | Mágneses hatóperemek és a Talián-2 szelvény nyomvonala (Taliándörög)  
**Figure 16** | Results of magnetic boundary detection and the location of Talián-2 profile (Taliándörög)



**17. ábra** | Naudy-dekonvolúció eredménye: pannóniai bazaltok helyzete a Talián-2 szelvény mentén  
**Figure 17** | Results of Naudy-deconvolution: the location of Pannonian basalts along the Talián-2 profile



(lásd 7. ábra). A hatóperemek alapján megismert vízszintes elterjedés mellett, a mélységi elhelyezkedést is meg tudjuk becslélni a Talián-2 szelvény mentén elvégzett Naudy-dekonvolúció segítségével. Különböző mintavételi távolság és szűrőméret alkalmazásával az automatikus feldolgozási eljárás a bázisos bazaltképződmények várható mélységi elhelyezkedését adják meg (17. ábra). A Naudy-feldolgozások alapján a bazaltok feláramlási csatornája is részben kirajzolódik a szelvény mentén 0,8 és 2,1 szelvénykilométernél, 0–250 m tengerszint alatti mélységben. A két feláramlási csatornának azonos lehet a gyökere (kb. a 1,6 szelvénykilométernél), de ezt már csak sejtetik a feldolgozások. Egy hosszabb szelvény kiválasztásával a közös szakasz is jobban tanulmányozható lenne, de a légi mérések által lefedett terület mérete korlátozza a lehetőségeinket. A légi mérések területén kívül már csak egy sokkal ritkább adatrendszer áll rendelkezésre, amelyet nem lehet összevetni a kb. 25 m-es mintavételű légi geofizikai adatokkal.

### Örkényi-árok – nagytektonika és árokvulkanizmus

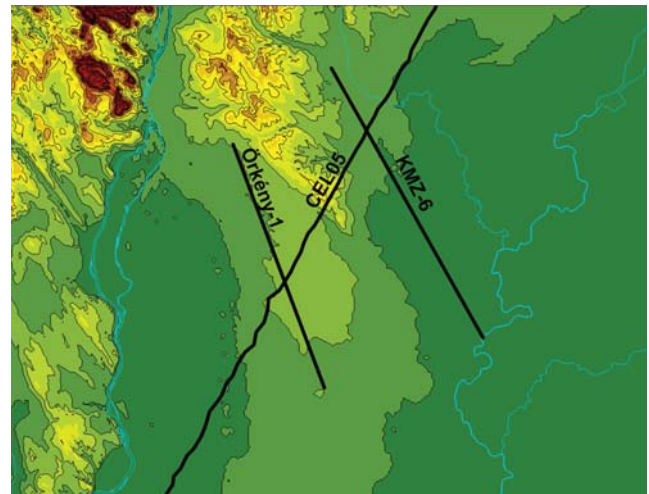
Az Örkény-1 szelvényt (18. ábra) az 500 000-es prekainozoos földtani térkép (Haas et al. 2010) szerkesztési folyamata során elemeztük. A Közép-magyarországi zóna mentén, az Örkényi-árok felett jelentős gravitációs és mágneses anomáliák találhatók (19. ábra). Ezt több szelvény mentén vizsgáltuk már (18. ábra). A CEL05 litoszférakutató szelvény, a CELEBRATION-2000 projekt egyik alapszelvénye, amelyen 2012-ben végeztünk erőter-geofizikai feldolgozásokat (Kiss et al. 2012). A KMZ-6 szelvényt 2014-ben vizsgáltuk, a dunántúli Közép-magyarországi zóna K-i folytatásaként.

Félrevezető lehet, ha az Örkény-1 szelvény mentén néhány medencealjzatot ért mélyfúrás alapján próbáljuk megrajzolni a prekainozoos aljzatot (20. ábra). A nagy gravitációs minimum területén nincsen aljzatomlyságra vonatkozó adatunk, mivel a fúrások miocén vulkanitokban megálltak.

Ezen a területen a további értelmezéshez csak geofizikai adatok állnak rendelkezésre, ezeket kell felhasználni. A vulkanitok teteje erős reflektáló felületként jelentkezik, és ez alatt szeizmikusan néma zóna van, ami megnehezíti/lehetetlenné teszi a medencealjzat felszínének szeizmikus detektálását.

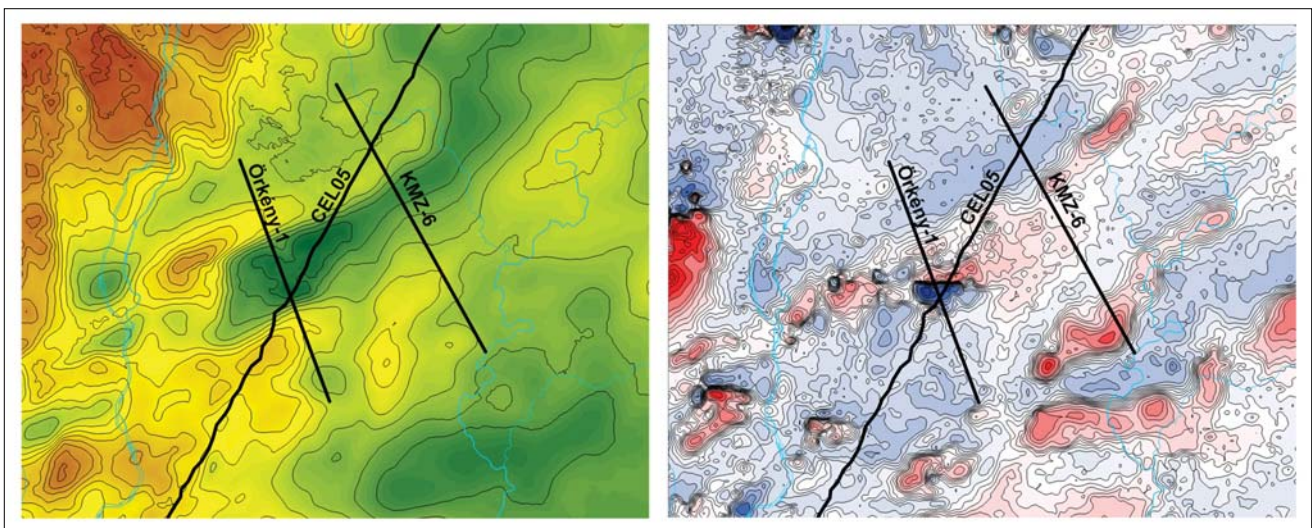
Kilényi és Šefara 1991-ben a pretercier (prekainozoos) medencealjzatot ábrázoló mélységtérképük elkészítésekor figyelembe vették a gravitációs minimumot, s ennek megfelelően az Örkényi-árkot 5-6 km mélységűnek adták meg (21. ábra, alul). A gravitációs mérések alapján a szelvény mentén jelentős gravitációs minimum van (21. ábra, felül). A minimum értelmezésére több lehetőség is adódik:

- laza üledékekkel feltöltött árok,
- vulkano-tektonikai árok vulkáni törmelékkel, tufával,
- mély nyírási (fellazulási) zóna.



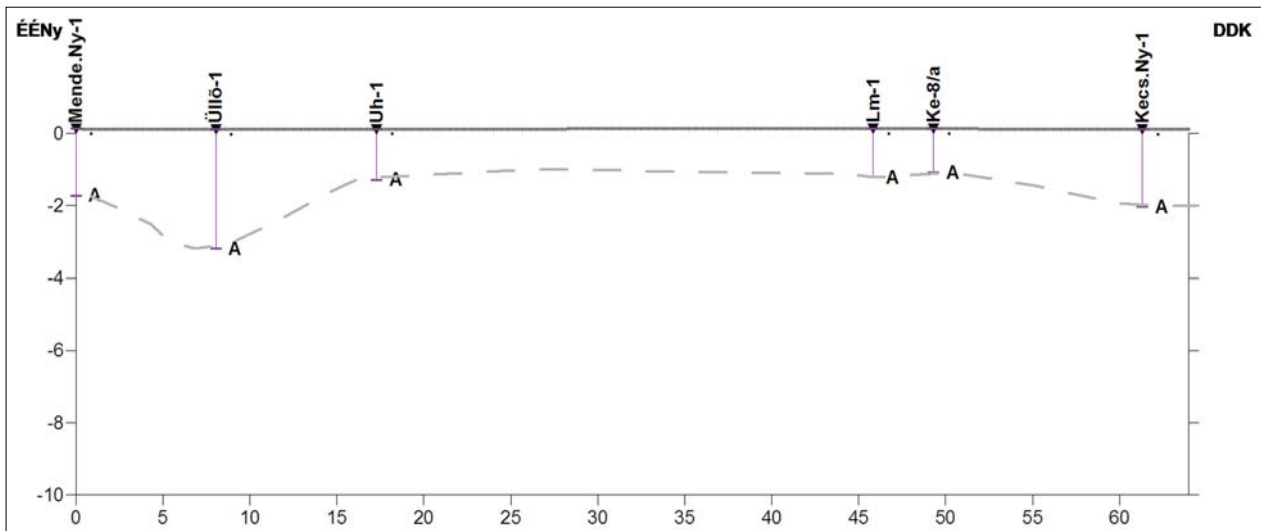
18. ábra | Az Örkény-1 szelvény helyzete a Duna-Tisza közén, a domborzati térképen

Figure 18 | Location of Örkény-1 profile on the topographic map between the Danube and Tisza rivers



19. ábra | Az Örkényi-árok környezetének Bouguer- és mágneses anomália-térképe

Figure 19 | Bouguer and magnetic anomaly maps of the Örkény Graben region



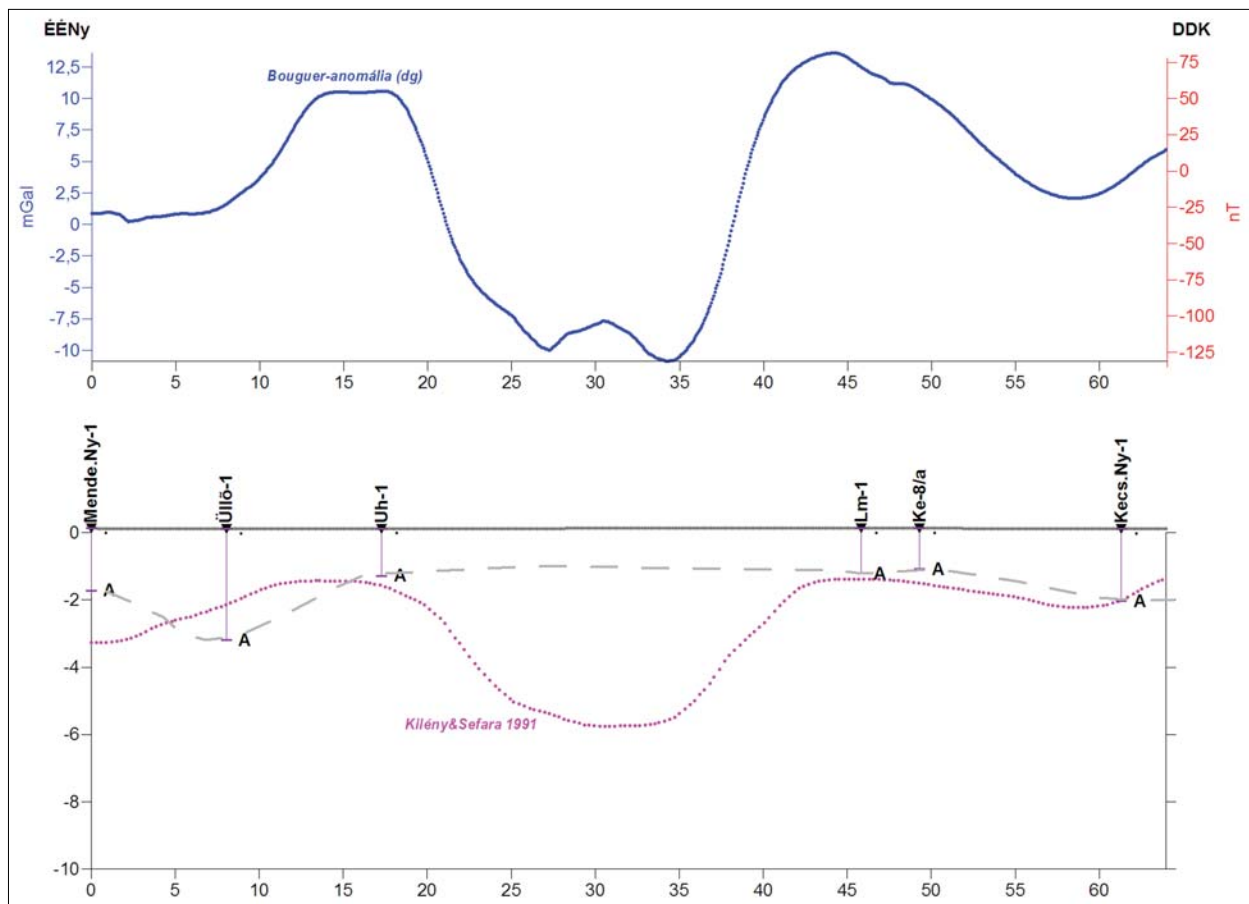
**20. ábra** | A kevés, mélyfúrások által harántolt medencealjazat-mélységadat (A-val jelölve) félrevezető lehet  
**Figure 20** | Insufficient data of the depth of Cenozoic basement might be misleading

Érdeemes tovább vizsgálni, mivel:

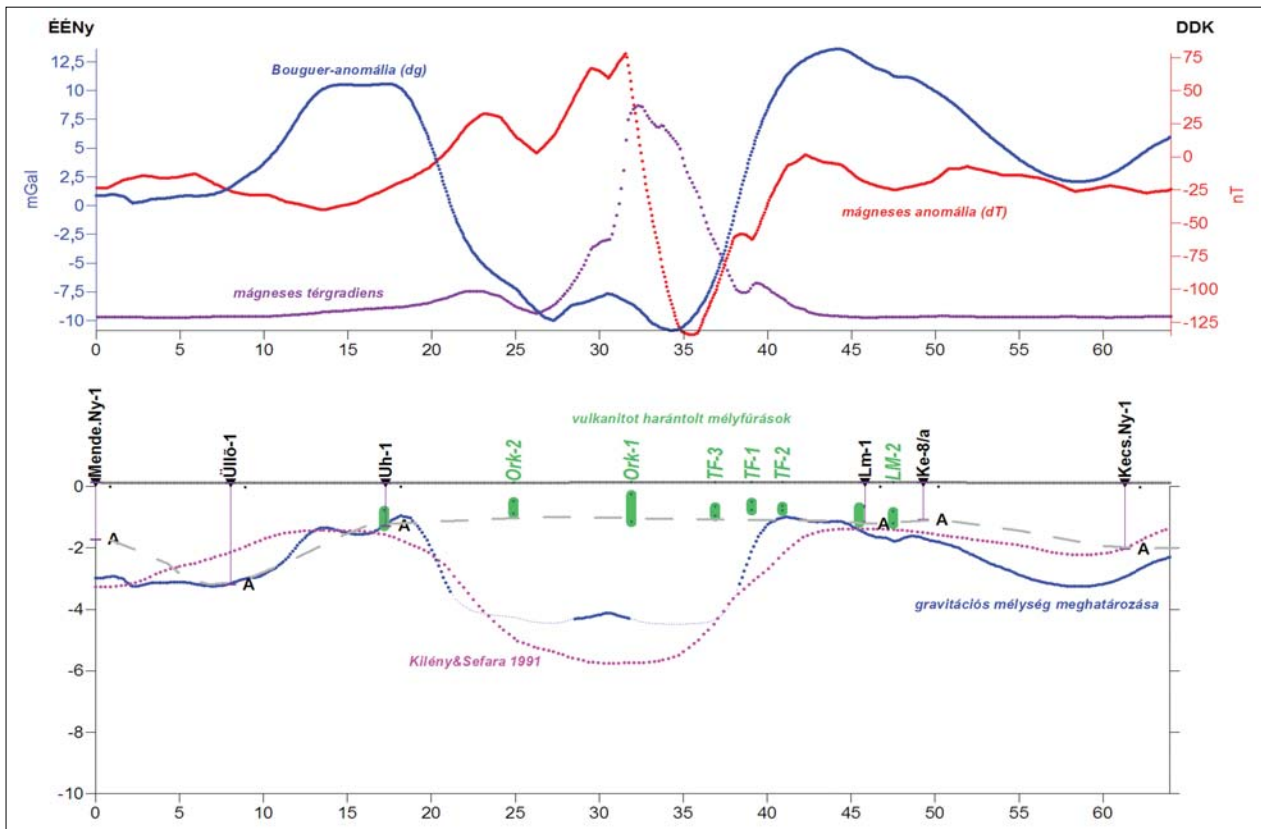
- Több örkényi, táborfalvai fúrásban is miocén tufa- és lávaképződményeket harántoltak (amelyben a fúrások le is álltak és nem mélyítették tovább azokat, 22. ábra).

- Nem meglepő módon erős mágneses anomáliát is találunk a szerkezet felett (22. ábra).

A mágnesestérgradiens-anomália mutatja a ható legvalószínűbb helyét a szelvény mentén. A szelvény nyomvonala

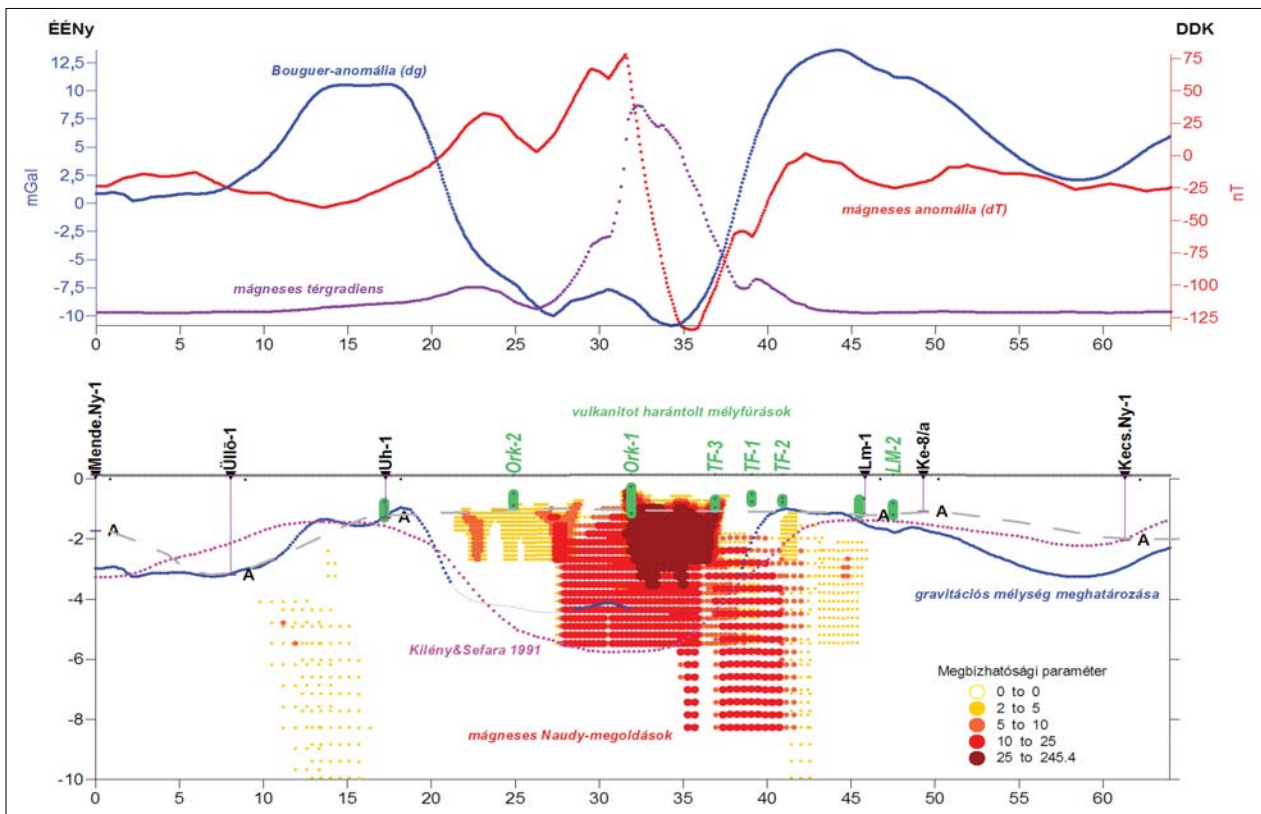


**21. ábra** | Gravitációs Bouguer-anomália (felül) és a medencealjazat lefutása Kilényi és Šefara (1991) alapján (alul)  
**Figure 21** | Gravity Bouguer anomaly (above) and the depth of the basement (below), after Kilényi and Šefara (1991)



22. ábra | Bouguer-, mágneses és térgradiens-anomália (felül), vulkanitos mélyfúrások (zöld) és inverziós mélység (kék, alul)

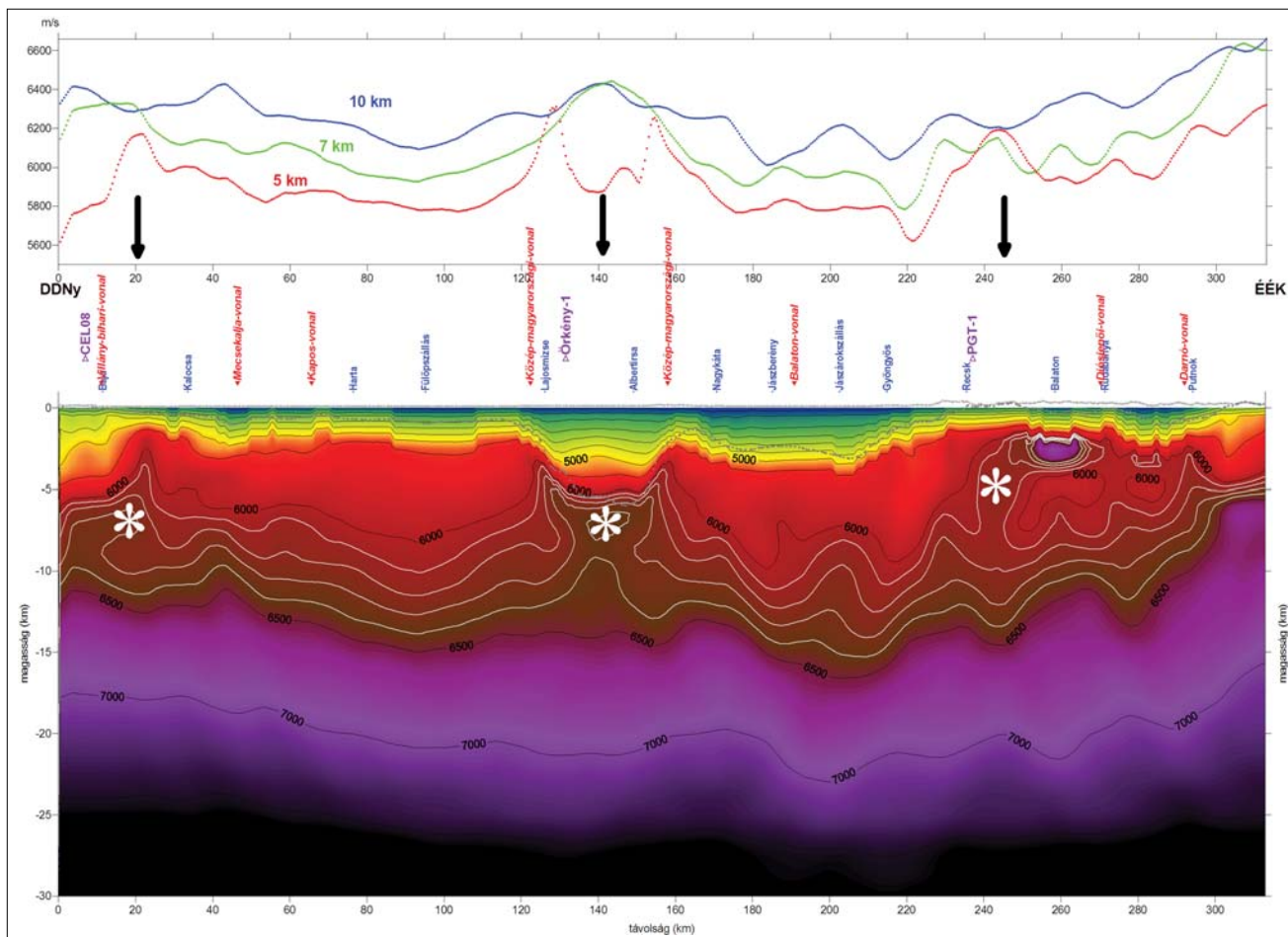
Figure 22 | Bouguer and magnetic anomaly curves, as well as an analytical signal curve above, depth from gravity inversion and from well data (blue and green) below



23. ábra | Mágneses Naudy-féle megoldások szűrve a megbízhatósági paraméterek alapján

Figure 23 | Magnetic Naudy solutions ranking by reliability parameters along Talián-2 profile





24. ábra | CEL05 szeizmikus sebességszelvény  
 Figure 24 | CEL05 seismic velocity profile

mentén elvégzett Naudy-dekonvolúció megoldásai körvonalazzák a mágneses ható mélységi helyzetét (23. ábra). A Naudy-megoldások nagy vastagságú, mágneses hatót jeleznek, ami a fúrások alapján andezites láva, illetve piroklasztikum lehet.

A feldolgozások alapján az Örkényi-árok egy 4-5 km mély, tektonikus eredetű (nagyszerkezeti) árok, amely mentén a középső miocénben árokvulkanizmus hatására jelentős mennyiségű vulkáni törmelékkes összlet és kisebb mennyiségben bázisos lávaanyag halmozódott fel, amely a mélyfúrások alapján néhány száz métertől jelen van, de a mágneses megoldások alapján csak kb. 1 km-től alkot összefüggő testet. Az árkot a CEL05 szeizmikus, refrakciós tomografikus sebességszelvény (24. ábra) alapján is vizsgáltuk, mivel a szelvény keresztelte az árkot, az Örkény-1 szelvény nyomvonala mentén (18., 19. ábra). A szelvény mentén nagy sebességű zónákat lehet kimutatni 20, 140 és 245 km-nél (csillagokkal jelölve, 24. ábra). Az első a Mecsekaljajonál, a második az örkényi szerkezet és az utolsó a Reck-től kezdődő érces vonulatot (Reck, Rudabánya, Torna-szentandrás) jelzi.

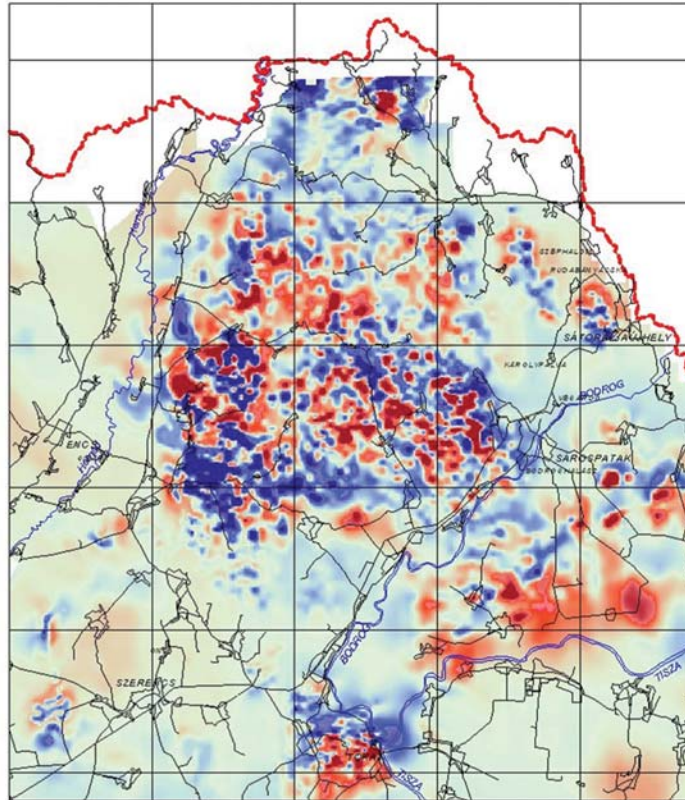
A sebességeloszlás-szelvény felett az 5, 7 és 10 km-es mélységekhez tartozó sebességértékek vannak grafikonon megjelenítve. Látszik, hogy az Örkényi-árok 5 km mély-

ségben a peremek (kontakt zóna) mentén ad sebességmaximumot, majd 10 km-nél már egy egységes központi zóna rajzolódik ki (24. ábra). Ez a nagy sebességű központi zóna lehet a miocén vulkanizmust tápláló bázisos alsó kéreg vagy köpeny eredetű anyagok felemelkedési/átalakulási zónája.

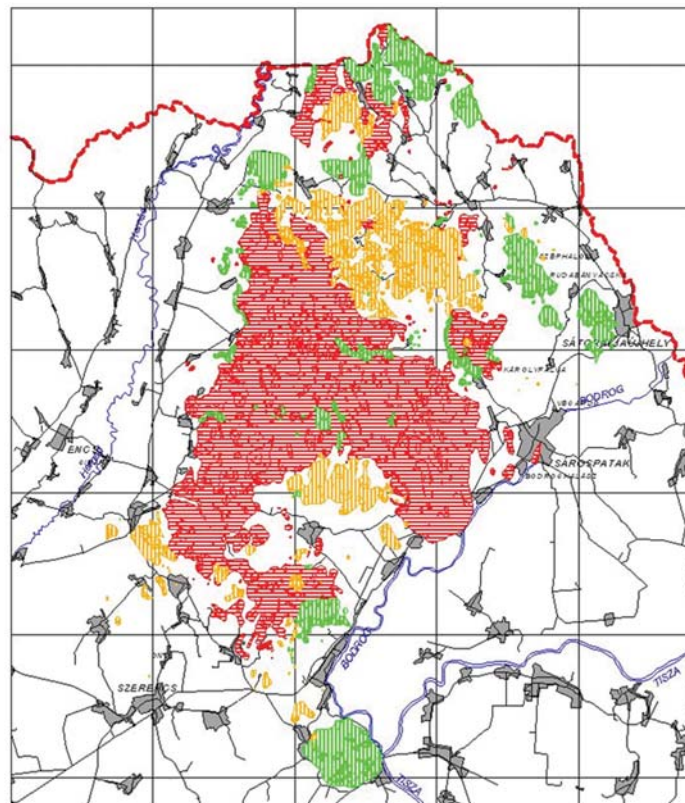
#### Tokaji-hegység – paleovulkáni rekonstrukció

Az 50-es években légi mágneses méréseket végeztek Magyarország középhegységi zónájában, többek közt a Tokaji-hegység területén is, aminek eredménytérképe (25. ábra) a mai napig hasznos információkat ad egy bonyolult, kürtösoros rétegvulkáni felépítésű hegységről. A földtani térképezésnek köszönhetően a Tokaji-hegységben a vulkáni eredetű kőzetek (andezitek, riolitok és a piroxéndácitok) felszíni elterjedése viszonylag jól ismert (26. ábra), amit érdemes összevetni a mágneses adatokkal.

A mágnesesanomália-térkép mozaik anomáliái még gyakorlott szemmel is nehezen értelmezhetőek, ezért további adatfeldolgozásra, transzformációra van szükség, hogy az interpretációhoz használható anomália térképet kapjunk. A különböző irányderiváltakból számított mágneses térgradiens (27. ábra) azonban már alkalmas az összevetésre,

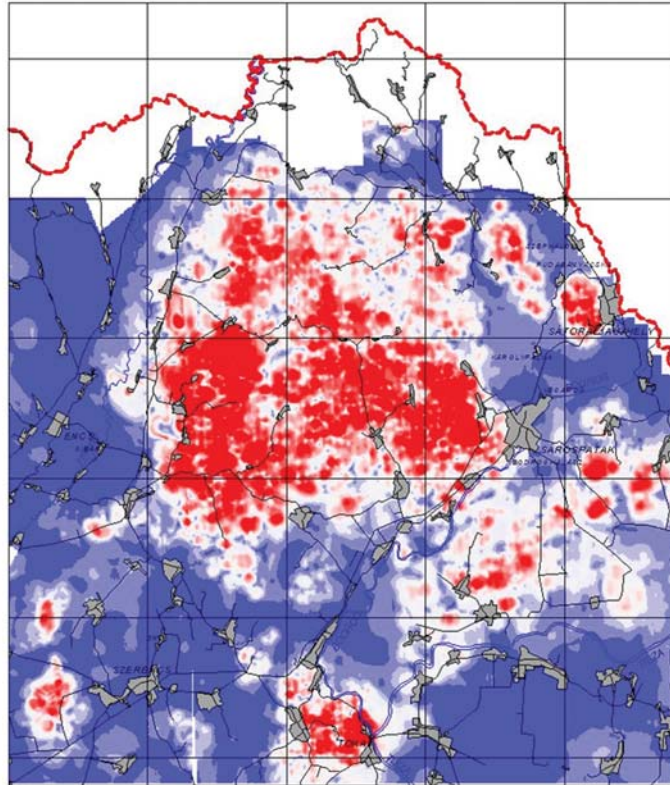


**25. ábra** | Légi mágneses,  $\Delta T$ -anomália-térkép a Tokaji-hegység területén  
**Figure 25** | Airborne magnetic  $\Delta T$  anomaly map of Tokaj Mountains



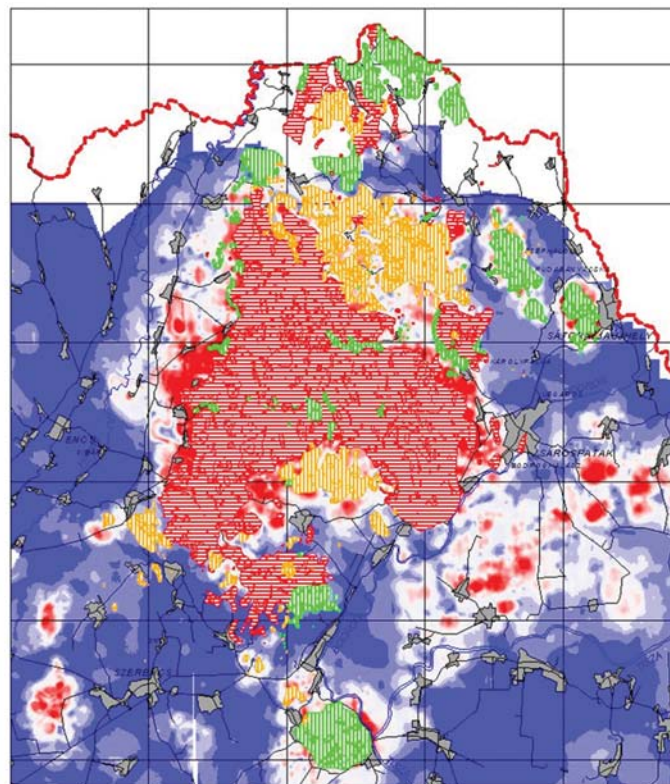
**26. ábra** | Andezitek (piros), piroxéndácitok (zöld) és riolitok (sárga) elterjedése a Tokaji-hegység területén  
**Figure 26** | Andesite (red), pyroxendacite (green) and rhyolite (yellow) formations in the Tokaj Mountains





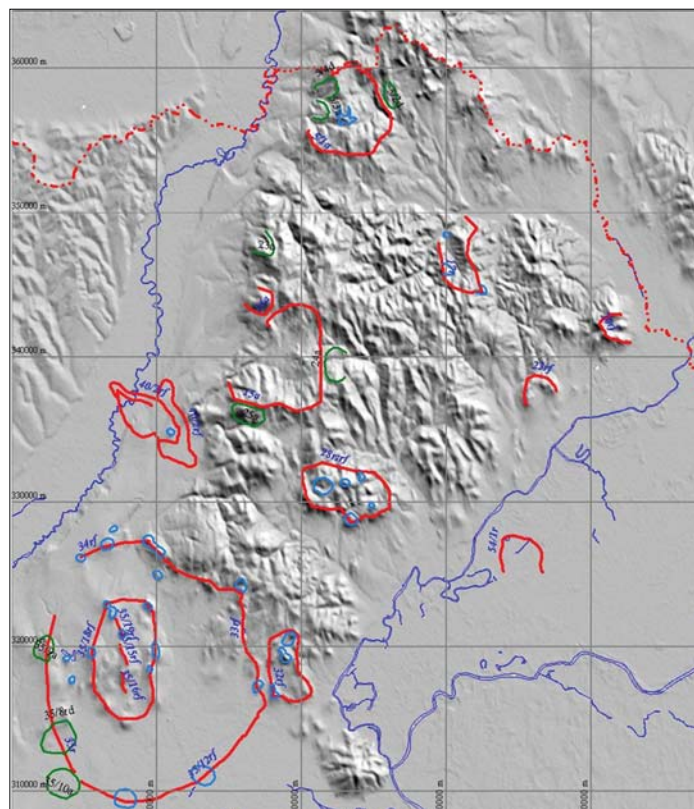
**27. ábra** | Mágnesestérgradiens-térkép a Tokaji-hegység területén. Az andezitek adják a legerősebb mágneses anomáliákat (piros szín). A piroxéndácit hatása is jelentős (piros és fehér átmeneti színek). A riolitok (átmeneti fehér szín) még elűtnek mágneses hatásukkal a nem mágneses (kék színek) környezettől, de jelentős anomáliát már nem okoznak

**Figure 27** | Magnetic analytical signal map of the Tokaj Mountains



**28. ábra** | Mágnesestérgradiens-térkép s rajta a felszínről ismert vulkanitelterjedés (jelmagyarázat: 27. ábra)

**Figure 28** | Analytical signal map and the location of different volcanic formations



**29. ábra** | Vélt vulkáni kalderaszerkezetek a komplex értelmezés alapján az árnyékolt domborzati térképen (Zelenka et al. 2012)  
**Figure 29** | Interpreted volcanic caldera structures based on complex interpretation on the shaded topography map (Zelenka et al. 2012)

mert jól mutatja, hogy hol vannak a legerősebben mágneses képződmények. A mágnesestérgradiens-térkép alapján térképezni lehet ezeket a felszínközeli különböző vulkáni, szubvulkáni képződményeket.

Legerősebb mágneses hatása a tokaji-hegységi kőzetek közül az andeziteknek van, utána a dácitok következnek magas piroxén tartalmuknak köszönhetően. A riolitok gyengén mágnesesek, s ahol ezek a savanyú vulkanitok a felszínen nagy vastagságban jelen vannak, ott csak gyenge mágneses anomáliát tapasztalunk. Sokszor nem is a riolitok hatása ez, hanem sokkal inkább az alattuk elhelyezkedő bázisos képződményeknek a gyenge háttér hatása. Néhány érdekes szerkezet, vulkano-tektonikai elem rögtön azonosítható a térgradiens-térkép (27. ábra) alapján: több kalderaszerkezet (29. ábra), a Bodrog-vonal (árokvolkanizmus?), vulkano-tektonikai vonalak a hegység területén, amelyeket 2012-ben részletesen tanulmányoztunk Zelenka Tibor vezetésével (Zelenka et al. 2012).

A mágneses adatok alapján a bázisos-intermedier vulkanitok térképezése a vulkanitoknál fiatalabb üledékekkel lefedett területen is jó eséllyel elvégezhető.

### Telkibánya (paleovulkáni rekonstrukció)

#### Mágneses adatok, feldolgozások

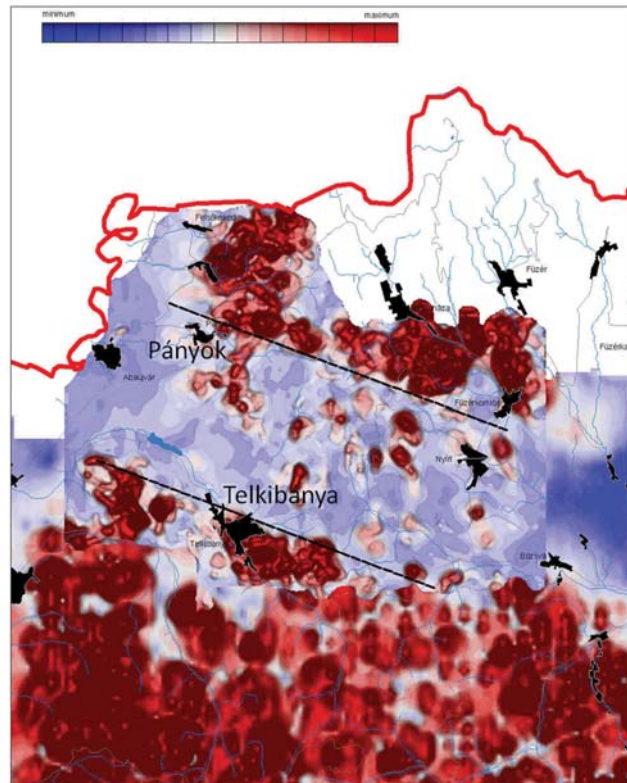
Különböző felbontású, minőségű mágneses adatok állnak rendelkezésre Telkibánya területéről:

Mágneses  $\Delta Z$  adatok: országos földi felmérés 50-es évek (ponttávolság: 1500 m).

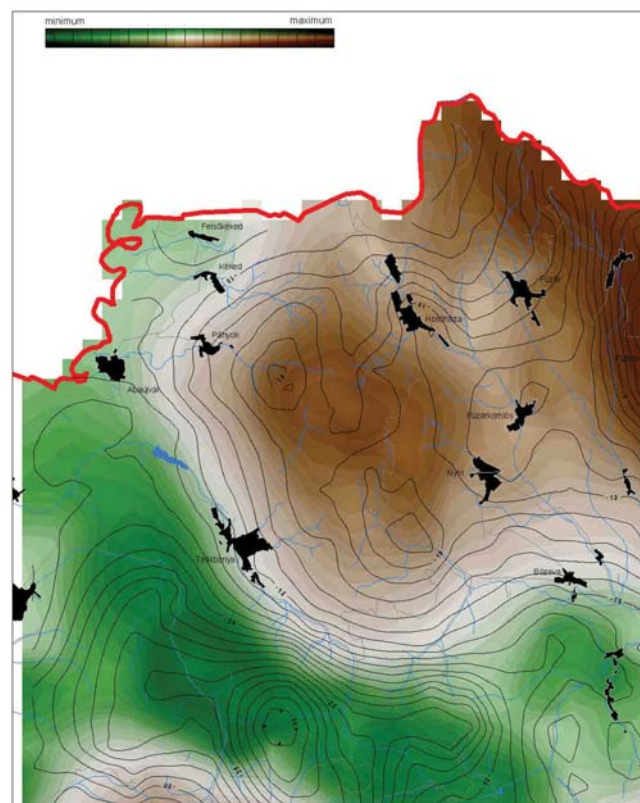
Mágneses  $\Delta T$  adatok: légi felmérés 1967 (ponttávolság: 250 m),  
 légi felmérés 1997 (ponttávolság: 30 m).

Mágneses térképek a földtani képződmények mágneses tulajdonságainak térbeli eloszlásáról adnak információt. A mágneses térgradiens (analitikus jel) számításával a nagy gradiensű, felszínközeli mágneses hatók hatását emeljük ki (30. ábra). A vulkáni képződmények mágneses hatásuk alapján – leegyszerűsítve – riolitos és andezites összetételűre különíthetők el (lásd a Tokaji-hegységi esettanulmányt fentebb). A mágnesestérgradiens-térkép alapján két, ÉNy–DK-i irányú választóvonal rajzolódik ki Pányokon és Telkibányán keresztül, amely vulkanológiai szempontból a savanyúbb riolitos vagy átalakult, gyengén mágneses vulkáni képződményeket és a bázikusabb, andezites vulkanitokat választja el egymástól. A Telkibánya környéki ércesedés K-metaszomatózis hatására alakult ki (Zelenka 1994). Ez az átalakulás azonban felszínközeli a sötét elegyrészeket (ferromágneses anyagokat) is átalakította, feltehetően ezért a telkibányai kaldera a mágnesestérgradiens-térképen nem azonosítható. A terület É-i részét a határzóna feletti repülési tilalom miatt nem lehetett légi mágneses mérésekkel lefedni, így a légi mágneses mérések hiányosak, s vizsgálatokhoz más geofizikai mérést, illetve fizikai paramétert kellett választani. Ilyen





**30. ábra** | Egyesített mágnesestérgradiens-térkép az 1967-es és az 1997-es légi mérésekből  
**Figure 30** | Analytical signal map derived from the merged magnetic anomaly maps of the 1967 and 1997 airborne measurements



**31. ábra** | Bouguer-anomáliatérkép a telkibányai területről 2,0 (színek) és 2,67 (izovonalak)  $\text{g}/\text{cm}^3$  korrekciós sűrűséggel számolva  
**Figure 31** | Bouguer anomaly map, Telkibánya area calculated by 2,0 (for colours) and 2,67 (for isolines)  $\text{g}/\text{cm}^3$  reduction density



geofizikai adat lehet például a területet lefedő gravitációs mérések eredménye.

A különböző korrekciós sűrűségekkel kiszámolt Bouguer-anomáliaértékek nagyfokú eltérése (31. ábra) jelezte, hogy a behatolási mélységig jelentős sűrűséginhomogenitások vannak. Egy vulkáni területen ez a láva-tufa elterjedéséből vagy másodlagos kőzettani átalakulásokból adódóan alakulhat ki. Számunkra mindkét eset érdekes, az első vulkanológiai, a másik ércutatási szempontból.

### Gravitációs adatok és feldolgozásuk

Az általános tömegvonzási erő képlete a tömeg (térfogat és sűrűség) és a távolság szerepét a gravitációs anomáliák esetén pontosan leírja. A tömegvonzási erő a tömeg- (térfogat és sűrűség-) változással egyenesen, a távolság négyzetével viszont fordítottan arányos. Ez az utóbbi az amplitúdófaktor, azaz az anomáliák nagyságának változását írja le.

Különböző hullámhosszú gravitációs anomáliák különböző mélységű hatóktól származnak, ezek az anomáliák frekvenciaszűréssel elkülöníthetők. Az eljárást mélységi szeletelésnek (*depth slicing*) hívjuk. A szűrési lehetőségeket korlátozó tényezők:

- felülről a mintavételi távolság (nagy térfrekvencia, kis hullámhosszúságú jelek),
- alulról a terület mérete (kis térfrekvencia, nagy hullámhosszúságú jelek).

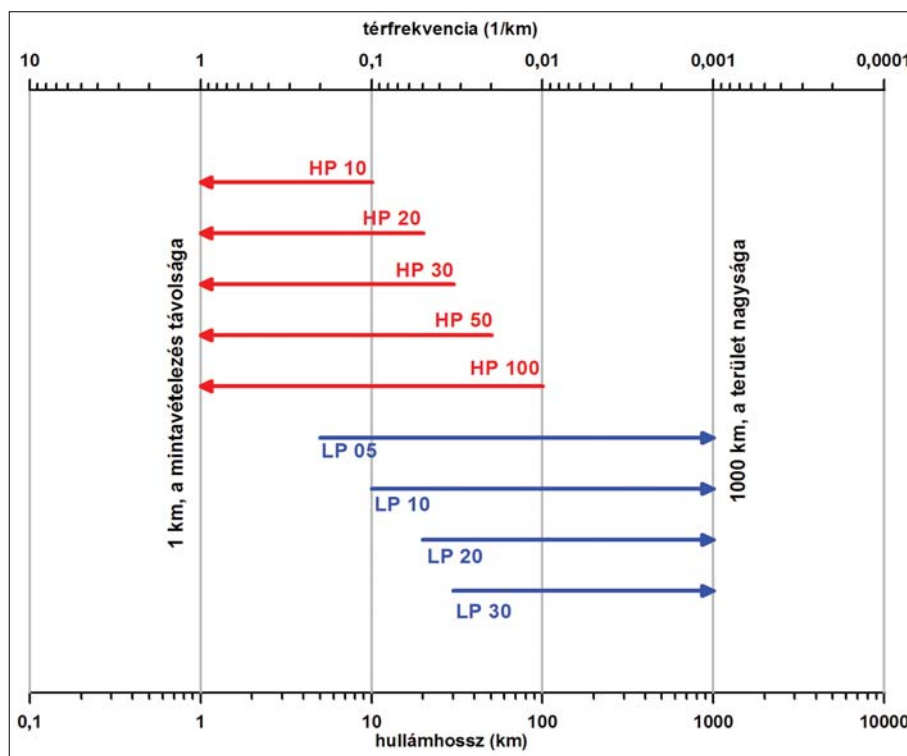
E korlátok közötti jeleket tudjuk a méréseinkkel azonosítani, de az anomáliatérben az ennél nagyobb/kisebb jeltartományok ettől függetlenül azért jelen vannak.

A 32. ábra a frekvenciaszűrés során az anomáliák át-eresztett (kiejtett) hullámhossz- (vagy térfrekvencia-) tartományait mutatja. A szűrések kódolása: LP – low pass (alul-áteresztő), HP – high pass (felül-áteresztő), a számok pedig, a vágási hullámhosszat adják meg, tehát pl. az LP20 szűrés a 20 km-nél nagyobb hullámhosszúságú anomáliákat hagyja meg, ugyanakkor a HP10 esetén csak a 10 km-nél kisebb hullámhosszúságú anomáliák maradnak meg a szűréskor.

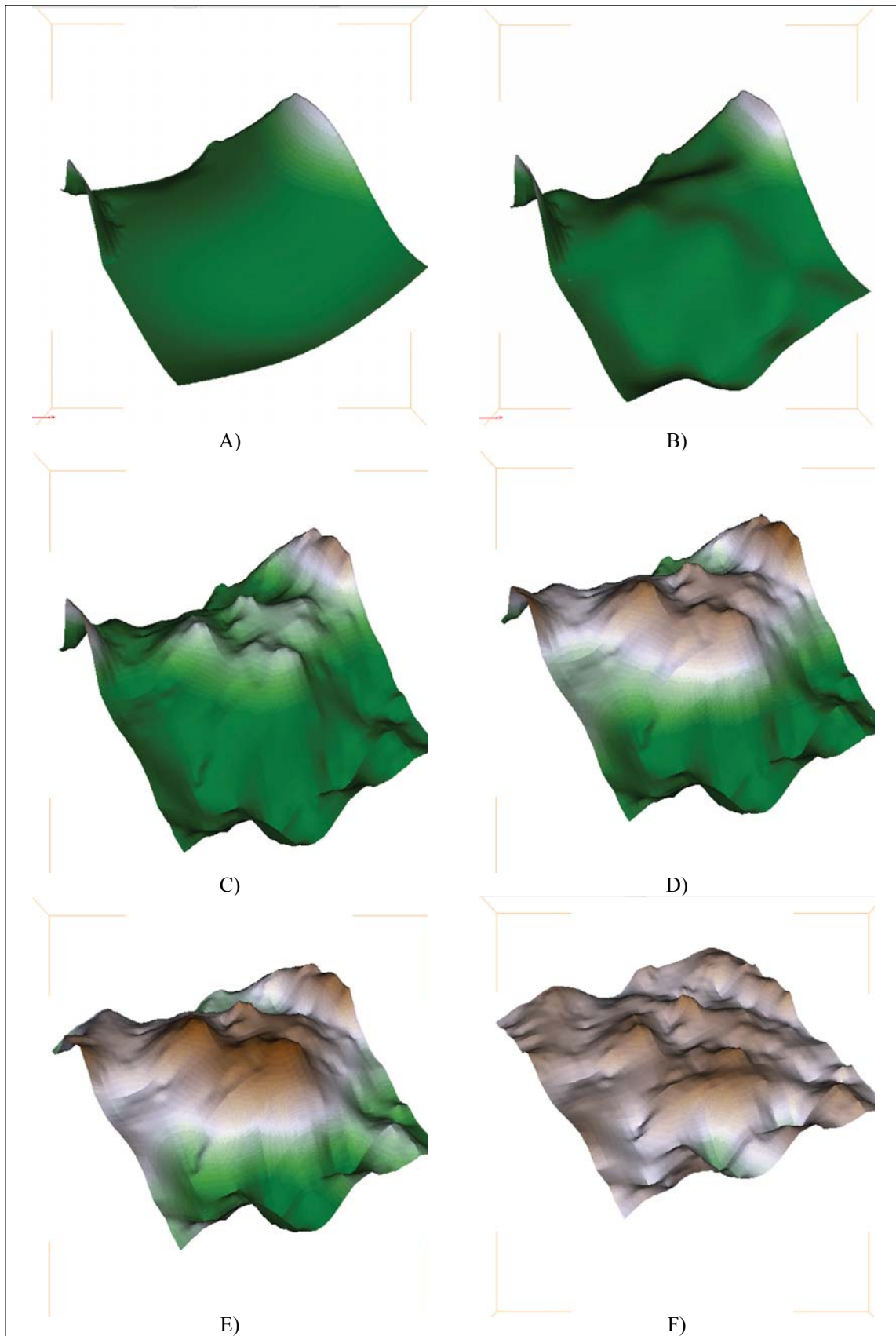
Ha ugyanazt a gravitációs hatót egyre nagyobb mélységbe helyezve a kapott anomáliákat összevetjük, nyilvánvalóvá válik, hogy a települési mélység határozza meg az anomáliák hullámhosszát, az amplitúdó csökkenése mellett az anomália szélessége nő. Ezt használjuk fel a frekvenciaszűréseknél.

A gravitációs Bouguer-anomália a nagy sűrűségű medencealjzat és a szintén nagy sűrűségű vulkáni lávaképződmények hatását együttesen tükrözi. A két különböző típusú gravitációs hatót az eltérő mélységi helyzetük és az eltérő geometriájuk alapján lehet szétválasztani. A háromdimenziós megjelenítésben a változások szinte fejlődéstörténet-szerűen mutatják be a területet (33. ábra). Kezdetben a medencealjzat szintjén (A) megjelenő vulkáni gyökérzóna (B és C), majd annak továbbfejlődése, kiteljesedése (D és E), illetve a vulkáni ciklus végén a kaldera feltételezhető összeomlása (F) és az üledékekkel történő feltöltődése követhető nyomon, adott esetben a sűrűségparaméter alapján (Kiss, Zelenka 2009).

A szűrt gravitációs térképek együttes 3D megjelenítését mutatja a 34. ábra. A jobb megjelenítés érdekében a terület DNy-i egynegyed részét kivágtuk, így a központi részen tör-

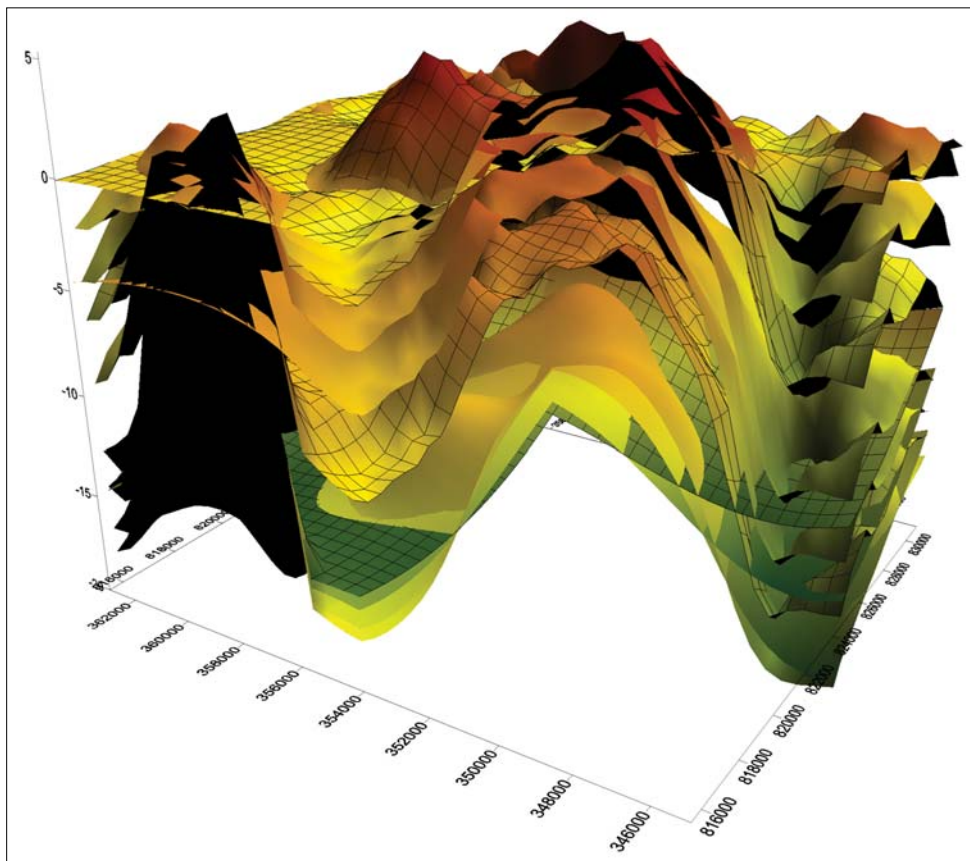


32. ábra | Frekvenciaszűréskor át-eresztett (ezt jelzik a színes vonalak) és kiejtett hullámhossz- (térfrekvencia-) tartományok  
 Figure 32 | Passed (indicated by colour lines) and rejected spatial frequencies (wavelengths) at the frequency filtering



**33. ábra** A gravitációs Bouguer-anomáliatérkép frekvenciaszűrése – Telkibánya, 3D megjelenítés DDNy-ről nézve (A – LP20, B – LP05, C – HP100, D – HP50, E – HP30, D – HP10)

**Figure 33** Frequency filtering of the gravity Bouguer anomaly map – Telkibánya, 3D presentation from SSW (A – LP20, B – LP05, C – HP100, D – HP50, E – HP30, D – HP10)



**34. ábra** Szűrt gravitációs Bouguer-anomália térképek –Telkibánya, 3D megjelenítés DDNy-ról nézve (a központi rész kiemelése céljából a terület DNy-i negyedrészt kivágtuk; minden harmadik térképet XY rácsalával jelentettünk meg)  
**Figure 34** Filtered gravity Bouguer-anomaly maps – Telkibánya, 3D presentation from SSW (one fourth part was cut at the centre of the area for the better presentation)

ténő sűrűségbeli változásokat jobban nyomon lehet követni. Néhány felületet sraffozással is kiemeltünk a jobb azonosítás érdekében. Az ábrán jól összevethetően látszanak a különböző frekvenciaszűrt térképek maximum–minimum helyei és kirajzolódik a központi kalderaszerkezet is a maximumok alapján.

A függőleges tengelyen a gravitációs Bouguer-értékek vannak, de a szűrt térképek különböző mélységtartományokra jellemző hatásokat mutatnak. Spektrális mélységmeghatározás alapján a szűrt térképek a felső 3 km vastagságú összetet bontották fel – meglepően látványosan – a sűrűségparaméter alapján.

### Összefoglalás

Viszonylag sok tanulmány foglalkozik vulkáni hegységeink közzetani vagy éppen morfológiai vizsgálatával. Sokkal mostohább a helyzet az eltemetett vulkáni képződményekkel, mert alig találunk ezzel kapcsolatban használható információt. Ebben a helyzetben a régi geofizikai mérések újrafeldolgozása és értelmezése lehet az információszerzés fő forrása az új feldolgozási eljárásoknak köszönhetően.

Elsőként a Balatonfelvidék tanúhegyeit, azok mélybeli helyzetét vizsgáltuk a CEL08 szelvény szeizmikus és mág-

neses feldolgozása kapcsán, illetve a taliándörögdi légi mágneses anomáliák elemző vizsgálatával. Feldolgozásainkkal a hatók mélységi elhelyezkedését és feltételezhető geometriáját határoztuk meg.

A másik terület a Közép-magyarországi zóna mentén található Örkényi-árok, ahol jelentős gravitációs és mágneses anomáliák találhatók. A vulkanitok megjelenése a nagy szerkezeti zónában megnehezíti a prekainozoos medencealjzat mélységének pontos meghatározását, így az eltemetett helyzetű vulkanitok lehatárolása kulcskérdés az adott területen. A gravitációs anomáliák alapján kimutatható szerkezeti ároknak a területén megjelenő vulkanitok a mágneses Naudy-megoldások szerint közvetlenül a medencealjzat-képződményekre települnek (árokkitöltésszerűen) és a szeizmikus szelvényeken jelentős reflexiós határfelületként jelentkeztek, miközben szeizmikus sebességük a refrakciós mérések alapján nem éri el az aljzat-képződmények sebességét. A három módszer adatainak együttes vizsgálata alapján az Örkényi-árok bonyolult szerkezetföldtani képe pontosítható volt.

Harmadik területünk a Tokaji-hegység volt, ahol szintén a mágneses adatok különböző feldolgozásaiával vizsgáltuk a felszínen is jelen lévő, de sok esetben eltemetett helyzetű vulkanitokat. A laza neogén üledékek és vulkáni törmelékek alatt az eltemetett vulkáni, elsősorban bázisos lávaképző-

mények a mágneses tulajdonságok alapján részben nyomon követhetők: különféle kalderaszerkezetek, dómok, szubvulkánok és árokvulkanizmus jelei azonosíthatók a hegység területén.

A kutatás szempontjából érdekes volt Telkibánya területe, ahol a másodlagos kőzettani átalakulások miatt a mágneses tulajdonságok torzultak, kevésbé használhatók, viszont a gravitációs adatok és a Bouguer-anomáliatérkép mélységi szeletelésével sikerült feltárni a Telkibányától ÉK-re feltételezett vulkáni kalderaszerkezetet.

## Köszönetnyilvánítás

A cikkben felhasználtuk az MFGI földi mágneses, légi mágneses, gravitációs, paleomágneses és mélyfúrás adatait, valamint a CELEBRATION litoszférakutató projekt (Guterch et al. 2000, Bodoky et al. 2001) néhány szelvényét. Az adatgyűjtéseket, a feldolgozások egy részét és a megjelenítéseket az intézetben (ELGI, MFGI) folyó „Bauxitkutatás légi geofizikai mérésekkel, 1990”, „Litoszférakutatás, 2001”, „Állami geofizikai adatszolgáltatás, informatika, térképezés 2010”, „Pretercier aljzattérképezés és mélyszerkezet-kutatás, 2012”, „Mélyföldtani kutatások geofizikai módszerekkel, 2016” című projekt keretében végeztük. Köszönet illeti tehát az MFGI-t, mert adatok, kutatási projektek és infrastruktúra nélkül ez a tanulmány sem készülhetett volna el.

## A tanulmány szerzői

Kiss János, Vértesy László, Gulyás Ágnes

## Hivatkozások

- Balogh K., Jámbor Á., Partényi Z., Ravaszné Baranyai L., Solti G. (1982): A dunántúli bazaltok K/Ar radiometrikus kora. Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 1980, 243–259
- Balogh, K., Árva-Sós, E., Pécskay, Z., Ravaszné Baranyai, L. (1986): K/Ar dating of post-Sarmatian alkali basaltic rocks in Hungary. *Acta Mineralogica et Petrographica*, Szeged 28, 75–94
- Bodoky T., Brueckl E., Fancsik T., Hegedűs E., Posgay K. (2001): Szervezőbizottság és munkacsoport: CELEBRATION 2000 – nagyszabású ezredzáró projekt a litoszférakutatásban. *Magyar Geofizika* 42/1, 15–21
- Borsy Z., Balogh K., Kozák M., Pécskay Z. (1986): Újabb adatok a Tapolcai-medence fejlődéstörténetéhez. *Acta Geographica Debrecina* 23, 79–104
- Dagley P. and Ade-Hall J. M. (1970): Cretaceous Tertiary and Quaternary paleomagnetic results from Hungary. *Geophysical Journal Royal Astronomic Society* 20, 65–87
- Guterch A., Grad M., Keller G. R., Posgay K., Vozar J., Spicak A., Brueckl E., Hajnal Z., Thybo H., Selvi O. (2000): CELEBRATION 2000: Huge seismic experiment in Central Europe. *Geologica Carpathica* 51/6, 413–414
- Gyalog L., Síkhegyi F. (sorozatszerk.) (2005): Magyarország földtani térképe, M = 1:100 000. A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, Budapest, <https://map.mfgi.hu/fdt100/>
- Haas J., Budai T., Csontos L., Fodor L., Konrád Gy. (2010): Magyarország pre-kainozoos földtani térképe, 1:500000. Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa

- Haáz I., Komáromy I. (1966): Magyarország földmágneses térképe, a függőleges térerősség anomáliái. M = 1:500 000-es nyomtatott térkép. Eötvös Loránd Geofizikai Intézet kiadványa
- Kilényi É., Šefara J. (1991): Pre-Tertiary Basement Contour Map of Carpathian Basin Beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary. *Geophysical Transactions* 36/1–2
- Kiss J. (2009): Gravitációs és mágneses feldolgozások és modellezések a földtani környezet megismerése céljából. PhD értekezés, NyME Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron, p. 129
- Kiss J. (2013): Magyarországi geomágneses adatok és feldolgozások: spektrálanalízis és térképi feldolgozások. *Magyar Geofizika* 54/2, 89–114
- Kiss J. (2015): A Pannon-medence geomágneses anomáliái és a mélyfúrással feltárt bázisos földtani képződmények kapcsolata. *Magyar Geofizika* 56/1, 21–42
- Kiss J. (2016): A gravitációs és mágneses anomáliák átfogó értelmezése a Kárpát-Pannon-régióban. *Földtani Közlöny* 146/3, 275–298
- Kiss J., Gulyás Á. (2006): Magyarország mágneses  $\Delta Z$  anomáliatérképe, M=1:500 000-es nyomtatott térkép. ELGI-kiadvány
- Kiss J., Prácer E. (2016): Szelvény mentén végzett adatfeldolgozási eljárások – hatókijelölés, frekvenciaszűrés és mélységfókuszálás – alkalmazása a CEL08 vonalon. *Magyar Geofizika* 57/2, 69–87
- Kiss J., Vértesy L., Gulyás Á., Madarasi A. (2015): Tisia – a geofizikai adatok tükrében. TISIA Konferencia kiadványa, pp. 25–28, ISBN 978-963-8221-56-8
- Kiss J., Vértesy L., Madarasi A., Gulyás Á., Detzky G., Paszera Gy., Deák V. Zs., Pataky P., Rádi K., Redlerné Tárjai M., Bujdosó É., Budai T. (2012): Jelentés, 2. 7. Pretercier aljzattérképezés és mélyszerkezet-kutatás 2012. évi eredményei, Kézirat, ELGI Adattár p. 57
- Kiss J., Zelenka T. (2009): Geological features, geophysical measurements and interpretation at the Telkibánya research area. In: *Geosciences, Telkibánya Geology, Proceedings of the University of Miskolc, Series A, Mining, Vol. 78*
- Márton E. (1985): Tying the basalts the Transdanubian Cenral mountains (Hungary) to the standard polarity time scale. In: Kretzoi M., Pécsi M. (eds): *Problems of the neogene and quaternary in the Carpathian Basin. Geological and geomorphological studies: Contribution to the VIIth Congress of the Regional Committee on Mediterranean Neogene Stratigraphy*, Budapest, Akadémiai Kiadó, p. 128
- Márton E., Márton P. (1989): A compilation of paleomagnetic results from Hungary. *Geophysical Transactions* 35/1–2, 117–133
- Márton P. (2004): A paleomágneses (földmágneses) időskála. *Magyar Tudomány* 2004/7, 738–741
- Márton P., M. Szalay E. (1967): Paleomágneses vizsgálatok hazai bazaltközeteken. *Magyar Geofizika* 8/2–3, 67–76
- Nabighian M. N. (1972): The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics* 37/3, 507–517
- Nabighian M. N., (1974): Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics* 39/1, 85–92
- Pántó G. (1976): Ásvány és kőzetan. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Posgay K. (1962): A magyarországi mágneses hatók áttekintő térképe és értelmezése. *Geofizikai Közlemények* 11/1–4, 77–99

- Posgay K. (1966a): A magyarországi földmágneses hatók áttekin-  
tő vizsgálata. Kandidátusi értekezés, MFGI Geofizikai Szak-  
könyvtár
- Posgay K. (1966b): A magyarországi földmágneses hatók  
áttekintő-térképe, M = 1:500 000. Magyar Állami Eötvös  
Loránd Geofizikai Intézet kiadványa
- Posgay K. (1967): A comprehensive survey of geomagnetic mass-  
es in Hungary. *Geophysical Transactions* 16/4, 1–118
- Ravasz Cs., Kovács J. (1977): Földtan II. (Ásvány és kőzetan).  
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, p. 427
- Takács E. (1976): Geofizika I, Tankönyvkiadó, Budapest
- Zelenka T. (1994): A telkibányai ércesedés vulkanotektonikus  
jellemzői [Volcano-tectonical characteristics of the mineralised  
region at Telkibánya, Tokaj Mts, NE-Hungary]. *Top. Min. Hung.*  
2, 81–86
- Zelenka T., Gyarmati P., Kiss J. (2012): Paleovolcanic reconstruc-  
tion in the Tokaj Mountains. *Central European Geology* 55/1,  
49–84, doi: 10.1556/CEuGeol.55.2012.1.4

# A Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratórium első mérései és mérési programja

BARNAFÖLDI G. G.<sup>1</sup>, BULIK T.<sup>7,8</sup>, CIESLAR M.<sup>7</sup>, DÁVID E.<sup>1</sup>, DOBRÓKA M.<sup>4</sup>, FENYVESI E.<sup>3</sup>,  
GONDEK-ROSINSKA D.<sup>9</sup>, GRÁCZER Z.<sup>2</sup>, HAMAR G.<sup>1</sup>, HUBA G.<sup>1</sup>, KIS Á.<sup>2</sup>, KOVÁCS R.<sup>1,5A</sup>,  
LEMPERGER I.<sup>2</sup>, LÉVAI P.<sup>1</sup>, MOLNÁR J.<sup>3</sup>, NAGY D.<sup>3</sup>, NOVÁK A.<sup>2</sup>, OLÁH L.<sup>1</sup>, PÁZMÁNDI P.<sup>1</sup>,  
PIRI D.<sup>2</sup>, STARECKI T.<sup>6</sup>, SUCHENEK M.<sup>6</sup>, SURÁNYI G.<sup>10</sup>, SZALAI S.<sup>2</sup>, VARGA D.<sup>1</sup>, VASÚTH M.<sup>1</sup>,  
VÁN P.<sup>1,5A</sup>, VÁSÁRHELYI B.<sup>5B</sup>, WESZTERGOM V.<sup>2</sup>, WÉBER Z.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Rézecske és Magfizikai Intézet, 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29–33.

<sup>2</sup>MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet,  
H-9400, Sopron, Csatkai E. u. 6–8.

<sup>3</sup>MTA Atommagkutató Intézet, 4026 Debrecen, Bem tér 18/C

<sup>4</sup>Miskolci Egyetem, H-3515 Miskolc-Egyetemváros

<sup>5A</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék, Budapest

<sup>5B</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mérnökgeológia és Geotechnika Tanszék, Budapest

<sup>6</sup>Institute of Electronic Systems, Warsaw University of Technology, ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warsaw, Poland

<sup>7</sup>Astronomical Observatory, University of Warsaw, Aleje Ujazdowskie 4, 00478 Warsaw, Poland

<sup>8</sup>Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México,

Apartado Postal 877, Ensenada, Baja California, 22800 México

<sup>9</sup>Janusz Gil Institute of Astronomy, University of Zielona Góra, Licealna 9, 65-407 Zielona Góra, Poland

<sup>10</sup>MTA-ELTE Geológiai, Geofizikai és Űrtudományi Kutatócsoport, Budapest

A Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratórium (MGGL) a reaktiváció alatt álló gyöngyösorszi mélyművelésű bányában épült 2015-ben. A 88 m-rel a földfelszín alatt található létesítményben a harmadik generációs gravitációshullám-detektorok föld alatti telepítésének és folyamatos működésének lehetőségét vizsgáljuk. Szeizmikus, infrahang- és elektromágneses érzékelőkkel alacsony frekvenciás zajt mérünk, illetve a kozmikus eredetű müonfluxust is detektáljuk. A 2016. március–augusztus folyamán végzett adatgyűjtéssel lezajlott a labor előkészítő időszaka (RUN-0), amellyel a következő mérési periódus (RUN-1) szisztematikusan és szinkronizált méréseit készítjük elő. Ebben az összefoglalóban ismertetjük a laboratórium mérési potenciálját és összegezzük az előkészítő periódus eredményeit. Ezenkívül röviden bemutatjuk a rugalmas zajcsillapításának egy új modelljét is.

**Barnaföldi, G. G., Bulik, T., Cieslar, M., Dávid, E., Dobróka, M., Fenyvesi, E.,  
Gráczer, Z., Hamar, G., Huba, G., Kis, Á., Kovács, R., Lemperger, I., Lévai, P.,  
Molnár, J., Nagy, D., Novák, A., Oláh, L., Pázmándi, P., Piri, D., Rosinska, D.,  
Starecki, T., Suchenek, M., Surányi, G., Szalai, S., Varga, D., Vasúth, M., Ván, P.,  
Vásárhelyi, B., Wesztergom, V., Wéber, Z.: First report of long-term measurements  
of the MGGL Laboratory in the Mátra mountain range**

Matra Gravitational and Geophysical Laboratory (MGGL) has been established near Gyöngyösorszi, Hungary in 2015, in the cavern system of an unused ore mine. The Laboratory is located at 88 m below the surface, with the aim to measure and analyse the advantages of the underground installation of third generation gravitational wave detectors. Specialized instruments have been installed to measure seismic, infrasound, electromagnetic noise, and the variation of the cosmic muon flux. In the preliminary (RUN-0) test period, March–August 2016, data collection has been accomplished. In this paper we describe the research potential of the MGGL, list the installed equipments and summarize the experimental results of RUN-0. A novel theoretical framework of noise damping in rock masses is also introduced. Here we report RUN-0 data, that prepares systematic and synchronized data collection of the next run period.

*Beérkezett:* 2016. december 27.; *elfogadva:* 2017. január 20.



## 1. Bevezetés

A gravitációs hullámok közelmúltban bejelentett felfedezését [1, 2] követően megélné a földrajzi érdeklődés rendszeres észlelésekre is alkalmas, újabb, megnövelt érzékenységgű gravitációs hullám-detektorok lehetséges megvalósítása iránt. Földi telepítés esetén a legfontosabb kérdés, hogy a környezeti zajok csökkentésével hogyan növelhető meg az észlelési érvényesség a számunkra legérdekesebb, 0,1–10 Hz-es frekvenciatartományban. Ezzel a kérdéssel foglalkozik a harmadik generációs gravitációs hullám-obszervatórium, az Einstein Teleszkóp (ET), előkészítő dokumentációja [3]. A föld alatti telepítés előnyeit először a japán Okihada hegységben épített KAGRA berendezés fogja tesztelni, amely várhatóan hamarosan megkezdheti működését [4]. Az Einstein Teleszkóp előkészítő tervezésének kapcsán 2010-ben Európában számos lehetséges telepítési helyszínen végeztek szeizmikus zajmérést [5, 6]. Ennek részeként a Mátrában található gyöngyösoroszi mélyművelésű bányában végzett vizsgálatokban kiváló zajcsillapítási paramétereket mutattak ki. Célunk e mérések mélyebb megértése.

2012 óta nem folyik bányászat a gyöngyösoroszi bányában, mely jelenleg rekultiváció alatt áll. A bányában található Károly táróban, a Károly-akna közelében, a hajdani eligazítóhelyiségben a bejáratától 1280 m-re és 88 m mélységben hoztuk létre 2015-ben az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratóriumát. A laboratórium pontos koordinátái 399 mBf; 711232,27; 281949,94 EOVS. A labor a fent említett rövid ET tesztmérések [3, 5, 6] egyik helyszínének közvetlen közelében van. Az MGGL-ben kialakítottuk a kőzettesthez csatlakozó betonpillérekre nyugvó szeizmológiai mérőhelyeket (1b. ábra). A laboratórium közvetlen optikai adatkapcsolatban van a felszínnel a gyors, megbízható és folyamatos távvezérelt mérések érdekében.

A laboratórium kialakítása 2016 februárjában fejeződött be. Az első adatgyűjtést 2016 márciusában kezdtük és 2016

augusztusában fejeztük be. Ezt a mérési periódust a továbbiakban „RUN-0”-nak nevezzük és a labor, illetve a telepített műszerek tesztidőszakának tekintjük, amelyeket elsőként a [7] műben foglaltunk össze.

Ebben a cikkben röviden áttekintjük a terület geológiai és kőzettani sajátosságait, összefoglaljuk a rugalmas anyagokban, ezen belül is a kőzetekben történő csillapított hullámterjedés néhány releváns eredményét és a tesztperiódus különféle méréseinek tanulságait. A laboratórium céljának megfelelően mindegyik mérésünk vagy kifejezetten a gravitációs hullám-detektorok esetén kritikus alacsony frekvenciás zajokat mér, vagy más szempontból speciálisan fontos. Az MGGL méréseiben a következő műszereket használjuk:

- 1) Egy Guralp CMG-3T típusú szeizmómeter a laboratóriumon belül, illetve a Magyar Nemzeti Szeizmológiai Hálózat piszkési széles sávú állomásának Streickeisen STS/2 típusú szeizmómetere a felszínen, Piszkés-tetőn.
- 2) Az együttműködő lengyel gravitációs kutatócsoport speciális szeizmikus szenzora, amelyet kimondottan a gravitációs hullám-detektorok számára fontos frekvenciatartomány (0,1–300 Hz) vizsgálatára fejlesztettek ki.
- 3) Az MTA Atommagkutató Intézet (Debrecen) infrahangdetektora, amelyet környezeti zajok mérésére használnak az aLIGO detektoroknál, a hamis gravitációs hullám-jelek kiszűréséhez.
- 4) Lemi-120 típusú indukciós magnetómeter, extrém alacsony zajú és széles frekvenciájú elektromágneses zajok vizsgálatára. A laboratóriumban és a piszkési állomáson is található ilyen műszer.
- 5) Az MTA Wigner FK hordozható müontomográfja, amely a kőzetkörnyezet inhomogenitásait nagyenergiás kozmikus részecskék segítségével méri. Ezt a műszert a nagyenergiájú kozmikus müonfluxus föld alatti méréséhez fejlesztették ki.



**1. ábra** a) A Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratórium (MGGL) elhelyezkedése a Mátrában. Az ércbánya vízszintes táróját a vörös vonal jelzi, a fekete pont mutatja a Labor helyzetét. b) Szeizmológiai mérőhelyek a laboratóriumban

**Figure 1** a) The location of Matra Gravitational and Geophysical Laboratory (MGGL) in the Mátra mountain range and inside the Gyöngyösoroszi mine. The ore mine in Gyöngyösoroszi is indicated by a red line, the black dot indicates the laboratory. b) Facilities of seismological measurement inside MGGL

A következő fejezetekben röviden ismertetjük ezeket a berendezéseket, működésüket és a RUN-0 mérési periódus adatainak legfontosabb tanulságait.

## 2. Geológiai háttér

A Mátra hegység több aktív vulkanikus időszak során alakult ki, mely folyamat több millió éven át tartott hosszú „csendes” időszakokkal. Az első fázis vulkáni tevékenysége a földtörténeti harmadkor (Eocén) kezdetéhez köthető, az ebbe az időszakba tartozó kőzetek a hegység északi peremén találhatóak. A Mátra fő tömegének kialakulása a Miocén időszakban történt. Ekkor a vulkán 25 km széles lehetett, magassága pedig 2000–2500 m. A harmadik fázis utó-vulkáni működésének nyomai a hegység Ny-i és ÉNy-i szélén figyelhetők meg. A Mátra a kialakulása óta majdnem folyamatosan erodálódik, de változó ütemben; most az átlagos magassága 700–800 m, helyenként 850–1000 m magas csúcsokkal [8].

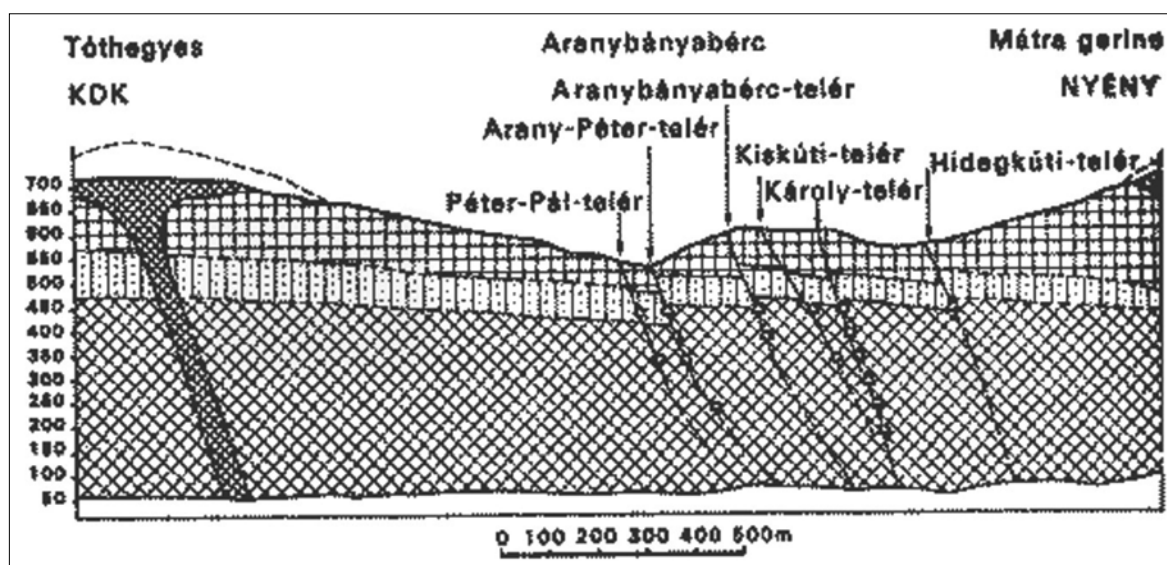
A Mátra fő kőzettípusai vulkanikus kőzetek, amelyek az andeziten kívül néhány előpilitizálódott andezitet („zöld-

követ”), illetve riolitot tartalmaznak. Helyenként bazalttufa és konglomerátumok is megtalálhatóak. A vizsgált területen főleg andezit kőzettípusok találhatóak (ld. 2. ábra, 1. táblázat).

A Mátra hegység a Darnó-törésvonal mentén található, amely a legfontosabb Neogén tektonikus képződmény, ÉÉK–DDNy irányban vágja ketté a hegység keleti részét.

Gyöngyösorszi a Mátra déli lejtőin helyezkedik el. A rézbányászat 1767–1769-ben kezdődött el a területen. Az 1980-as években a bányászattal egyidejűleg egy speciális vízelvezetési rendszert alakítottak ki a bányában a savas vízkifolyás miatt. 2012-ben a bányát véglegesen bezárták, és rekultivációs munkálatok kezdődtek a területen.

Az andezites kőzettömeg mérsékelten tömbösödött. A bánya környékén a kőzettömbök általában nem erodáltak, kivéve a töréseket, ahol több helyen mállás figyelhető meg. A bányatömedékelési munkálatok során Józsa és mtsai [10] meghatározták a jellemző kőzetmechanikai tulajdonságokat. A publikált kőzettömeg-jellemzők: belső súrlódási szög  $\phi = 25^\circ$ ; kohéziós tényező  $c = 1100$  kPa, alakváltozási modulus  $E = 1$  GPa, Poisson-tényező  $\nu = 0,37$  és a telített sűrűség  $\gamma = 24$  kN/m<sup>3</sup>.



**2. ábra** A Mátra hegység KDK – NyÉNy irányú keresztmetszete a vizsgált területen [9]. A kis négyzetek mutatják a tárókat. Az MGGL a Károly-telérnél található, 399 mBf

**Figure 2** East-south-east – west-north-west geological cross-section of the investigated area in the Mátra mountain. The small quadrilaterals show the mines. MGGL is located in the Károly-telér, 399 mBf

**1. táblázat** A Mátra jellemző andezittípusainak jelölése a 2. ábrán  
**Table 1** Characteristic andesit types of the Mátra for Figure 2

felső bazaltos andezit	pyroxén-andezit	agglomerációs andezit tufa	kevert pyroxén-andezit
upper basaltic andesite	pyroxene-andesite	agglomerated andesite tuff	mixed varied pyroxene-andesite



Beker vizsgálatai szerint a keményebb kőzetek kevésbé zajosak a puháknál [5, 6]. Azonban sem a fenti adatok, sem Beker adatai nem elegendőek a közettömeg zajcsillapítási tulajdonságainak jellemzésére. Ezért a következő fejezetben röviden bemutatunk egy elméleti modellt a zajcsillapítás tanulmányozásához.

### 3. Csillapított hullámterjedés kőzetekben

A kőzetkörnyezet zajcsillapításában a kőzet fizikai tulajdonságainak pontos szerepe ma még nem ismert. Az ET előzetes helyszíni zajmérési vizsgálatai kvantitatív elemzés nélkül annyit állapítanak meg, hogy minőségileg hasonló rugalmassági paraméterekkel rendelkező kőzetekben jellemzően hasonló zajszintek vannak, mivel keményebb kőben jobban csillapodik a zaj [6]. Ahhoz, hogy a különféle kőzet-típusok zajcsillapítási tulajdonságait a jellemző méretskálán megértsük, valódi anyagi csillapítási paramétereket érdemes használni.

A szeizmológiában és a szeizmikában általában egy exponenciális faktorialis veszik figyelembe a hullámterjedés csillapítását. Ez a módszer csak az amplitúdó- és fázisváltozásokat veszi figyelembe anyagmodellek és anyagi paraméterek nélkül [11]. A kővek és kőzetek időfüggő viselkedése – különösen a mechanikai és termikus disszipáció modellezése – az ideális rugalmasnál jobb anyagmodelleket igényel mind kis, mind pedig nagy méretskálákon [12, 13], és laboratóriumi méretekben is [14–16]. A heterogén szerkezetű kőzetek sajátos disszipációs mechanizmusainak komplexitását a heterogenitások kölcsönhatását figyelembe vevő részletes modellekkel leírni bonyolult feladat. Azonban általános termodinamikai elvekből univerzális, mechanizmusfüggetlen anyagtörvényeket kaphatunk. A nem-egyensúlyi termodinamika egyetlen tenzoriális belső változóval a rugalmas kontinuumok termodinamikailag konzisztens minimális disszipatív kiterjesztésére vezet [17]. Az elmélet időfüggő kőzetviselkedés leírására különösen alkalmas, ahogy azt az anelasztikus deformáció-visszaállási technológia (ASR – anelastic strain recovery), az *in situ* kőzetfeszültség-mérés legpontosabb módszere bizonyítja. Ennél a módszernél elméleti megfontolásoktól függetlenül jutottak a termodinamikailag alapvető anyagmodellhez [14, 15].

#### 3.1. Termodinamikai reológia

A termodinamikai reológia hagyományosan a mikroszerkezeti hatásokkal magyarázza a rugalmas anyagok mechanikai tulajdonságainak kúszási és relaxációs jelenségeit [18, 19]. Az univerzális, szerkezetfüggetlen tárgyalás egy másodrendű szimmetrikus tenzormezővel, egy úgynevezett termodinamikai belső változóval – vagy más néven – dinamikai szabadsági fokkal jellemzi az anyagi heterogenitásokat. Mivel ez a mező másodrendű tenzor, a termodinamikai követelmények izotrop esetben is közvetlenül kapcsolják a mechanikai tulajdonságokhoz, és ezért mind a gömbi, mind a

deviatorikus komponensekben eltérést kapunk az ideális rugalmas mechanikai viselkedéstől. Az eltérés megadja a tehetetlenség, a kúszás és a feszültségrelaxáció második fő-tétel által megengedett lehetőségeit.

Ha az egyenleteket egyetlen térbeli dimenzióra redukáljuk, akkor az említett belső változó kiküszöbölése után a következő konstitutív összefüggést kapjuk a  $\sigma$  feszültség és az  $\epsilon$  deformáció között:

$$\tau \dot{\sigma} + \sigma = E_2 \dot{\epsilon} + E_1 \dot{\epsilon} + E \epsilon. \quad (1)$$

A termodinamikai reológiának ezt az alapvető modelljét Kluitenberg–Verhás-testnek nevezzük [17]. Az együtt-hatóknak világos fizikai jelentése van:  $\tau$  a feszültségrelaxációs idő,  $E$  a rugalmassági modulus (pl. Young-modulus rudak húzása vagy összenyomása esetén),  $E_1$  a viszkozitási (lineáris viszkoelaszticitási) együtt-ható,  $E_2$  pedig anyagi eredetű tehetetlenségi jelenségeket reprezentál. Egyik együtt-ható sem lehet negatív, továbbá

$$E_1 - E\tau > 0, \quad (2)$$

amely az entrópiánövekedés feltétele, és a konkáv entrópia miatt adódik.

A speciális reológiai testek származtatásakor az eredeti, termodinamikai együtt-hatókat kell figyelembe vennünk, a fent megadott empirikus együtt-hatók nem függetlenek. Például a  $\tau = 0$  követelményből  $E_2 = 0$  következik, ezért a tiszta feszültségrelaxációs reológiai test termodinamikailag (is) tiltott.

A Kluitenberg–Verhás-anyagmodell alkalmazhatóságát a fent említettek szerint az ASR módszer igazolja. Ennek megfelelően a legpontosabb kísérleti egyezést a mért adatokkal a teljes, deviatorikus és gömbi részeket is magában foglaló izotrop anyagmodell használatával kaphatjuk [20, 14, 15].

#### 3.2. A Kluitenberg–Verhás-közeg diszperziós relációi

A Kluitenberg–Verhás-testet legegyszerűbb egy időben hierarchikus, kétszintű Kelvin–Voigt-rendszernek felfogni, ahogy az a fenti (1) egyenlet alábbi átrendezéséből látszik:

$$\tau \frac{d}{dt} [\sigma - (I_2 + 1)I_1 \dot{\epsilon} - E\epsilon] + (\sigma - I_1 \dot{\epsilon} - E\epsilon) = 0. \quad (3)$$

Itt  $I_1 = E_1 - \tau E$  a *csillapítási index* és  $I_2 = E_2 - \tau I_1$  a *tehetetlenségi index* [17]. Ez az átrendezett forma jól mutatja, hogy a  $\tau = 0$  nem szükséges feltétele a lineáris viszkoelasztikus anyagviselkedésnek. Ha  $I_2 = 0$ , akkor  $\tau$  értékétől függetlenül lineáris viszkoelasztikus, azaz Kelvin–Voigt reológiai testként viselkedik az anyag. Más esetekben  $I_2$  előjelétől függően az egyensúlyhoz tartás csillapított rezgésekkel vagy exponenciális relaxációval történik [17, 21–23].

Az alapvető mérlegek és a Kluitenberg–Verhás-anyagmodell segítségével egyszerűen kiszámolhatjuk az 1+1 dimenziós csatolt termo-reológiai rugalmas kontinuum diszperziós relációit. A fázissebesség négyzetére a következő formulát kapjuk:

$$c^2 = \frac{E_1 \omega + \mathbf{i}(\omega^2 E_2 - E)}{\rho(\tau \omega - \mathbf{i})} \quad (4)$$

$$= \frac{1}{\rho} \frac{[E + \omega^2(\tau^2 E - I_2)] - \mathbf{i}\omega[I_1 + \omega^2\tau(\tau I_1 + I_2)]}{\omega^2\tau^2 + 1}$$

Ez a diszperziós reláció, illetve az eredeti konstitutív egyenlet, (3), is két jelterjedési sebességet jelez. Az alacsony frekvenciás terjedési sebesség  $c_l = \sqrt{E/\rho}$ , különbözik a  $c_h = [(E\tau^2 - E_2)/\rho\tau^2]^{1/2}$  nagyfrekvenciás terjedési sebességtől. Az alacsony frekvenciás terjedési sebesség nem csillapított, nagy frekvenciákon egyre nagyobb a csillapítás. A diszperziós reláció mutatja, hogy közöttük egy meghatározott frekvencián lokálisan minimális a disszipáció, ez a frekvencia  $\omega_{d_{min}} \approx \sqrt{I_1/\tau E_2}$ . Ekkor a terjedési sebesség nagyon eltérhet a tisztán rugalmas, nulla frekvenciás határeset terjedési sebességétől. Ez a viselkedés hasonló az alacsony hőmérsékletű hővezetési jelenségek esetén ismert „ablak-feltételhez”, ahol az optimális kísérleti hőimpulzus hosszát célszerű a minimális disszipáció feltételéből számolnunk [24]. Ennek a diszperziós relációnak részletesebb elemzését a [25, 26] munkákban találjuk meg.

A bemutatott reológiai modell univerzális háttere természetes magyarázatot ad a statikus és dinamikus rugalmassági együtthatók közötti eltérésre.

### 3.3. Következmények

A fenti elméleti eredmény a termodinamikai levezetésből adódóan univerzális. A deformáció kialakulását a megadott formájú reológiai konstitutív egyenletek írják le, kiegészítve a kontinuummechanika alapléteit, függetlenül a mikroszerkezet sajátosságaitól. A kőzet inhomogenitásainak és heterogenitásának semmilyen tulajdonságát nem használtuk ki, ezért mindaddig, amíg a mikroszerkezet hatását a deformációra másodrendű szimmetrikus tenzormezőre vezethetjük vissza és a kőzet izotropnak tekinthető, a fenti elmélet érvényes. Ez az univerzalitási tulajdonság a nem-egyensúlyi termodinamika segítségével származtatott konstitutív relációkra vagy fejlődési egyenletekre mindaddig igaz, amíg csak általános elveket használunk a levezetésben [27, 28]. Ezért ilyen anyagmodellek különösen alkalmasak lehetnek az ET szempontjából releváns méretskálák és frekvenciatartomány esetén. Ezenfelül az anyagi tulajdonságok figyelembevételével az ET különböző lehetséges telephelyeinek jellemzése is javítható lehet, illetve a gravitációs gradiens zaj szűrése hatékonyabb a geológiai és kőzetmechanikai paraméterek segítségével.

## 4. Szeizmológiai mérések 1

A szeizmikus zajforrásokat gyakran aszerint kategorizáljuk, hogy a kibocsátott zaj spektruma milyen frekvenciasávba esik. Az Einstein Teleszkóp szempontjából a 0,1–10 Hz-es tartomány a legfontosabb. Ebben a frekvenciasávban a szeizmikus zajt elsősorban a mikroszeizmikus hatás és az

emberi aktivitás okozza. Az 1 Hz alatti zaj túlnyomórészt természetes eredetű, az óceánok mozgása és a nagy léptékű meteorológiai folyamatok hozzák létre. A lokális időjárási viszonyok és a szél az 1 Hz körüli zajra vannak nagy hatással, míg 1 Hz fölött már az emberi tevékenység okozta jelek dominálnak. Az ilyen szeizmikus zajt antropogén zajnak nevezzük.

Fontos tehát, hogy az Einstein Teleszkóp számára olyan telephelyet válasszunk, mely messze van az óceánoktól éppúgy, mint a jelenlegi és jövőbeli emberi aktivitástól.

Peterson a Föld különböző területein elhelyezett szeizmológiai állomások zajméréseinek teljesítménysűrűség-spektrumait katalogizálta [29]. Több év adatait feldolgozva mintegy 12000 spektrumot gyűjtött össze. A kiválasztott 75 állomás egyesített spektrumai alsó és felső burkolója alapján Peterson megalkotta az Új Magas/Alacsony Zaj Modellt, amelyre angol elnevezése (New High/Low Noise Model) után az NHNM/NLNM rövidítéssel hivatkozunk.

Az óceánok által generált mikroszeizmikus zaj 0,07 Hz és 0,2 Hz frekvenciaértékek környezetében a legjelentősebb. A 0,07 Hz-nél található spektrális csúcs a parti hullámok frekvenciájával korrelál, ahol a vízhullámok energiája – akár a vertikális nyomás változásain keresztül, akár a hullámoknak a parthoz csapódása révén – szeizmikus energiává alakul. A 0,2 Hz-nél található magasabb csúcs az óceánokban kialakult állóhullámok és a kontinentális self kölcsönhatásával magyarázható. Ezek az állóhullámok az egymással szemben haladó, azonos periódusú hullámok szuperpozíciójával jönnek létre.

A GEO600, LIGO és Virgo nagy interferometrikus detektorok a földfelszínen működnek, ezért érzékenyek a szeizmikus hullámok okozta talajmozgásokra. A műszeres megfigyelések azonban egyértelműen igazolják, hogy felszín alatti környezetben a szeizmikus zajszint általában jóval alacsonyabb, mint a felszínen. Az Einstein Teleszkóptól elvárt érzékenységet csak megfelelően alacsony szeizmikus zajszint mellett érhetjük el. A detektor számára tehát egy olyan felszín alatti telephelyet kell választani, amelyet alacsony szeizmikus aktivitás és homogén geológiai környezet jellemez.

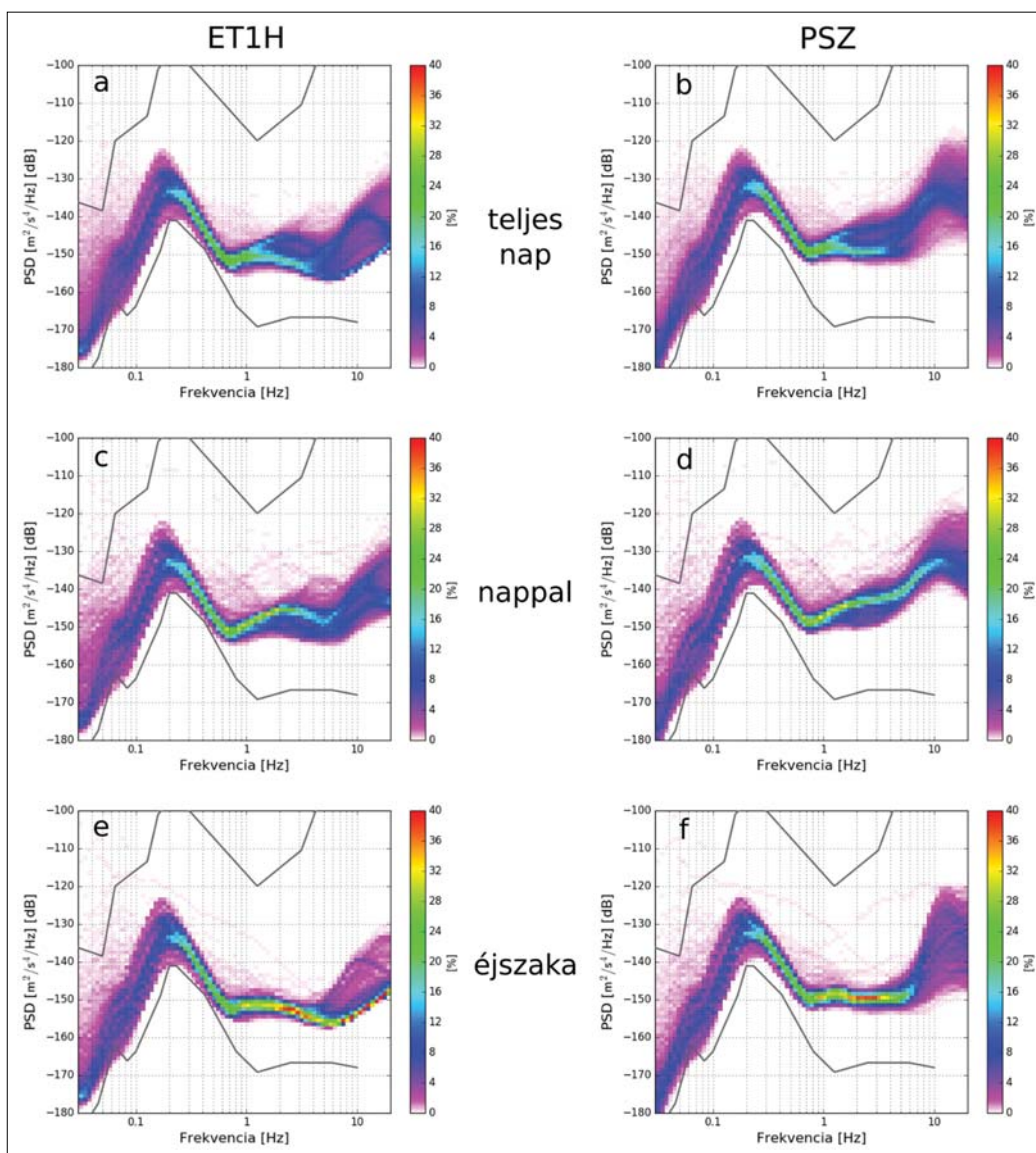
A fentiek értelmében az MGGL-ben végzett szeizmológiai méréseink célja a bányában észlelhető szeizmikus zaj jellemzőinek megállapítása, valamint a zaj mélység szerinti csillapodásának tanulmányozása. Annak érdekében, hogy ezeket a vizsgálatokat elvégezhessük, szeizmikus zajméréseket végzünk mind a felszínen, mind a bányában, majd az így szerzett adatokat összehasonlítjuk egymással.

A bánya fő vágata mentén elhelyezkedő MGGL-ben felállított szeizmológiai állomást (ET1H) egy alacsony zajszintű, széles sávú Guralp CMG-3T szeizmométerrel szereltük fel. A Magyar Nemzeti Szeizmológiai Hálózat permanens állomásai közé tartozó piszkési széles sávú állomás (PSZ) a felszínen helyezkedik el, csupán néhány kilométerre a bányabeli szeizmométertől. A PSZ állomáson egy kiváló minőségű Streckeisen STS-2 szeizmométert működtetünk. Mind a Guralp, mind a Streckeisen szeizmométer a talajmozgás sebességét méri, és egyenle-

tes átviteli függvényvel rendelkezik a 0,008–50 Hz-es tartományban.

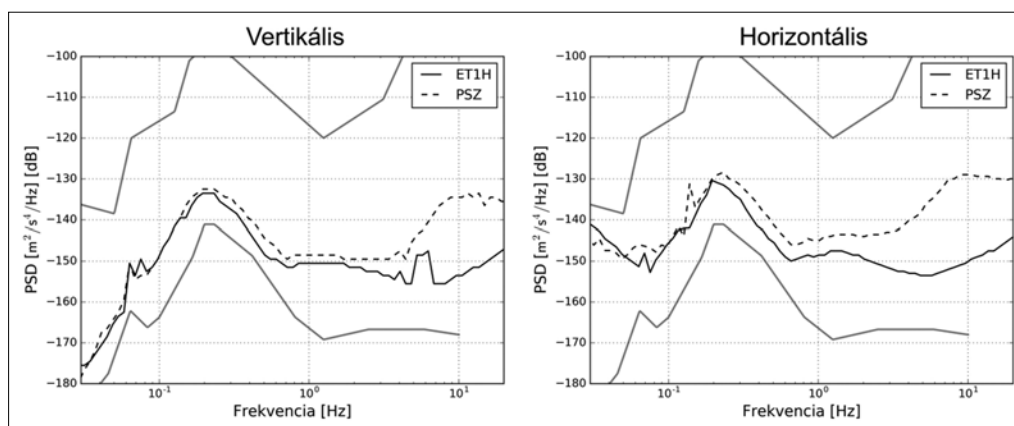
Jelen tanulmányban a 2016. március 1. és május 31. közötti három hónap mérési adatait dolgoztuk fel. Eredményeink prezentálásához minden esetben gyors Fourier-transzformációval (FFT) számítottuk ki a teljesítménysűrűség-spektrumokat (PSD)  $m^2/s^4/Hz$  egységekben. Az összehasonlíthatóság érdekében a Peterson-féle alacsony és magas zaj modelljeit is felrajzoltuk a 3–5. ábrán. A 3. ábrán bemutatott PSD hisztogramok nemcsak azt mutatják meg, hogy mekkora a zaj amplitúdója a frekvencia függvényében, hanem azt is, hogy az egyes amplitúdószinteket milyen gyakorisággal veszi fel. Ezt a gyakoriságot az ábrákon százalékban adjuk meg és színekkel jelöljük.

A felszíni PSZ és a bányabeli ET1H állomásokon mért szeizmikus zaj vertikális komponensének PSD hisztogramjait a 3. ábra szemlélteti. A felső sorban bemutatott ábrapár a teljes napi zajspektrum változásait hasonlítja össze a két állomásnál, a középső sor a nappali (helyi idő szerint 8 és 16 óra között) spektrumokat szemlélteti, míg az alsó sor az éjszakai időszakokra (22 és 6 óra között) vonatkozik. Az ábrák egyértelműen mutatják, hogy a zajszint általában alacsonyabb a bányabeli állomásnál mint a felszínen, különösen 0,7 Hz felett. Ebben a frekvenciatartományban a zaj hatása hangsúlyosabb a felszínen, mint a felszín alatt. Az 1 Hz feletti tartományban, ahol a szeizmikus zajt elsősorban az emberi tevékenység okozza, a zajszint és annak szórása, változékonysága nagyobb a nappali órákban, mint éjszaka.



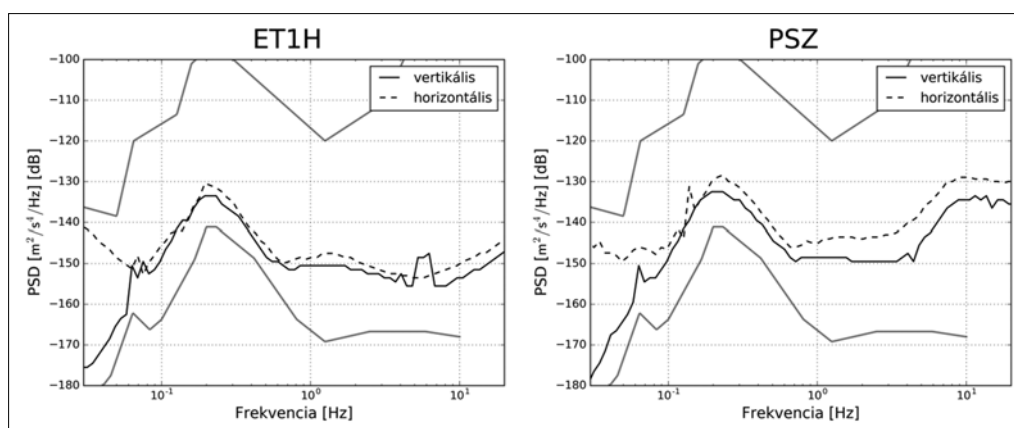
**3. ábra** A vertikális zajkomponens RUN-0 adatok alapján számított PSD hisztogramja a bányabeli ET1H (bal oszlop) és a felszíni PSZ (jobb oszlop) állomásokról. A teljes napi (első sor), a nappali (második sor) és az éjszakai (harmadik sor) PSD hisztogramokat külön-külön szemléltetjük. A vastag szürke vonalak a Peterson-féle alacsony/magas zaj modelleket reprezentálják [29]. A színek a hisztogramszintek gyakoriságát jelölik

**Figure 3** Vertical component power spectral density (PSD) histograms for the underground site ET1H (left column) and the surface station PSZ (right column) of the RUN-0 seismometer data. The overall PSDs (first row), the daytime PSDs (second row), and the night PSDs (third row) are illustrated separately. Thick grey lines represent the low/high noise models of Ref. [29]. Colors indicate histogram level frequency



**4. ábra** A RUN-0 adatok alapján számított vertikális (baloldalt) és a horizontális (jobbaldalt) PSD görbék összehasonlítása a bányabeli ET1H (folytonos vonal) és a felszíni PSZ (szaggatott vonal) állomásoknál. A görbék a megfelelő PSD hisztogramok móduszait reprezentálják 3 pontos mozgó átlagolás után

**Figure 4** Comparison of the vertical (left) and horizontal (right) PSDs at the underground site ET1H (solid line) and surface station PSZ (dashed line) RUN-0 data. Lines represent the mode of the corresponding PSD histograms after three-point moving average smoothing



**5. ábra** A RUN-0 adatok alapján számított vertikális (folytonos vonal) és a horizontális (szaggatott vonal) PSD görbék összehasonlítása a bányabeli ET1H (baloldalt) és a felszíni PSZ (jobbaldalt) állomásoknál. A görbék a megfelelő PSD hisztogramok móduszait reprezentálják 3 pontos mozgó átlagolás után

**Figure 5** Comparison of the vertical (solid line) and horizontal (dashed line) PSDs at the underground site ET1H (left) and the surface station PSZ (right) of RUN-0 data. Lines represent the mode of the corresponding PSD histograms after three-point moving average smoothing

Annak érdekében, hogy még jobban kiemeljük a felszíni és a bányabeli helyszínek közötti különbséget, a 4. ábrán bemutatjuk a két állomásnál számított PSD hisztogramok móduszait mind a vertikális, mind a horizontális komponensekre. A 0,2 Hz-es mikroszeizmikus csúcs alatt a két állomás közötti különbség elhanyagolható. A 0,2–5 Hz-es tartományban azonban a vertikális komponens zajszintje ET1H-nél mintegy 2–5 dB-lel alacsonyabb, mint Piskésen, míg nagyobb frekvenciákon ez a különbség eléri a 20 dB-t is. A horizontális komponenst tekintve a két állomás közötti különbség még hangsúlyosabb: 0,2 és 2 Hz között a különbség mintegy 5 dB, a 2–4 Hz-es tartományban eléri a 10 dB-t, míg nagyobb frekvenciákon a 20 dB-t is meghaladja. Tehát az emberi tevékenység okozta kulturális zaj elsősorban horizontális komponensű összetevőket tartalmaz.

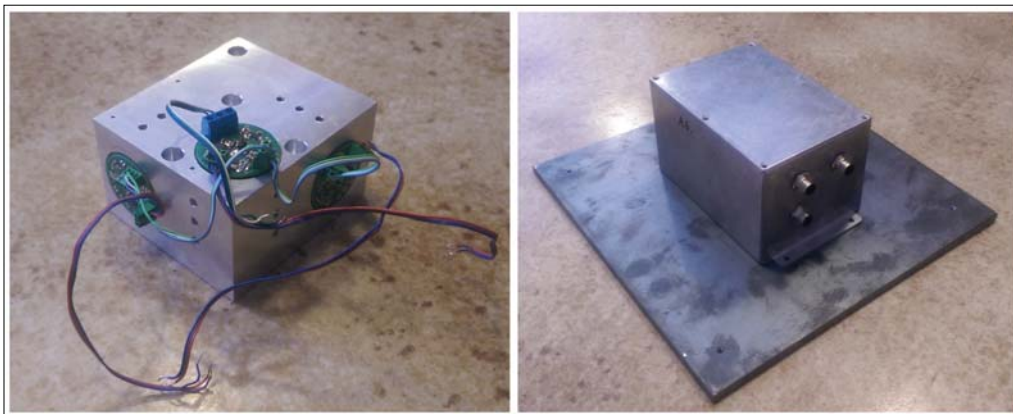
Az 5. ábra a vertikális és horizontális zajszinteket hasonlítja össze a két vizsgált helyszínen. A 0,07 Hz-es mikro-szeizmikus csúcs felett a bányabeli ET1H állomásnál ta-

pasztalt vertikális és horizontális zajspektrumok gyakorlatilag megegyeznek. A felszíni PSZ állomáson azonban az 1 Hz feletti frekvencia tartományban a vertikális zajszint mintegy 5–10 dB-lel alacsonyabb a horizontális zajszintnél. Ez a megfigyelés is alátámasztja azt a korábbi megállapításunkat, hogy a felszínen az emberi tevékenység elsősorban horizontális zajt generál. Az Einstein Teleszkóp tervezésénél azonban mindkét zajkomponenst figyelembe kell venni.

## 5. Szeizmológiai mérések 2

Egy második, független szeizmikus zajmérést a Varsói Egyetemen kifejlesztett mérőberendezéssel végeztünk. A mérőrendszer egy háromtengelyű szeizmométert használ, egyet a vertikális és kettőt a horizontális mérésekhez. LGT-2.5 és LGT-2.5H geofonokat használunk, amelyeknek a rezonanciafrekvenciája 2,5 Hz. A három érzékelőt a 6. ábrán

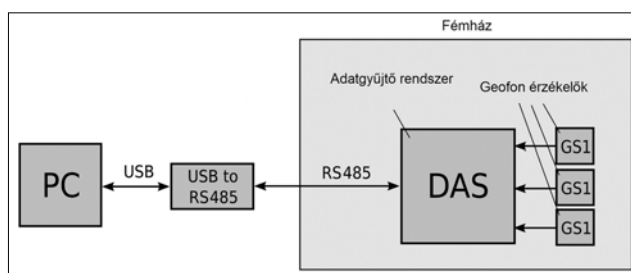




**6. ábra** | A bal oldali ábra a három geofont mutatja fémházban, a jobb oldalon a teljes detektor látható fémlemezre szerelve  
**Figure 6** | The left panel shows the three geophones in the metal housing, while the right panel presents the entire detector mounted on a metal plate

látható módon szereltük. A geofonok analóg jele a fémházba szerelt adatgyűjtő rendszerhez kapcsolódik és a teljes berendezés látható a 6. ábra jobb oldalán.

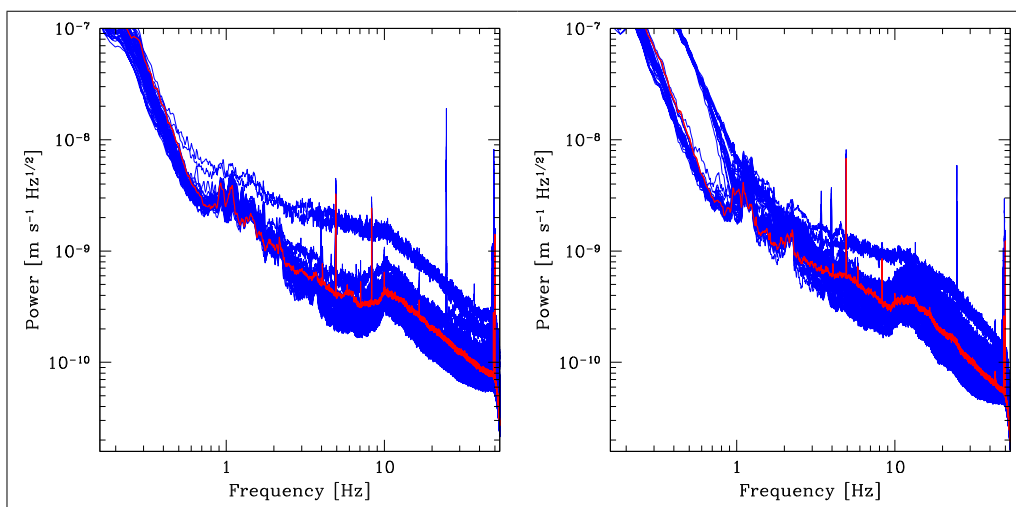
Az adatgyűjtő rendszer mintavételezési frekvenciája 125 Hz-től 1 kHz-ig állítható. A beépített AD átalakító a jelet  $\pm 2,5$  V érzékenységgel méri 32 bites felbontással. Az adatgyűjtő rendszer az összegyűjtött adatokat egy RS485 interfészen keresztül blokkosítva küldi a számítógépre. A 28 másodpercenként küldött adatsomagokat bármilyen egyszerű személyi számítógép képes venni egy USB–RS485 átalakító segítségével, USB porton keresztül. A biztonsági adattárolás a szeizmométerben levő, maximum 32 Mb méretű SD kártyára történik. Ez a tárolási kapacitás körülbelül 8 hónapnyi mérést tesz lehetővé külső adatkapcsolat nélkül. A szeizmikus mérőrendszer blokkdiagramját a 7. ábra mutatja. Az adatgyűjtő rendszer kiterjeszhető, és a mért szeizmikus jel szinkronizálható több szeizmométer között az RS485-ös interfészen keresztül. Ilyen konfiguráció esetén egy további szinkron csatoló kerül minden egyes szeizmométerbe.



**7. ábra** | A Varsói Egyetem eszközeihez tartozó adatgyűjtő rendszer blokkdiagramja  
**Figure 7** | The block diagram of the data acquisition system

A készüléket egy széles sávú Trillium szeizmométerrel kalibráltuk, és az érzékenységet egy szeizmikusan izolált vákuumkamrában mért zajjal határoztuk meg. Az érzékenység 1 Hz-en  $\approx 2 \times 10^{-10} \text{ms}^{-1}\text{Hz}^{-1/2}$ .

Az adatgyűjtést a műszerrel 2016. május 24-én kezdtük el. Ebben a cikkben az első 77 nap adatainak előzetes elemzését adjuk meg, 2016. május 25-től augusztus 8-ig. A mű-



**8. ábra** | A Varsói Egyetem szeizmikus szenzorának RUN-0 napi sebességspektrumai. A bal oldalon a horizontális, a jobb oldalon a vertikális mérés adatait mutatja. A július 16-i csendes napot pirossal jeleztük  
**Figure 8** | The daily power spectra of velocities of the RUN-0 data of seismic sensor of the Warsaw University. The left panel shows the velocity amplitude spectra in the horizontal direction while the right panel present the vertical ones. The data of the quiet day – 16th July – is shown in red

szer hibátlanul működött ebben az időszakban. Az adat-elemzés céljából minden napot 685 részre osztottunk, egyenként 16384 mintával. A sebességamplitúdó-spektrumot minden rövidebb szakaszra meghatároztuk, és a napi átlagot láthatjuk a 8. ábrán. A szeizmikus zajszint közelítőleg  $2-3 \times 10^{-9} \text{ms}^{-1} \text{Hz}^{-1/2}$ . A vizsgált időszakban két napon magasabb zajszintet mértünk az 1–10 Hz-es tartományban. Ettől eltekintve a szeizmikus zajszint stabil, és a napi változása legfeljebb kétszeres.

A kiemelkedő spektrumvonalak közül felismerhetjük az elektromos hálózati frekvencia 50 Hz-es vonalát a 25 Hz-es alharmonikusával. A 4 és 5 Hz közötti tartományon is láthatunk néhány keskeny spektrumvonalat, amelyeket feltehetően antropomorf zaj okoz. Eredetükre a július 16-i csendes nap adatai utalnak. Ezen a napon a bánya minden, nem létfontosságú gépét kikapcsolták, a napi átlagspektrumot vörös vonal jelzi a 8. ábrán, láthatóan kevesebb keskeny vonallal az említett tartományban. Ez arra utal, hogy a bányában működő gépek okozhatják ezt a zajt. Említésre méltó az is, hogy a csendes nap átlagos zajszintje nem különbözik nagyon más napok spektrumaitól. Ez azt jelenti, hogy a mesterséges eredetű szeizmikus zaj egy szűk frekvenciaintervallumra koncentrálódik.

## 6. Infrahang monitorozása

A szeizmikus mozgáson kívül a levegőben terjedő nyomáshullámok (azaz a hanghullámok) is rezgésbe tudják hozni az interferometrikus gravitációshullám-detektorok részeit. Leginkább a vákuumbeli rendszerek külső felfüggesztési pontjai, és a detektorok más, vákuum által nem védett részei vannak kitéve ennek a hatásnak [30]. Amellett, hogy a hanghullámok növelik az interferométerek háttérzaját, „hamis” gravitációshullám-jeleket is tudnak generálni. Ezeket a mérési adatok feldolgozása során el kell különíteni a tényleges gravitációs hullámok által okozott jelektől [31].

A jelenleg üzemelő gravitációshullám-detektorok (aLIGO, AdVirgo, KAGRA) mérési tartománya 10 Hz – 90 kHz [32]. Az aLIGO detektorainál a környezeti hanghullám eredetű zajok monitorozása céljából üzemeltetett mikrofonok képesek detektálni az olyan alacsony frekvenciájú (10–30 Hz) hanghullámokat, amelyek hamis pozitív gravitációshullám-jeleket generálhatnak az interferométer kimenetében. A hamis jelek detektálását követően speciális algoritmusokat használva válik lehetővé az interferométer kimeneti jelének feldolgozása során a hamis jelek elvetése. Mivel az Einstein Teleszkópot (ET) az 1–30 Hz közötti frekvenciaintervallumba eső jelek detektálására tervezik, ki kell terjeszteni a hanghullámok detektálását a 10 Hz alatti tartományokra is. Ez már a hallható hangok frekvenciaintervallumának alsó határánál (20 Hz) is kisebb frekvenciájú, úgynevezett infrahangok frekvenciatartománya, megfelelő pontosságú mérésük a speciális körülményekhez kifejlesztett infrahang mikrofonokkal válik lehetővé.

Az említett zajhatásokon túl az infrahangok is hozzájárulhatnak a gravitációshullám detektorok ún. gravitációs gradi-

ens zajához, ugyanis az interferométer közelében mozgó anyagok fluktuációkat keltenek a newtoni gravitációs térben, ami módosíthatja az interferométer tükreinek pozícióját. Habár ezt a hatást elméleti módszerekkel intenzíven vizsgálták [33, 34], megfelelő detektorokkal végzendő új mérések szükségesek az infrahangok gravitációshullám-detektorokra gyakorolt hatásainak vizsgálatához.

### 6.1. Infrahang-monitorozó rendszer

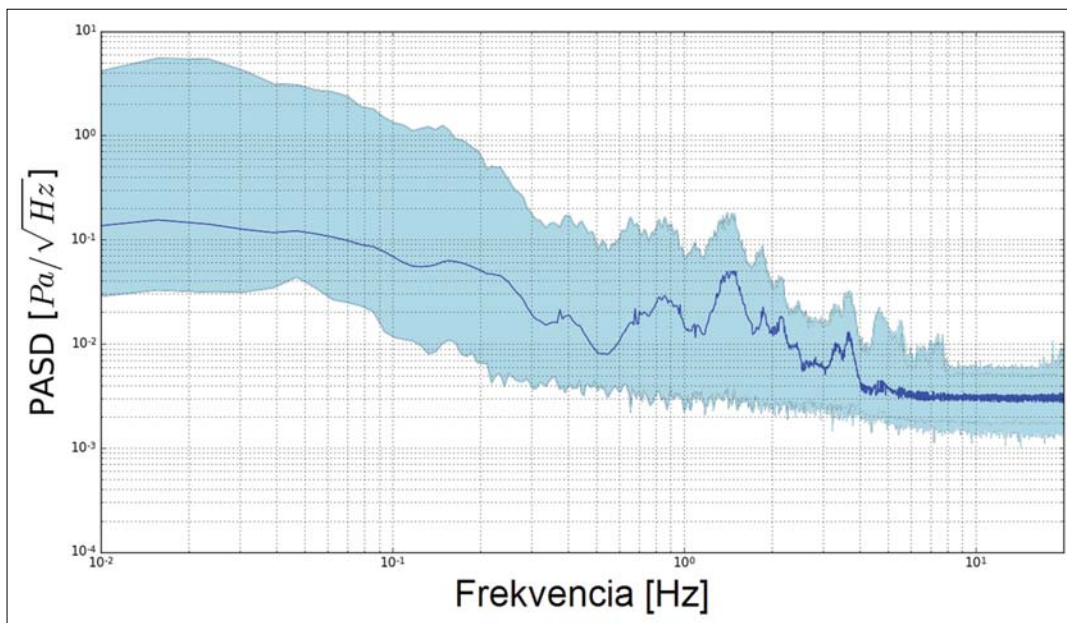
Az MTA ATOMKI (Debrecen) munkatársai kifejlesztettek egy új infrahang-monitorozó rendszert annak érdekében, hogy a gravitációshullám-detektorok környezetében megfelelő pontossággal lehessen mérni az infrahang háttérét. A rendszer egy kondenzátormikrofonból, valamint az ehhez tartozó adatgyűjtőrendszerből áll. Az eszköz akár 1 mPa nagyságrendű nyomásváltozást is tud detektálni a 10 mHz – 10 Hz-es frekvenciatartományban.

A mikrofon működési elvét tekintve egy kondenzátormikrofon, amelynek a referenciaterfogatót egy flexibilis diafragma (a kondenzátor egyik fegyverzete) választja el a külső környezettől [35]. A referenciaterfogató egy vékony kapillárison keresztül közvetlenül is össze van kötve a külső környezettel. Ha változik a külső nyomás és a referenciaterfogató közötti különbség, akkor a diafragma elmozdul. Ezeket a rezgéseket a mikrofonban egy szenzor analóg elektromos jellé alakítja. Az analóg jelet 1024 Hz-es mintavételezési frekvenciával digitális jellé alakítva a nyomáshullámok amplitúdójával egyenesen arányos amplitúdójú jelsorozatot kapunk.

Az analóg jeleket egy 16 bites analóg–digitális átalakító (ADC) és egy mikrokontroller alakítja át digitális jellé, melyből egy univerzális aszinkron adó/vevő (UART) egység az RS485 szabványnak megfelelő digitális jelet állít elő és küld tovább egy digitális–analóg átalakítóknak. A digitális jelből a digitális–analóg átalakító egyrészt visszaállítja az analóg jelet, másrészt továbbítja az eredeti digitális jelet is az RS485 szabvány szerint egy átalakítóknak, amely az RS485 szabványos jelet USB jellé alakítja át. Az USB jelet egy Raspberry Pi számítógépen futó szoftver egy SD kártyára gyűjti [36]. A szoftver időbélyeggel is ellátja a jelet. Az időbélyegeket egy, a Raspberry Pi-n futó hálózati időprotokoll (angolul Network Time Protocol, NTP) kliens szoftver szolgáltatja. Az adatok bináris formátumú fájlban tárolódnak, egy fájl egy napi adatmennyiséget foglal magában. A fájlok interneten keresztül tölthetők le az SD kártyáról.

### 6.2. Adatfeldolgozás és eredmények

Az infrahang-monitorozó rendszer telepítése a Mátra Gravitációs és Geofizikai Laboratóriumba (MGGL) egyrészt lehetővé tette a rendszer képességeinek vizsgálatát, másrészt az általa gyűjtött adatokkal lehetővé vált az Einstein Teleszkóp egyik potenciális helyszínén az infrahangháttér vizsgálata is. A 2016. június 16-tól augusztus 21-ig tartó mérési időszak adatai feldolgozásának kezdőlépéseként az



**9. ábra** Az MGGL RUN-0 adatgyűjtési szakaszában mért, az infrahang háttérrel jellemző reprezentatív nyomásamplitúdó spektrálsűrűség. A színezett régiót a 10. és a 90. percentilisek határolják, a móduszt (az adott frekvenciának megfelelő leggyakoribb értéket) folyamatos vonal jelöli

**Figure 9** Representative pressure amplitude spectral density (PASD) of low-frequency pressure waves registered by the infrasound monitoring system in RUN-0 data collection of MGGL. The transparent color region are bounded by the 90 and 10 percentiles, whereas the solid curve represent the mode, or most common PASD value corresponding to a given frequency

SD kártyáról interneten keresztül letöltött adatokat CSV formátumú fájlra konvertáltuk. A konvertálás során az adatok mintavételezési frekvenciáját 256 Hz-re csökkentettük. Az infrahangháttérrel jellemző egyik mennyiség a nyomásamplitúdó-spektrálsűrűség (Pressure Amplitude Spectral Density, PASD), amely megadja az infrahangnak egy adott frekvenciához tartozó erősségét. A mérési időszak alatt reaktív munkák zajlottak a bányában, emiatt minden napnak csak az első hét órájában gyűjtött adatokat használtuk fel az időszakot jellemző reprezentatív nyomásamplitúdó-spektrálsűrűség (PASD) kiszámítására.

A Beker és mtsai [6] cikkében ismertetett módszert alkalmaztuk a számítás során MatLab és Python szoftverekben implementálva. A teljes mérési intervallumot egymástól elkülönülő 1792 s hosszúságú szegmensekre osztottuk, és minden egyes szegmensre kiszámítottuk az ahhoz tartozó átlagos PASD-t, majd a frekvencia-PASD értékpárokat CSV fájlokban tároltuk el. Ezután az összes szegmens PASD-adatából minden egyes frekvenciaértékhez kigyűjtöttük az adott frekvenciához tartozó PASD-értéket, majd kiszámítottuk az adatok móduszt, valamint a 10. és 90. percentiliseket is (9. ábra). Az infrahangforrások azonosítása még folyamatban van. Az ábrán látható kiugró értékek feltehetően a bánya járatszerkezetéből adódó rezonanciáknak tulajdoníthatóak, ennek a feltételezésnek az igazolására további mérések előkészítését kezdtük meg. A járatok több szakaszán tervezünk elhelyezni több mikrofonból álló, továbbfejlesztett infrahang-monitorozó rendszereket. Az Einstein Teleszkóp járatok geometriájának megfelelő megválasztásával a megfigyelt rezonanciák feltehetően kiküszöbölhetőek.

## 7. Elektromágneses mérések

Az MGGL környezetének átfogó geofizikai vizsgálata magában foglalja a helyszínen jellemző elektromágneses háttérzaj vizsgálatát is. Ez egyfelől audiofrekvenciás magnetotellurikus mérések kivitelezését és feldolgozását jelenti az elektromos vezetőképesség helyi, felszín alatti, térbeli eloszlásának megismerése és modellezése céljából, másrészt egy hosszú távú, indukciós alapú elektromágneses háttérzaj-monitorozást foglal magában az ULF – alsó ELF periódustartományban. Az elektromágneses mérések során felhasznált hardver és szoftver eszközöket a következő szakaszban mutatjuk be.

### 7.1. Elektromágneses háttérzajvizsgálat

A tervezett gravitációshullám-detektor tekintetében az elektromágneses környezeti zaj a spektrum alsó ELF tartománya, azon belül is az 1–20 Hz tartomány vizsgálata kiemelt fontosságú. A természetes, illetve mesterséges forrásokból eredő elektromágneses jelek felszín alatti terjedési tulajdonságainak pontos modellezése ugyancsak elengedhetetlen a tervezett gravitációshullám-detektor érzékenységének maradéktalan biztosítása szempontjából.

A szóban forgó frekvenciatartományban a természetes elektromágneses háttér alapvetően meteorológiai jelenségekre vezethető vissza. A Föld különböző területein időben váltakozva kialakuló aktív zivatarzónák a szilárd Föld és az ionoszféra által meghatározott elektromágneses rezonátor folytonos gerjesztése során – diszkrét periódusokon – az ún. Schumann-frekvenciákon észlelhető háttérjellet eredményez.

nyez. A rezonátor sajátfrekvenciáinak időbeli és térbeli átlagértékei 7,83, 14,1, 20,3 Hz stb. A magasabb frekvenciájú Schumann-komponensek észlelése mesterséges elektromágneses zajok esetében csak rendkívül csendes körülmények között detektálhatók.

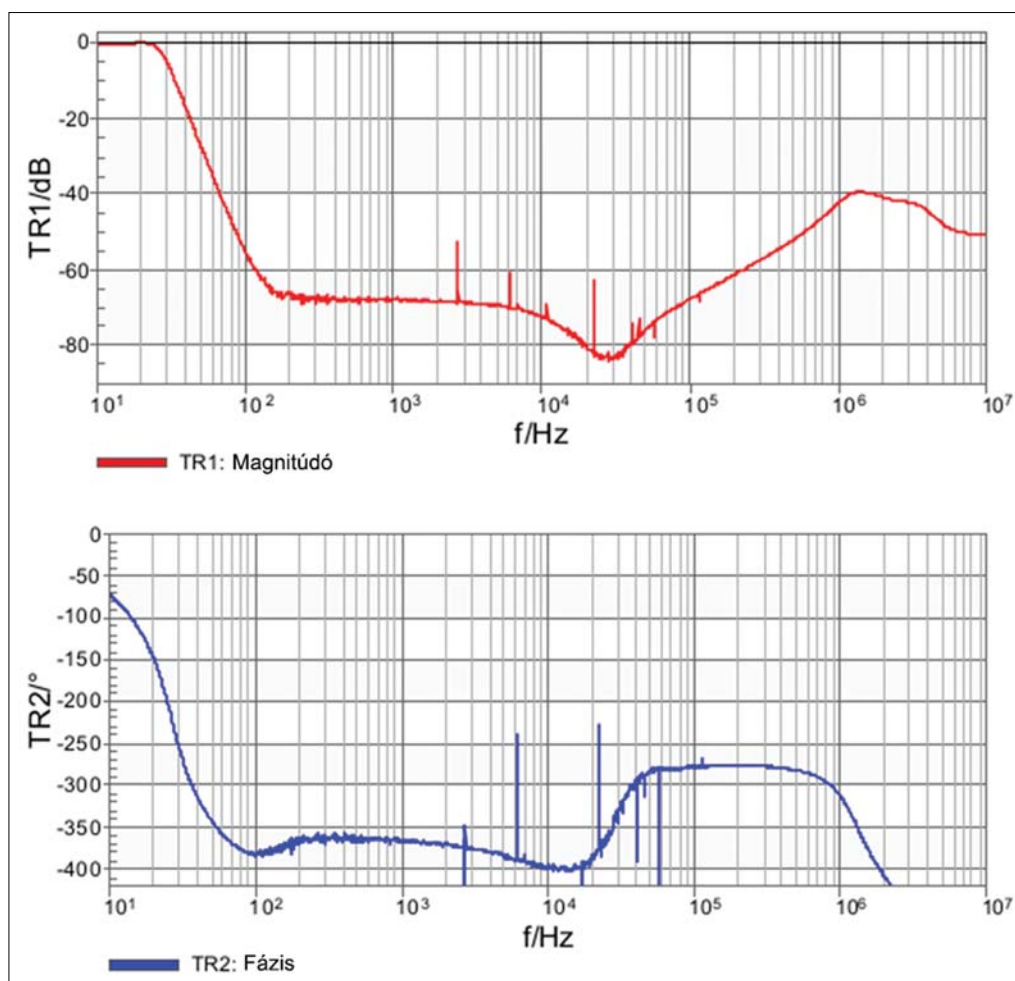
A globális zivatartevékenység következtében a felszínen mindenütt, diszkrét frekvenciákon folytonosan jelen lévő elektromágneses háttér mellett a detektálás helyszínének környezetében bekövetkező egyedi villámkisülések néhány ms hosszúságú, széles sávú transziensei is detektálhatóak. Ez utóbbiakat azonban a szűkebb környezet pillanatnyi meteorológiai viszonyai határozzák meg.

A gravitációshullám-detektor tervezett jövőbeli, mélybeli helyszíne, valamint a felszín közötti összlet elektromágneses átvitelének meghatározására legalább három állomásból álló megfigyelőrendszer telepítése szükséges. A felszíni és a mélybeli állomások egymással és egy távoli referenciaállomással szinkronban legalább 500 Hz mintavételi frekvencia mellett rögzítik a horizontális irányítottágú indukciós szondák kimeneti jelét. A távoli állomás lehetővé teszi, hogy a lokális eredetű, mesterséges forrásból származó összetevőket kiszűrjük az átvitel meghatározása során, amennyiben a természetes és a lokális eredetű jelkomponensek aránya ezt

lehetővé teszi. A csillapítási függvény pontosabb meghatározása érdekében a felszíni állomást a Magyar Tudományos Akadémia Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly-Thege Miklós Csillagászati Intézete piszkés-tetői megfigyelőállomása területén került telepítésre. Az állomás és a Laboratórium közötti távolság légvonalban kb. 15 km. A ULF–alsó ELF tartományba eső természetes geomágneses variációk ezen a térbeli térbeli skálán homogénnek tekinthetők hasonló indukált járulék feltételezése mellett. A spektrális összehasonlító vizsgálat alacsony környezeti zajterhelés mellett célravezető módszernek bizonyulhat.

#### 7.1.1. Szenzorok és az adatgyűjtőrendszer

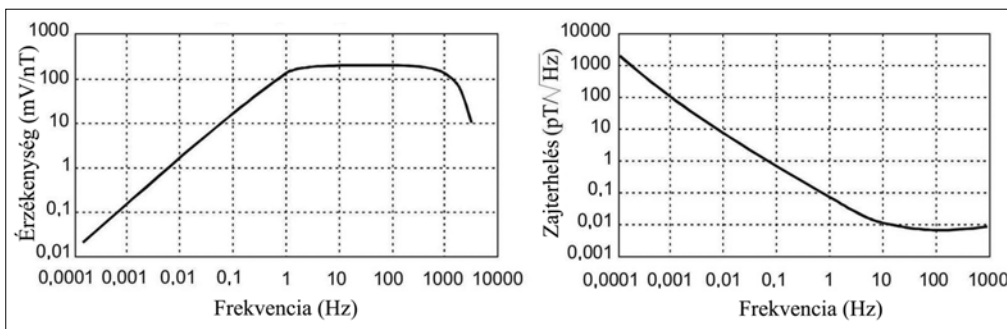
Az adatgyűjtőrendszer alapját egy Raspberry Pi mikroszámítógép és az ehhez kapcsolódó két darab AD-konverter képezi, melyek analóg szűrőáramkörök illesztésével kapcsolódnak a Lemi-120 típusú indukciós tekercsekhez. A tekercsek egymásra merőlegesen, a horizontális síkban helyezkednek el. A közvetlen összehasonlíthatóság végett a felszíni szenzorok orientációja igazodik a Laboratórium geometriája által szabott feltételekhez, s a mélybeli szondákkal megegyező irányú.



**10. ábra** Az aluláteresztő szűrő átviteli karakterisztikája (kalibrációs mérés eredménye)

**Figure 10** Transfer function of the lowpass-filter circuit (calibration measurement results)





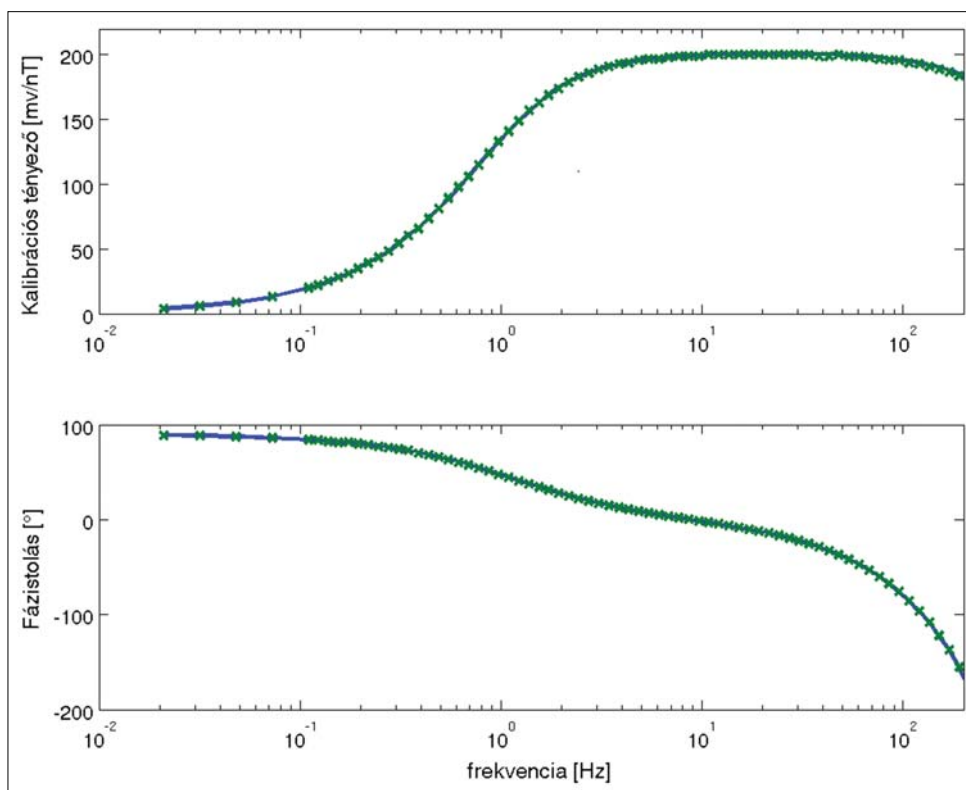
**11. ábra** | A Lemi-120 indukciós szondák érzékenysége és zajkarakterisztikája (gyári adat)  
**Figure 11** | Sensitivity and noise characteristics of Lemi-120 induction magnetometer (factory datasheet)

A komponensek rövid ismertetése:

1) *Adatgyűjtő hardver/szoftver*: Egy Raspberry Pi számítógép valós idejű Linux kernellel (RTOS), amelyen egy C nyelven írt program fut valós idejű feladatütemező kezelésében (real-time process scheduler). Ez a program egy soros interfészen (I2C) keresztül kommunikál a külső AD-konverterekkel, indítja a mintavételt, beolvassa a konverzió eredményét, szükség esetén állítja az AD-konverterben lévő erősítő (programmable gain amplifier – PGA) erősítési tényezőjét és utólagos skálázást végez a nyers adatok fizikai mennyiséggé történő konverziójához. Az adatok archiválása hatékony bináris fájlformátumban (NETCDF) történik. Az

időbélyeg pontosságát és ezáltal mért adatok globális felhasználásának lehetőségét az NTP (Network Time Protocol) garantálja.

2) *Az AD-konverter*: Az analóg adatok digitalizálására egy 16 bites SAR típusú AD-konvertert építettünk be, ennek típusa ADS1115, amely differenciális bemenettel rendelkezik és széles bemeneti tartományával jellemezhető. Az indukciós tekercsek jele az AD-konverterbe lépés előtt több szűrőn halad keresztül, az egyik ilyen szűrőpár egy ún. Anti Aliasing Filter (AAF), azaz egy aluláteresztő szűrő a Nyquist-frekvenciára hangolva, a tükrörfrekvenciákat eltávolítása céljából. Ezen felül az AD-konverterbe épített digi-



**12. ábra** | A Laboratóriumban telepített Lemi-120 mágneses szondák amplitúdó- és fázisátvitele. A zöld markerek az N650 sorozatszámú szonda karakterisztikájának diszkrét pontjait jelölik (KÉK irányú), míg a kék görbe az N649-es szondára vonatkozik (ÉÉNY irányú)  
**Figure 12** | Transfer function of the Lemi-120 serial number N649 and N650 induction coils installed in the MGGL. Green dots represents the transformation factor of the N650 sensor, while the blue curve is linear interpolation of the characteristic markers of N649 sensor

tális szűrő is segíti elnyomni a nem kívánatos magas frekvenciákat, amely egy ún. periodikus lyukszűrő (periodic notch filter).

3) *Szűrők.* A laboratóriumi környezet, valamint az elhelyezett mérőműszerek tápellátása révén jelentős, hálózati frekvencián és annak páratlan felharmonikusain megjelenő háttérzajhoz szabott szűrő alkalmazása vált szükségessé. E célból egy egy ötödrendű  $-100$  dB/dekád meredekségű,  $28$  Hz-re hangolt törési frekvenciával rendelkező szűrőt fejlesztettünk ki. Az említett határfrekvencia a Schumann-hullámok 4. felharmonikusával esik egybe. Az alkalmazott „switched capacitor” elvű szűrést az LTC1062 modul valósítja meg, LTC1799 oszcillátorral párosítva. A szűrő és az AD-konverter közötti impedanciaillesztést egy alacsony ofszetfeszültségű LT2051 műveleti erősítő biztosítja. A szűrők átviteli karakterisztikáját széles sávban a 10. ábra mutatja. A  $30$  kHz után emelkedő átvitel nem releváns, az AD-konverter itt már erősen csillapít. Ez a differenciális szűrőfokozat az  $50$  Hz-es csúcsot  $30$  dB-lel csillapítja a  $28$  Hz-es frekvencia amplitúdójához képest.

4) *A szenzorok.* Az elektromágneses háttérzaj vizsgálatához szükséges megfigyelés során az ULF–ELF tartománybeli geomágneses variációk detektálására Lemi-120, nagyon alacsony saját zajszinttel és nagy dinamikatarományal rendelkező indukciós tekercsokat telepítettünk. A szondák érzékenysége és zajkarakterisztikája a 11. ábrán látható. A szenzor zajszintje a szélesebb fókuszterületen is  $0,1$  pT/ $\sqrt{\text{Hz}}$  alatt marad.

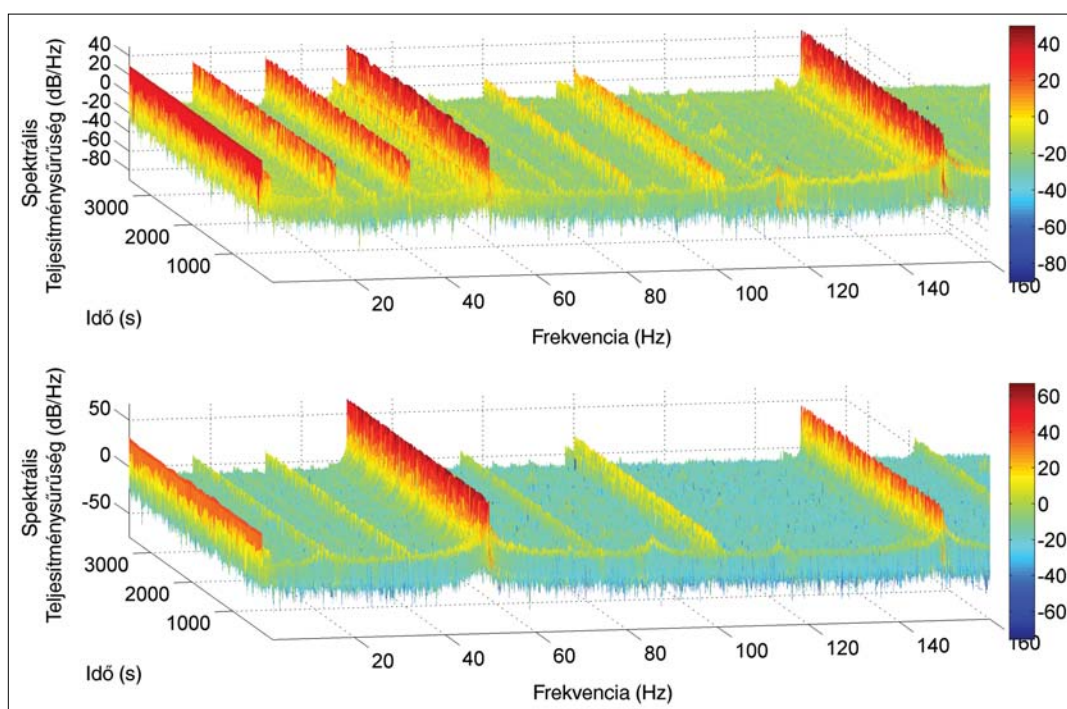
A Laboratóriumban telepített Lemi-120 mágneses szondák amplitúdó- és fázisátvitele a 12. ábrán látható. A zöld markerek az N650 sorozatszámú szonda karakterisztikáját jelölik, melyek  $1\%$  hibán belül illeszkednek az N649 sorozatszámú szonda jelleggörbéjére (kék színű).

A Laboratóriumban  $30$  cm-es homokágyakra helyeztük az indukciós tekercsokat a mikroszeizmikus zajok csatolásának elkerülése/csökkentése céljából. A felszínen elhelyezett indukciós szenzorokat  $50$  cm mélységben telepítettük ki a szél által keltett mikroszeizmikus zavarok csillapítása érdekében. A közvetlen összehasonlíthatóság érdekében a felszíni szondák pozícionálása szempontjából a laboratóriumi koordináta-rendszert tekintettük meghatározónak. A két állomáson üzembe helyezett megfigyelőállomás hardver- és szoftverösszetevői is teljesen megegyeznek.

### 7.1.2. Eredmények

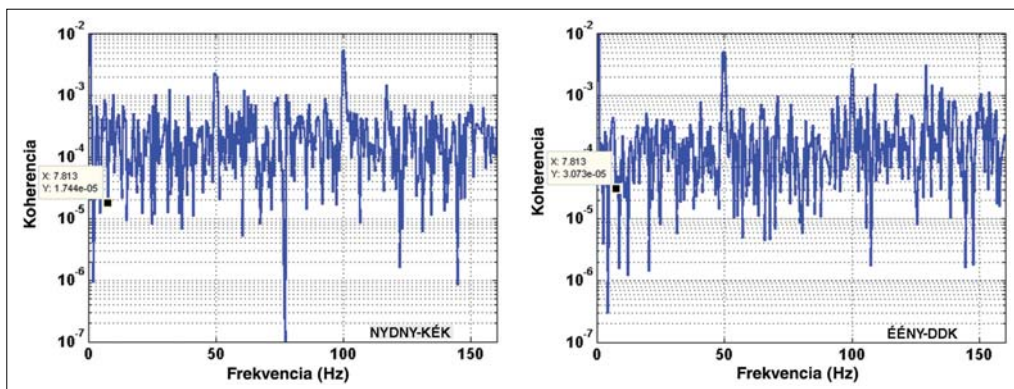
A Laboratóriumban rögzített elektromágneses háttérzaj spektrális vizsgálata az előre számítottnál is jelentősen nagyobb teljesítményű hálózati frekvenciához köthető spektrális komponensek jelenlétét igazolta, lásd 13. ábra. A dinamikus spektrum alapján kijelenthető, hogy a helyszínen jelentős  $50$ ,  $100$  és  $150$  Hz-es frekvenciájú, a hálózati villamosenergia-ellátáshoz köthető háttérzaj folytonosan jelen van.  $16$  és  $32$  Hz-en szintén folytonos, de alacsonyabb szórt teljesítmény detektálható. Ez utóbbiak elektromágneses zajforrása a bányában folyamatosan működtetett vízvivattyú.

A legalacsonyabb frekvenciájú Schumann-komponenst  $7,83$  Hz-en detektálható alacsony mesterséges forrásból



13. ábra A Laboratóriumban jellemző elektromágneses dinamikus spektrum az ÉÉNY (felső ábra) és a KÉK irányban (alsó ábra)

Figure 13 Characteristic dynamic spectra of the north north-west oriented sensor (upper panel) and the east east-north oriented sensor (lower panel) installed in the MGGL



**14. ábra** Reprezentatív felszín – MGGL koherenciafüggvény két iránynak megfelelően (bal és jobb oldali ábra)  
**Figure 14** Magnitude – square coherence of the time series recorded at the MGGL and surface stations in the east-north-east (left panel) and the north-north-west (right panel) directed sensors

származó elektromágneses háttér teljesülése mellett találunk. A frekvencia kismértékű periodikus ingadozásait a rezonátor geometriájának hasonló periódusokhoz köthető módosulásai okozzák. A felszíni és a mélybeli adatok koherenciavizsgálata révén megállapítható volt, hogy az adott helyszín, mérési geometria, illetve a lokális villamos energiaelosztó hálózati topológia mellett, valamint a 16 bites AD-konverzió által biztosított felbontás alkalmazása nem teszi lehetővé, hogy a természetes eredetű spektrális komponenseket azonosítsuk a horizontális síkban, lásd *14. ábra*. A szondák áthelyezése a villamos tápkábelek közvetlen környezetéből, valamint 24 bites AD konverzió alkalmazása várhatólag jelentős javulást eredményez a természetes elektromágneses komponenseken alapuló elektromágneses átviteli függvényének méréssel történő megbecslésében.

### 8. Nagyskálás közetsűrűség-inhomogenitások mérése a kozmikus müonok nyomkövetésével

A kozmikus eredetű müonok eljutnak a Föld felszínére is. Egy föld alatt elhelyezett detektorral megmérhetjük ezeknek a részecskének a fluxusát, és feltárhatjuk a detektor feletti kőzet nagyskálás inhomogenitásait. Ezt az eljárást föld alatti barlangi üregek kutatására és fizikai kísérletek kozmikus részecskék keltette háttér mérésére alkalmaztuk korábban [38–42]. Jelen cikkben demonstráljuk a módszer alkalmazhatóságát az MGGL feletti Mátra hegység nagyskálás közetsűrűség-inhomogenitásainak feltárására is.

A kozmikus müonok energiavesztésének (elnyelődésnek) figyelembevételével kiszámolható a fluxus, ha nem túl vastag ( $\leq 100$  m) a kőzetréteg felette. A mért fluxus információt hordoz a detektor feletti kőzet sűrűség-hosszáról (átlagos sűrűség  $\times$  hosszúság), hasonlóan ahogy a röntgenberendezés információt nyújt a kis méretű ( $< 1$  m) testek belső szerkezetéről. A kőzetvastagság geodéziai mérésekkel határozható meg, ezután a kozmikus müonok fluxusának mérésével kiszámíthatjuk a nagyskálás sűrűség-inhomogenitásokat. Méréseink célja a fluxus és ezáltal a közetsűrűség-inhomogenitások meghatározása volt az MGGL feletti  $2\pi$  térszögben.

#### 8.1. Hordozható müondetektor környezeti alkalmazásai

Az MTA Lendület Innovatív Detektorfejlesztő Kutatócsoport (MTA Wigner FK) kifejlesztett egy hordozható, terepi mérésekre optimalizált müondetektort, a REGARD Müontomográfot [38–40]. A detektorrendszer a sokszálas gáztöltésű részecskedetektorok egyik új fajtáján, az ún. közeli katódos kamrán (Close Cathode Chamber, CCC) alapul [43, 44]. A detektorrendszer a kozmikus müonok nyomát hat, párhuzamosan egymás alatt 3,5 centiméterenként elhelyezett, 25 cm  $\times$  25 cm méretű CCC segítségével méri. A kamrák egy 37  $\times$  33  $\times$  27 cm<sup>3</sup> méretű plexidobozban vannak elhelyezve, ami mechanikai stabilitást nyújt és védi a detektorrendszert a külső, változó hőmérsékletű és páratartalmú környezettől. A kamrák 1,5 mm pontossággal mérik meg a



**15. ábra** A hat közeli katódos kamrából (CCC) felépülő hordozható müondetektor fényképe [41]

**Figure 15** The portable muon telescope consisting of six Close Cathode Chamber tracking layers [41]



rajtuk áthaladó részecskék pályájának helyét, ezáltal kb.  $1^\circ$  precizitással adható meg a kozmikus müonok iránya.

A detektorrendszeren Ar-CO<sub>2</sub> gázok (82:18 arányú) környezetbarát, nem gyúlékony keverékét áramoltatjuk át folyamatosan. Az kamrák felett elhelyezett adatgyűjtő (Data Acquisition, DAQ) rendszert Raspberry Pi miniszámítógép [36] vezérli (lásd 15. ábra) [41]. Az integrált DAQ rendszer látja el az elektronikákat és a CCC kamrákat kis- ill. nagyfeszültséggel, triggereli az adatfelvételt és az adattovábbítást, illetve a tárolását is maga végzi. Az egyes kamrákon mért részecskepálya-koordinátákat, az események idejét és a triggerinformációkat egy 16 GB-os SD kártyán tárolja el a DAQ rendszer. A detektorrendszer teljes fogyasztása 6 W.

A gáz fogyasztása is csekély, egy 10 literes, 150 bar nyomású palackról kb. 2 hónapig megfelelően üzemel a berendezés.

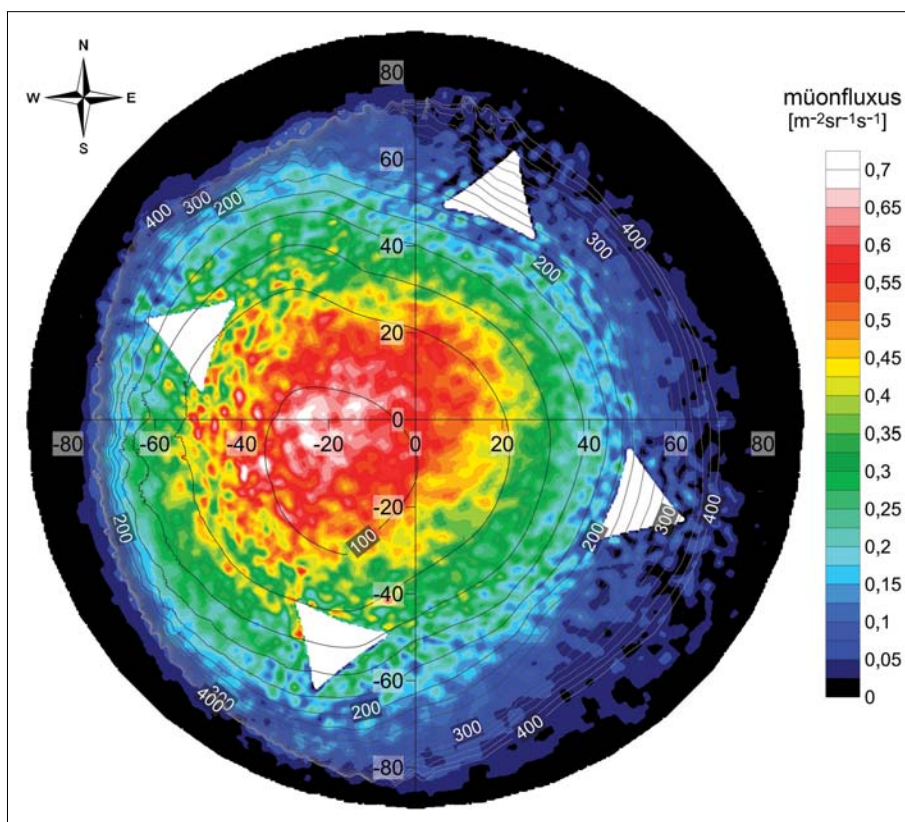
## 8.2. A kozmikus müonok fluxusának mérése az MGGL-ben

A detektort az MGGL ÉNy-i sarkában helyeztük el, és három különböző irányú méréssel (lásd 2. táblázat) lefedtük a teljes térszög felső felét. Az első, 48,3 nap időtartamú mérés során a detektor a függőleges  $0^\circ$  és vízszintes ÉK  $66,5^\circ$  irányba volt pozicionálva. A második, 41,9 nap időtartamú

**2. táblázat** Az első, gyöngyösoroszi bányában a Müontomográfal végzett mérési periódus összefoglaló adatai: a detektor vízszintes iránya É-hoz képest, a detektor döntésének szöge a függőleges iránytól, mérések időtartama, felvett események száma, rekonstruált részecskepályák száma

**Table 2** The summary table of the RUN-0 data collection by the muon tomograph of MGGL in Gyöngyösoroszi mine: the detector principal direction to the magnetic north and in zenith, the duration of the measurements, number of events, and the number of measured muon tracks

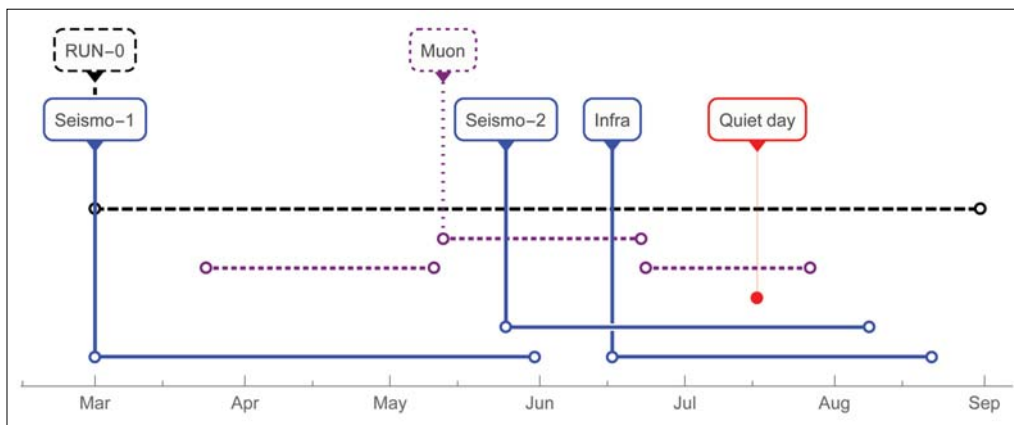
Mérés száma	Irány ( $^\circ$ )	Döntés ( $^\circ$ )	Időtartam (nap)	Események száma	Részecskepályák száma
Run-0-M2	zenit	0	48,3	4,7 M	111,700
Run-0-M3	ENE (65,5)	90	41,9	2,4 M	18,124
Run-0-M4	NNW (335.5)	90	34,5	3,1 M	12,356



**16. ábra** A kozmikus müonok fluxustérképe a vízszintes és függőleges irányok függvényében ábrázolva. Színskálás kontúrok mutatják a fluxust, fekete kontúrvonalak jelölik a detektor feletti közet vastagságát

**Figure 16** The cosmic muon flux map measured in MGGL is plotted as a function of azimuth and zenith angles from the detector position. Color-scale contours show the muon flux, dark contour lines show the detector-to-surface distance in meters





17. ábra | Az MGGL különféle berendezéseinek kiértékelt időszakai RUN-0 adatgyűjtés során

Figure 17 | The timeline of the different instruments of MGGL during RUN-0 data collection

mérés során a detektor vízszintes iránya azonos volt az elsővel, azonban 90 fokkal volt megdőntve a függőleges irányhoz képest. A harmadik, 34,5 időtartamú mérés során a detektor szintén 90 fokkal volt megdőntve a függőleges irányhoz képest, és DNY 335 fokban a vízszintes irány felé volt pozicionálva. Minden mérés  $\pm 50$  fokos szögterületet fedett le a függőleges és vízszintes irányban is, tehát a három különböző orientációjú mérés átfedésben volt egymással. A mérési adatokat Ethernet-kapcsolaton keresztül töltöttük le a detektorról a mérési periódus alatt a detektor működésének ellenőrzése céljából. A mérések során az időzítést a hálózati időprotokoll (NTP) biztosította.

### 8.3. A kőzetinhomogenitás-mérések eredménye

A mérési adatok elemzését nagyenergiás fizikában alkalmazott módszerekkel végeztük. A rekonstruált részecskepályák irányfüggésének, statisztikájának, a detektor geometriájának és határfokának figyelembevételével kiszámoltuk az egyes mérésekre a kozmikus müonok fluxusát. Ezután a különböző orientációjú méréseket összefésülve és az átfedő részeket a statisztikus hibákkal súlyozva kombináltuk. A fluxustérkép a 16. ábrán látható, ahol a kozmikus müonok fluxusát színskálás kontúrok jelölik. A három különböző mérés során a müonok tipikusan 0,005–0,02 Hz gyakorisággal érkeztek, ez 5–50%, a függőleges iránytól függő statisztikus hibát eredményezett. A mért fluxus maximuma nyugati vízszintes és  $20^\circ$  függőleges irányban  $0,7 \text{ m}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{s}^{-1}$  volt. A detektor feletti kőzet vastagságát a fekete kontúrvonalak jelölik, az értékek tipikus hibája 5% (5 m függőleges irányban). A 16. ábrán fehér nyilak jelölik a detektor irányítottságát a mérések során.

A 16. ábrán jól látható, hogy a mért fluxust jelölő kontúrok követik a kőzetvastagságot mutató kontúrvonalakat, azaz korrelálnak egymással. A jelenlegi statisztika a kőzetvastagság 10–15 m pontosságú meghatározására alkalmas. E széles tartományban nem láthatók nagy léptékű sűrűséginhomogenitások vagy üregek az MGGL felett. A sűrűség pontosabb meghatározásának céljából azonban további méréseket tervezünk.

## 9. Összefoglalás és következtetések

A berendezéseink tesztidőszak alatt mért adatainak komplex és korrelált összevetését korlátozza az, hogy az adatgyűjtés a különböző műszereken még nem volt szinkronizálva és a műszerek ritkán mértek egyszerre. A 2017-re tervezett következő (RUN-1) adatgyűjtési időszakban folyamatos párhuzamos adatgyűjtést tervezünk az összes telepített berendezésünkről. Ennek segítségével részletesebben azonosíthatjuk az alacsony frekvenciás zajforrásokat, illetve a földalatti telepítés hatását.

Az MGGL-ben mért zaj spektrumát a közeli Piskés-tetőn található szeizmológiai állomás adataival összehasonlítva megmutattuk, hogy az MGGL környezete a vizsgált frekvenciatartományban sokkal csendesebb a felszínnél (4., 5. ábra). Ahogy a bevezetőben említettük, az Einstein Teleszkóp előzetes helyszínekiválasztási mérései a gyöngyöSOROSZI mélyművelésű bányát a vizsgált helyszínek közül az egyik legcsendesebbnek találták [3, 5]. Ezek a vizsgálatok a bányában két mérőhelyen zajlottak és 3,5 napig tartottak. A kettő közül a felszínhez közelebbi mérőhely 1435 m-re van a bejáratától, 150 m-re a laboratóriumunktól. Ennek a mérésnek az eredményei – a mi Guralp berendezésünkkel regisztrált mérésekkel összevetve – kisebb zajszintet mutatnak a kritikus frekvenciatartományban. A lengyel kutatócsoport szenzorával mért hasonló adatok kisebb különbségre utalnak. 2016. július 16-án egy speciálisan szervezett csendes napot tartottunk, amikor a vízszivattyúzás és a rekultivációs munkák szüneteltek. Ennek a napnak a zajszintje meglepő módon közel van a többi „normális” nap zajszintjéhez, ahogy az a 8. ábrán látható.

Az említett előkészítő mérésben az elmozdulásspektrum időre és a 2 Hz feletti frekvenciákra integrált zajának négyzetes átlagszintjét használták a különböző helyszínek összehasonlítására [6]. Az MGGL RUN-0 adatgyűjtése alatt a Guralp szeizmométer adatai a csendes időszakokban hasonló értékeket mutattak, mint az előkészítő mérés felszínhez közelebbi mérőhelye. További vizsgálataink legfontosabb célja a különböző természetes és emberi eredetű zaj-

források azonosítása, Naticchioni és mtsai munkájában [45] leírtakhoz hasonlóan.

A szeizmikus zajszintnél relatíve magasabb infrahangszint (lásd 9. ábra) arra utalhat, hogy a bányában zajló emberi tevékenység a gravitációs hullámok szempontjából érdekes frekvenciatartományban nem zavar be és/vagy nem terjed a közetkörnyezetben.

A laboratórium méréseihez tartozik még a környezet elektromágneses zajainak vizsgálata is. Az eddigi méréseink magas elektromágneses zajszintet mutatnak, ami nem teszi lehetővé a természetes zajok megbízható meghatározását a szűrés hatékonyságának növelése nélkül. Ennek műszeres megvalósítása, illetve a szintén tervezett magnetotellurikus vizsgálatok műszerezettségének kiépítése folyamatban van.

A jelenlegi adataink alapján az MGGL müonfluxus-mérései homogén tömegeloszlású közetkörnyezetet jeleznek a laboratórium felett 10–15 m-es felbontásban, a zenithez mért szögtől függően.

## Köszönetnyilvánítás

Köszönjük a Nitrokémia Zrt. támogatását és hozzájárulását, különösen Váradi Árpád és Rofrits Vilmos részéről. Szintén köszönjük a Geofaber Zrt. munkáját és Noa Mitsui észrevételeit.

Ezt a kutatást az MTA EUHUNKP pályázata támogatta. VP és KR munkáját a következő OTKA és NKFIA pályázatok segítették: K104260, K116197, K120660, NK106119 és K116375. TB, MC, MS, DR és TS tevékenységében a NCN Grant UMO-2013/01/ASPERA/ST9/00001 pályázat segített. A müonfluxus-méréseket az MTA LP2013-60 számú Lendület pályázata tette lehetővé. BGG és VM köszönik az MTA Bolyai kutatási pályázatának hozzájárulását, valamint a NewCompStar Cost action 1304 támogatását.

## A tanulmány szerzői

Barnaföldi Gergely Gábor, Tomasz Bulik, Marek Cieslar, Dávid Ernő, Dobróka Mihály, Fenyvesi Edit, Dorota Gondek-Rosinska, Grácz Zoltán, Hamar Gergő, Huba Géza, Kis Árpád, Kovács Róbert, Lemperger István, Lévai Péter, Molnár József, Nagy Dávid, Novák Attila, Oláh László, Pázmándi Péter, Piri Dániel, Tomasz Starecki, Mariusz Suchenek, Surányi Gergely, Szalai Sándor, Varga Dezső, Vásúth Mátyás, Ván Péter, Vásárhelyi Balázs, Weszttergom Viktor, Wéber Zoltán

## Hivatkozások

- [1] Abbott B. P., Abbott R., Abbott T. D., Abernathy M. R., Acernese F., Ackley K., Adams C., Adams T., Addesso P., Adhikari R. X., et al. (2016): Observation of gravitational waves from a binary black hole merger. *Physical Review Letters* 116(6), 061102
- [2] Abbott B. P., Abbott R., Abbott T. D., Abernathy M. R., Acernese F., Ackley K., Adams C., Adams T., Addesso P., Adhikari R. X., et al. (2016): Gw151226: Observation of gravitational

- waves from a 22-solar-mass binary black hole coalescence. *Physical Review Letters* 116(24), 241103
- [3] ET Science Team. Einstein gravitational wave Telescope. Conceptual Design Study. Technical Report ET-0106C-10, June 2011. <http://www.et-gw.eu/etdsdocument>
- [4] Technical report. <http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/>
- [5] Beker M. G. (2013): Low-frequency sensitivity of next generation gravitational wave detectors. PhD thesis, Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam
- [6] Beker M. G., van den Brand J. F. J., Rabeling D. S. (2015): Subterranean ground motion studies for the Einstein Telescope. *Classical and Quantum Gravity* 32(2), 025002
- [7] Barnaföldi G. G. et al. (2016): First report of long term measurements of the MGGL laboratory in the Mátra mountain range. arXiv:1610.07630
- [8] Földvay G.Z. (1988): *Geology of the Carpathian region*. Word Scientific Publ.
- [9] Hartai É. (2011): *Geológia – A magyarországi értelepek genetikai csoportosításában*. Miskolci Egyetem, Földtudományi Kar, tankönyv, TÁMOP.
- [10] Józsa V., Czap Z., Vásárhelyi B. (2015): Geotechnical design of an underground mine dam in Gyöngyösorszi, Hungary. In G. Lollino et al. (eds), *Engineering Geology for Society and Territory*, Vol. 6, pp. 443–447. Springer Int. Publ.
- [11] Aki K., Richards P. G. (2002): *Quantitative Seismology*. University Science Books, Sausalito, California, 2nd ed.
- [12] Anderson D. L. (1989): *Theory of the Earth*. Blackwell
- [13] Scholz C. H. (2002): *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. Cambridge University Press, Cambridge, 2nd, 4th printing edn.
- [14] Matsuki K. (2008): Anelastic strain recovery compliance of rocks and its application to in situ stress measurement. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 45, 952–965
- [15] Lin W., Kuwahara Y., Satoh T., Shigematsu N., Kitagawa Y., Kiguchi T., Koizumi N. (2010): A case study of 3D stress orientation determination in Shikoku Island and Kii Peninsula, Japan. In: Ivan Vrkljan (ed.), *Rock Engineering in Difficult Ground Conditions (Soft Rock and Karst)*, pp 277–282, London, Balkema. *Proceedings of Eurock'09 Cavtat, Croatia, 2009*. X. 28–29.
- [16] Kovács L., Mészáros E., Deák F., Somodi G., Máté K., Jakab A., Vásárhelyi B., Geiger J., Dankó Gy., Korpai F., Mező Gy., Darvas K., Ván P., Fülöp T., Asszonyi Cs. (2012): *Geotechnikai értelmező jelentés (GÉJ) felülvizsgálata és kiterjesztése. Kézirat Irattár, Paks, RHK-K-032/12, RHK – Kőmérő Kft., Pécs*
- [17] Asszonyi Cs., Fülöp T., Ván P. (2015): Distinguished rheological models for solids in the framework of a thermodynamical internal variable theory. *Continuum Mechanics and Thermodynamics* 27, 971–986, arXiv:1407.0882
- [18] Biot M. A. (1954): Theory of stress-strain relations in anisotropic viscoelasticity and relaxation phenomena. *Journal of Applied Physics* 25(11), 1385–1391
- [19] Kluitenberg G. A. (1962): Thermodynamical theory of elasticity and plasticity. *Physica* 28, 217–232
- [20] Matsuki K., Takeuchi K. (1993): Three-dimensional in situ stress determination by anelastic strain recovery of a rock core. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 30, 1019–1022
- [21] Ván P., Szarka Z., Horváth R., Asszonyi Cs., Fülöp T. (2008): Reológiai alapmodellek és összekapcsolásuk. In: *Izotrop kontinuumok anyagtulajdonságai*, Asszonyi Cs. (szerk.), Méző Gy.

- geológia-Közetmechanika Kiskönyvtár, 6. kötet, 2. fejezet, 51–92 o. Műegyetemi Kiadó, Budapest
- [22] Fülöp T. (2008): Reológiai elemkapcsolások. In: Izotrop kontinuumok anyagtulajdonságai, Asszonyi Cs. (szerk.), Műnökgeológia-Közetmechanika Kiskönyvtár, 6. kötet, 3. fejezet, 93–120 o. Műegyetemi Kiadó, Budapest
- [23] Fülöp T. (2009): Rugalmas és reológiai lineáris feladatok. In: Kontinuummechanika feladatok megoldásáról, Asszonyi Cs. (szerk.), Műnökgeológia-Közetmechanika Kiskönyvtár, 9. kötet, 1. fejezet, 11–51 o. Műegyetemi Kiadó, Budapest
- [24] Müller I., Ruggeri T. (1998): Rational Extended Thermodynamics. Springer Verlag, New York etc., 2nd edn.
- [25] Verhás J. (1985): Termodinamika és reológia. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- [26] Verhás J. (1997): Thermodynamics and Rheology. Akadémiai Kiadó and Kluwer Academic Publisher, Budapest
- [27] Ván P., Fülöp T. (2012): Universality in heat conduction theory: weakly nonlocal thermodynamics. *Annalen der Physik* 524(8), 470–478, arXiv:1108.5589
- [28] Ván P. (2013): Thermodynamics of continua: The challenge of universality. In: Pilotelli M., Beretta G. P. (eds.), Proceedings of the 12th Joint European Thermodynamics Conference, pp. 228–233, Brescia. Cartolibreria SNOOPY. ISBN 978-88-89252-22-2, arXiv:1305.3582
- [29] Peterson J. (1993): Observations and modeling of seismic background noise. Open-File Report 93-322, USGS
- [30] Effler A., Schofield R. M. S., Frolov V. V., Gonzalez G., Kawabe K., Smith J. R., Birch J., McCarthy R. (2014): Environmental influences on the LIGO gravitational wave detectors during the 6th science run. arXiv:1409.5160v1
- [31] LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration (2016): Characterization of transient noise in advanced LIGO relevant to gravitational wave signal GW150914. *Classical and Quantum Gravity*, 33(13), 134001
- [32] Martynov D. V., et al. (2016): The sensitivity of the advanced LIGO detectors at the beginning of gravitational wave astronomy. *Phys. Rev. D* 93, 112004, arXiv:1604.00439v2
- [33] Creighton T. (2008): Tumbleweeds and airborne gravitational noise sources for LIGO. *Class. Quant. Grav.* 25, 125011
- [34] Driggers J. C., Harms J., Adhikari R. X. (2012): Subtraction of Newtonian noise using optimized sensor arrays. *Physical Review D* 86, 102001
- [35] Whitaker R. W. (1995): Infrasonic monitoring. Los Alamos National Lab NM
- [36] <https://www.raspberrypi.org/> (last view 23/09/2016)
- [37] <https://agenda.infn.it/getFile.py/access?contribId=142&sessionId=5&res-Id=0&materialId=slides&confId=10512>
- [38] Barnaföldi G. G., et al. (2012): Portable cosmic muon telescope for environmental applications. *Nucl. Instrum. Meth.* A689, 60–69
- [39] Oláh L., et al. (2012): CCC-based muon telescope for examination of natural caves *Geosci. Instrum. Method. Data Syst.* 1, 229–234
- [40] Oláh L., et al. (2013): Cosmic muon detection for geophysical applications. *Adv. High Energy Physics* V2013, 560192(7)
- [41] Oláh L., et al. (2015): Close Cathode Chamber technology for cosmic particle tracking. *Journal of Physics: Conference Series* 632, 012020
- [42] Oláh L., et al. (2016): Cosmic background measurements at a proposed underground laboratory by the REGARD muon tomograph. *Journal of Physics: Conference Series* 665, 012032
- [43] Varga D., et al. (2011): Asymmetric multi-wire proportional chamber with reduced requirements to mechanical precision. *Nucl. Instrum. Meth.* A648, 163–167
- [44] Varga D., et al. (2013): Close cathode chamber: Low material budget MWPC. *Nucl. Instrum. Meth.* A698, 11–18
- [45] Naticchioni L., Perciballi M., Ricci F., Coccia E., Malvezzi V., Acernese F., Barone F., Giordano G., Romano R., Punturo M., et al. (2014): Microseismic studies of an underground site for a new interferometric gravitational wave detector. *Classical and Quantum Gravity* 31(10), 105016

# Jelentős évfordulók az Eötvös-ingamérések történetében

## A Ság hegyi mérés 125. és az egbelli mérés 100. évfordulójára

SZABÓ Z.

E-mail: szabo.zoltan@mfgi.hu

2016-ban Eötvös-ingamérések két jelentős eseményének évfordulóját ünnepeltük. 125 éve került sor a torziós inga terepi körülmények közötti kipróbálására a dunántúli Ság hegyen; 100 éve pedig az első terepi felmérésre az Egbell környéki, fúrásokkal már feltárt kőolajmezőn, annak ellenőrzésére, hogy miképpen tükröződik az eredményekben az elfedett antiklinális. Ez utóbbi sikeres mérés jelentette a kőolajkutató geofizika megszületését.

### Szabó, Z.: Actual anniversaries related to Eötvös' torsion balance

125 years ago, Loránd Eötvös carried out his first field survey on the plateau of a truncated cone-shaped basalt hill. The successful test measurements proved applicability of his delicate instrument under field conditions. 100 years ago, torsion balance measurements were carried out in the region of Egbell where oil was produced from a recognized anticlinal structure. The aim of these measurements was to evaluate the effect of the oil-bearing anticline on torsion balance data. These results proved the efficacy of the torsion balance in oil prospecting and paved the way towards world renown for Eötvös and his balance.

Beérkezett: 2017. január 18.; elfogadva: 2017. január 22.

### A Ság hegyi mérés története és jelentősége

Eötvös Loránd érdeklődése, a kapillaritással foglalkozó vizsgálatai befejeztével, az 1880-as évek második felében fordult a gravitáció felé. *A középkor előítéleteinek és csodaszereinek lomtarából 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. Az igaz, hogy nem arra kértem, hogy rejtett kincseket mutasson; arra sem, hogy ellenségeimet, ha vannak, megjelölje; csak azt kívántam tőle, engedjen bepillantani annak az erőnek rejtélyeibe, mely e Földön mindent mozgat, mindennek kijelöli helyét.* – emlékezett vissza az MTA 1901. május 12. közgyűlésén mondott, a Föld alakjának kérdése című, elnöki megnyitó beszédében.

Kezdeti kísérleteihez a Coulomb-féle ingát használta, a tömegvonzás szemléltetése során vetődött fel benne a kérdés, hogy kitérítő tömegek hiányában mi határozza meg az inga egyensúlyi helyzetét. Elméleti vizsgálatai során meg-

állapította, hogy kitérítő tömegek hiányában a Coulomb-féle inga egyensúlyi helyzetét a földi nehézségi erőter szint-felületének alakja (mely definíció szerint megegyezik a Föld alakjával) határozza meg. Ha azonban az ingakaron elhelyezkedő tömegek közül az egyiket egy vékony szál segítségével alacsonyabb szintre helyezi, akkor az így módosított ingával a Föld alakján kívül a nehézségi erő legnagyobb vízszintes irányú gradiensének irányát és nagyságát is meg tudja határozni.

Első torziósinga-méréseit laboratóriumi körülmények között végezte, majd a Rudas fürdő épületében, ahol arra volt kíváncsi, hogy miként jelentkezik a Gellért-hegy tömeghatása a mérési eredményekben. A következő lépés annak kipróbálása volt, miként viselkedik ingája a szabad természetben. Legegyszerűbb helyszínnek pestszentlőrinci nyaralójának kertje kínálkozott. Az ingát egy jól szigetelt sátorban állította fel és abban végezte méréseit, melyek során megállapította, hogy a műszer meglehetősen érzékeny a hőmérséklet-változásokra, ezért célszerű a méréseket éjszaka végezni. Az észlelt értékek az elméletnek megfelelően



jóval kisebbek voltak, mint amit a Gellért-hegy tövében kapott. Ezzel kapcsolatban az 1900. évi párizsi fizikai kongresszus részére összeállított jelentésében az alábbiakat írja: *... úgy hiszem sokkal érdekesebbek azok a változások, melyeket sík területeken találunk. Ezek a szemeink előtt rejtett föld alatti tömegeknek, álláspontunk alatt elvonuló nagyobb sűrűségű lejtőknek, hegyeknek és völgyeknek megnyitkozásai. Budapesttől délkeleti irányban 7-8 kilométernyire fekvő szt.-lőrinczi kertemben volt alkalmam ilyen hatásokat megfigyelni. A nehézség itt, bár sík területen állunk, a normális változásnak mégis mintegy hatszorosát teszi ki és irányában is attól eltérést mutat. Milyen érdekes feladat volna, támogatva geodetikai mérésektől egy nagyobb területnek, például a nagy magyar Alföldnek ily irányban rendszeres átkutatása.*

A fenti idézet is bizonyítja, hogy Eötvös már torziós ingájának megalkotásakor nemcsak tisztában volt műszerének lehetséges földtani alkalmazhatóságáról, de az Alföld rendszeres átkutatását egyenesen érdekes feladatnak tartotta.

Az első tényleges terepi körülmények között folyó mérésre 1891 augusztusában került sor a Celldömölk melletti Ság hegyen. A mérési hely kiválasztását két szempont vezérelte. Egyrészt az akkor még közel szabályos csonkakúp alakú hegy (1. ábra) gravitációs hatása aránylag könnyen kiszámítható, így alkalmas volt a mérési eredmények ellenőrzésére. Másrészt előzőleg Sterneck ezredes, a bécsi Katonai Földrajzi Intézet későbbi vezetőjének relatív-ingamérései a hegytető mintegy 150 m távolságra levő két pontjának nehézségi erő értéke között feltűnően nagynak számító, 33 mGal különbséget adtak. Eötvös, aki figyelemmel kísérte Sterneckék méréseit, gyanúsnak tartott ekkora különbséget.

*...ily kis távolságban ilyen nagy változást a nehézségre vonatkozó elméleteink nem tudnak indokolni –* mondotta, és úgy gondolta, hogy a Ság hegyi mérései amellet, hogy bebizonyíthatják műszerének terepi körülmények közötti alkalmazhatóságát, egyben megerősíthetik vagy megcáfolhatják Sterneck eredményeit.

A tervezett mérések végrehajtásához szükséges anyagi fedezet azonban nem állt rendelkezésre. Kapóra jött azonban az Akadémia matematikai és fizikai bizottságának fizikai ill. fizikai-földrajzi témára kiírt pályázata, melyet Eötvös fiatal munkatársai, az alább idézett beadvánnyal megpályáztak, és el is nyertek. Az lett volna meglepő, ha nem nyerik el, lévén Eötvös Loránd az Akadémia előző évben megválasztott elnöke.

*A Tudományos Akadémia*

*Tekintetes matematikai és természettudományi állandó Bizottságának.*

*Tekintetes Bizottság!*

*A nehézségi gyorsulásnak és annak különböző irányokban való változásának meghatározása a legújabb időben nagy pontosságú és általános érdekű tényezővé vált, részint a geodézia szempontjából, a geoid alakjának meghatározására, részint a geofizika szempontjából, lokális tömegeloszlási sajátságok tanulmányozására, melyek közül különösen a hegy tömegek úgynevezett kompenzációjának kérdése és tömegközéppontjának helyzete az, mely elsősorban foglalkoztatja az érdeklődőket. De fontosak a mondott mérések a tiszta fizika szempontjából is, amennyiben Sterneck Róbert*



**1. ábra** | A Ság hegy a mérések idején, a kőbányászat megkezdése előtt  
**Figure 1** | Ság hill at the time of the torsion-balance measurements

hasonló irányú megfigyelései izolált fekvésű bazaltos hegykúpokon immár harmadízben oly gyorsulási értékekhez vezettek, mely – úgy látszik – az eruptív kőzetek valamely sajátos, az általános tömegvonzással talán nem azonos attrakciójára vezetendő vissza.

A vas megyei Sághegy szabályos csonka kúpalakjánál, teljesen izolált fekvésénél ugyancsak eruptív kőzetű összetételénél fogva különösen alkalmas a mondott megfigyelések foganatosítására s Sterneck csakugyan meg is határozta környezetében a nehézségi gyorsulást. Mi, birtokában lévén báró Eötvös Loránd fölötté érzékeny instrumentális módszerének, legfontosabban és gondosan kidolgozott elméletének, legmelegebben óhajtanók ezen kiváló alkalmas hegytömeg magaviseletét megvizsgálni, eldönteni iparkodván, milyen a hegy belsejében a tömegeloszlás, milyen tengelyének fekvése, barycentrikus-e s ez esetben hol keresendő tömegközéppontja, mutat-e a kiemelkedő tömegnek megfelelő defektust?

A vizsgálódás kivitelét, amennyire ez nagyobb vonásokban körülírható, a következőkben állapíthatjuk meg:

- I. Az egyenlő nehézségű görbék kijelölése a hegy alján és annak plateauján, a csavarási mérlegnek Eötvös Loránd által adott egyik alakjával (különböző nivauban felfüggesztett tömegek)
- II. A hegy tömeg középpontjának meghatározása több pontban való felvételek alapján (különböző nivauban felfüggesztett tömegű csavarási mérleggel)
- III. A nehézségi gyorsulás lefelé való változásának meghatározása, a hegy tengelyén átmenő első vertikális

síkban (vagy a különböző nivauban felfüggesztett tömegű csavarási mérleggel, vagy esetleg lassan lengő ingával, vagy közösleges mérleggel)

IV. Jellemző pontokban a hegy nivaufelületének, főgörbületi sugarainak iránya és nagyságának meghatározása (az egyenlő nivauban felfüggesztett tömegű csavarási mérleggel)

V. A függőleges irány lokális eltéréseinek megfigyelése a plateau karimáján (geodéziai és asztrológiai módszerekkel)

Vonatkozással a f.é. március 31.én beadott vázlatos terüinkre, kérjük a tudományos Akadémia matematikai és természettudományi Tekintetes Bizottságát:

Kegyeskedjék az általa a f. évre kiírt kétezer forintos és fizikai, vagy fizikai geográfiai munkálatokra fordítandó pályázatösszeget az alázattal alulírottaknak kiutalványozni, hogy a kijelölt tervezetet nyár folyamán foganatosíthassák, s méltóztassék megengedni, hogy esetleges megbízás esetén már most is fejezhessük ki köszönetünket báró Eötvös Lorándnak műszereinek ritka szíveséggel tett átengedési ígéretét.

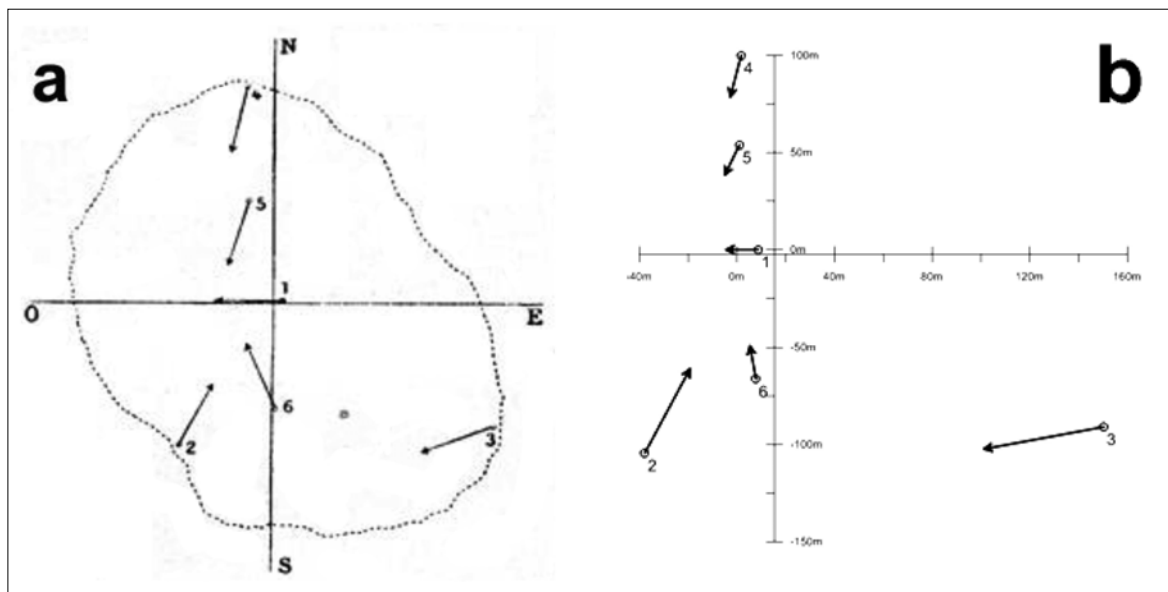
A Tekintetes Bizottságnak  
kelt Budapesten, 1891 április hó 19.-én

alázatos szolgálói:

Iff. Bodola Lajos    Dr. Kövesligethy Radó    Tangl Károly  
műeg.ny.rk. tanár    egy.m.tanár és tanársegéd    tanárjelölt



**2. ábra** | A Ság hegyi mérés, Eötvös Loránd a távcsőnél. Áll: Tangl Károly, baloldalt Bodola Lajos, jobboldalt Kövesligethy Radó  
**Figure 2** | Observation on Ság hill. Loránd Eötvös at the telescope, among his colleagues



**3. ábra** Mérési eredmények. a) Az eredeti térkép, a nyilak csak a maximális gradiens irányát jelölik, a pontozott vonal pedig a plató peremét. b) A később kialakított, informatívabb eljárás szerint átszerkesztett térkép: a nyilak mérete a gradiensek nagyságával arányos

**Figure 3** Results. a) The original map, the arrows only showing the direction of the maximum gradient, the dotted line marks the edge of the plateau. b) The map reconstructed according to the familiar and more informative method: the lengths of the arrows are proportional to the size of the gradients

A műszer és immáron az anyagi fedezet is rendelkezésre állt így 1891 augusztusában az expedíció tagjai Kövesligethy Radó, Tangl Károly és Bodola Lajos – később neves egyetemi tanárok – Eötvös vezérletével kivonulhattak a körülbelül 1600 m átmérőjű, környezetéből 150 m magasságra kiemelkedő, kristályos bazaltból és tufából felépített vulkanikus hegy mintegy 200 m átmérőjű, közel kör alakú, sík platójú Ság hegyre (2. ábra). A plató hat pontján végzett méréseik bebizonyították, hogy a szinte hihetetlenül érzékeny torziós inga terepi körülmények között is megbízhatóan működik. Mint írja: *Sterneck e hegyen az ingával végzett megfigyeléseiből a többi között azon meglepő következtetéshez jutott, hogy a nehézség a plató szélén (ábránkban a 2. pontban) mintegy 1/30 000 részével (mintegy 33 milligallal) nagyobb, mint annak közepén (ábránkban az 1. pont).* Eötvös szerint: *... olyan úgy irányát, mint nagyságát tekintve feltűnő változás ez, melyet a nehézségre vonatkozó mai elméletünk alig tudna igazolni. Ez adatokból és ábránkból, melyen az észlelés helyei a nehézség nagyobbodásának irányai nyilakkal vannak jelelve, kitűnik, hogy a nehézség a plató széleitől befelé nagyobbodik, nem pedig fordítva, mint azt Sterneck maga megfigyeléseiből következtette.*

Eötvösök mérései Sterneck eredményeit megcáfolták, a két észlelési pont nehézségi erő értékének különbségére mindössze 4,7 mGal, ráadásul ellenkező előjelű értéket kaptak. A fentiek alapján Eötvös megalapozottan állapíthatta meg, hogy a Ság hegyen is minden rendben van (3. ábra).

### Az egbelli mérés előzményei és tudománytörténeti jelentősége

A 100 évvel ezelőtt végzett egbelli mérés fontos mérföldkő a földtudományok történetében. Nem kevesebbről van

ugyanis szó, mint az alkalmazott geofizika, pontosabban a kőolajkutató geofizika megszületéséről. Az eseménnyel kapcsolatban kétféle téves nézet is létezik miszerint: 1) A torziós inga földtani célú alkalmazhatóságára Böckh Hugó, a kiváló geológus hívta fel elsőként a figyelmet, ezt a nézetet már a fentiekben cáfoltuk. 2) Az egbelli olajmezőt torziós-inga-mérések alapján fedezték fel. Egyik állítás sem felel meg a valóságnak. A dolgozat egyik célja éppen az, hogy rámutassunk, kinek milyen szerepe volt az eseményekben. A történet főszereplői Eötvös Loránd és Böckh Hugó.

Történetünkben jelentős szerep jut Wekerle Sándor miniszterelnöknek és pénzügyminiszternek is, aki 1893 júniusában levélben kereste meg Böckh Jánost (Böckh Hugó édesapját) a Földtani Intézet igazgatóját, melyben többek között a következőket írja:

*A hazai fogyasztó közönségre úgy, mint kifejlett kőolaj-finomító iparunkra nézve fölülte fontos, hogy a nyers olaj az országban nyeressék.*

*Eddig a mint az Nagyságod előtt is ismeretes, számos vállalat kutatott petroleumra az ország több vidékén, nevezetesen: Máramaros-, Szilágy-, Heves- és Zala vármegyékben, a kutatások azonban többnyire csak a felsőbb rétegekre szorítkoztak, kevesen hatoltak le 100 méteren alól és csak két mélyfúrás jutott 300 métert meghaladó mélységig. ...*

*Most már országos érdeket képez, hogy ebben a kérdésben minél előbb bizonyosság szereztessék és minthogy ezt állami támogatás nélkül alig lehetne elérni, a folyó évi állami költségvetésben erre a célra 50,000 frtot irányoztam elő. ...*

*Minthogy pedig a költségvetésben erre a célra engedélyezett összeget kisebb – csak a felső rétegekre szorítkozó s így megfelelő eredményt nem biztosító – fúrásokra elfecse-relni nem kívánom, szükségesnek találom, hogy a mélyfúrá-*

sok a geológiai viszonyok alapos tanulmányozásával kez-  
dessenek meg, a fúrólukak pedig alkalmas pontokon mind-  
addig mélyítsenek le, míg a petroleum formációt keresztül  
nem fúrják oly célból, hogy megtudjuk, vajjon van-e benne  
kőolajtartány?

Budapest, 1893. évi június 12-én.

Wekerle s.k.

E levél tanúsága szerint az ország vezetése tudatában van  
a kőolaj fontosságának. Látjuk, hogy a kőolajkutatáshoz  
szükséges pénz és műszer az 1890-es évek első felében ren-  
delkezésre állt, és csak idő kérdése volt, hogy a kettő mikor  
talál egymásra.

A téma esedékességét és fontosságát bizonyítja, hogy  
1911-ben megszületik az ásványolajfélékről és a földgázak-  
ról szóló VI. törvénycikk, melynek 1. paragrafusa szerint: *A  
természetes településben előforduló ásványolaj-félék, ... a  
természetes településben előforduló éghető földgázak tekin-  
tetében a kutatási és bányaművelési jog az állam részére  
tartatik fenn.* Az 5. paragrafus pedig kimondja: *Aki akár bá-  
nyászati kutatás (mélyfúrás) közben .... akár pedig más  
földmunka, pl. kút-fúrás közben az állam részére fenntartott  
ásványolaj-féjét, vagy földgázt talál, köteles erről a bányá-  
hatóságnak haladéktalanul jelentést tenni, és a munka foly-  
tatását további intézkedésig megszüntetni.*

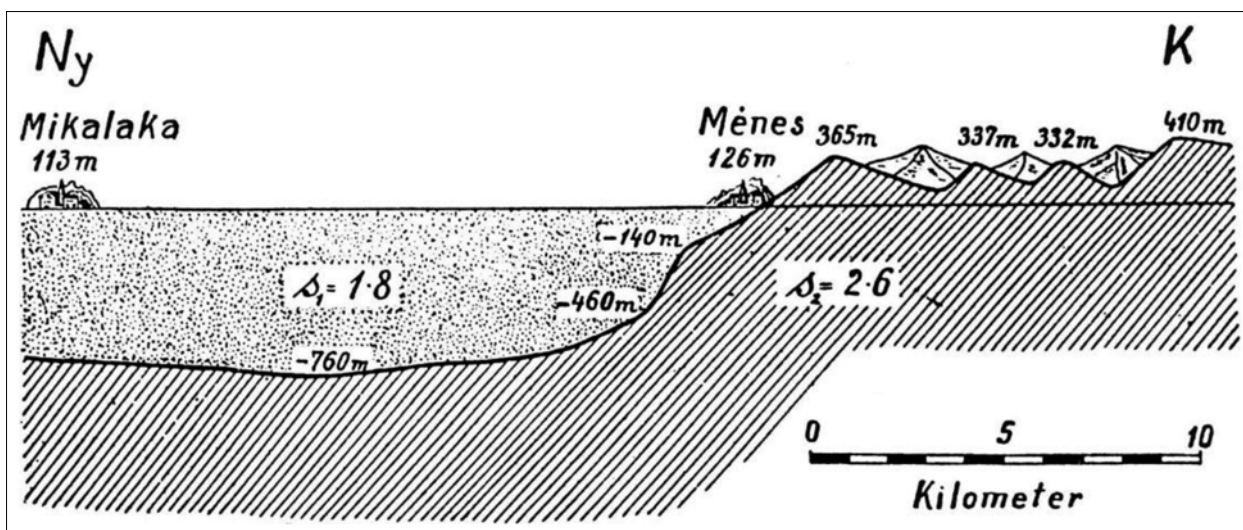
A Ság hegyi méréseket követően Eötvös Süss Nándor  
(a Precíziós Mechanikai és Optikai Intézet R.T. megalapí-  
tója) közreműködésével intenzíven dolgozott az inga terepi  
változatának kifejlesztésén. A véglegesnek tekinthető válto-  
zat, a kettős nagy inga 1902-ben készült el, és ezt követően,  
jórészt Semsey Andor anyagi támogatásának köszönhetően,  
megindulhatott a szisztematikus terepi kutatás.

Hogy Eötvös, a fizikus számára mennyire fontos volt mé-  
réseinek földtani értelmezése, azt a Magyar Tudományos  
Akadémia 1901. évi közgyűlésén mondott elnöki beszédé-  
nek az alábbiakban idézett költői szépségű részlete bizo-

nyítja legszebben: *Itt, lábaink alatt terjed el, hegyek koszo-  
rújával övezve az Alföld rónasága. A nehézség azt lesimit-  
ván, kedve szerint formálta felületét. Vajjon milyen alakot  
adott neki? Micsoda hegyeket temetett el és mélységeket  
töltött ki lazább anyaggal, amíg létrejött ez az aranykalá-  
szokat termő, magyar nemzetet életető róna? Amíg rajta já-  
rok, amíg kenyerét eszem, erre szeretnék még megfelelni.*

A célkitűzést tettek követték, és az elkövetkező évek te-  
repi mérései egyre több földtani következtetésre adtak lehe-  
tőséget. Így jutottunk el az Arad környéki mérésekhez, melyek  
kiértékelésekor, 1906-ban megszületett az első, torziós-  
inga-mérések alapján szerkesztett földtani szelvény (4. áb-  
ra). Eötvös földtani következtetései hamarosan felkeltették  
a bányakutatással foglalkozó szakemberek és hivatalosságok  
figyelmét is. Ebben az időszakban kezdődött ugyanis az  
Erdélyi-medence részletes földtani feltérképezése, melynek  
célja elsősorban a műtrágya gyártáshoz szükséges kálisó-  
telepek felkutatása volt. Kezdetben a sós kutak vizét anali-  
zálták, de mivel ezek a vizsgálatok nem vezettek eredmé-  
nyre, id. Lóczy Lajos indítványára 1908-ban Nagysármás ha-  
tárában fúrásos kutatás kezdődött. Az első fúrás különösebb  
eredményekkel nem szolgált, ezért Kissármás határában  
egy újabb fúrást mélyítették, melyből oly erővel és mennyi-  
ségben földgáz tört fel, hogy maga a fából készült fúrótorny  
is kigyulladt. Ezt az első sikeres fúrást hamarosan kö-  
vették a többiek.

Miután az erdélyi földgáz előfordulások zöme antikliná-  
lis szerkezetekhez kötött, hamarosan felmerült az ötlet,  
hogy a kutatásokba célszerű bevonni az Eötvös-ingaméré-  
seket. 1911. június 12-én Lukács László pénzügyminiszter  
levélben kéri Eötvös véleményét az ingamérések használ-  
hatóságáról a nyersanyagkutatásban: *Ama fényes eredmé-  
nyek, melyeket Nagyméltóságod a földünk mélyében rejlő  
nagyobb tömegek elosztásának a torziós inga segítségével  
való meghatározásánál elért s melyek a tudományos világ  
osztatlan elismerésével találkoztak, arra indítanak, hogy  
felkérjem Nagyméltóságodat, méltóztassék nyilatkozni az-*



4. ábra | Torziósinga-mérések alapján szerkesztett első földtani szelvény (Arad, 1906)  
Figure 4 | The first geological cross section constructed from gravity data (Arad, 1906)



*iránt, vajjon a földgáz petróleum és kálisó előfordulása és a föld mélyében való elosztása az említett módon meghatározható-e s ha igen, hajlandó volna-e Nagyméltóságod az ily irányú kísérleteket egyelőre az erdélyrészi Mezőségen végezni.*

A miniszter levelére, meglepően hamar, már június 24-én megszületik Eötvös válasza. Nem érdektelen talán szó szerint idézni a levelet, mert ennek következtében alakult ki Eötvös és a pénzügyminisztérium kapcsolata, mely a kezdetekben – mint azt a későbbi levelek tanúsítják – nem volt teljesen felhőtlen, de végül minkét fél számára gyümölcsözőnek bizonyult. Eötvös ingájának meghozta a világhírt, a pénzügyminisztérium földtani kutatásai pedig egy addig ismeretlen kutatási eszköz alkalmazásával gazdagodtak.

*Nagyméltóságú Miniszter Úr!*

*Nagyméltóságod f.h. 12-én kelt reám nézve felette megtisztelő felszólításában nyilatkozattételre hív fel, arra vonatkozólag, nem volnának-e az általam megkezdett kutatási módnak a földgáz, petróleum és kálisó felkeresésében értékesíthetők, s nem volnék-e hajlandó ilyenemű vizsgálataimat egyelőre az erdélyi Mezőség területére irányítani.*

*Hálával telve azon bőkezű támogatásért, mellyel kormányunk, különösen Nagyméltóságod jóakaró hozzájárulásával, egyelőre tisztán tudományos érdekű vizsgálataimat támogatata, elsőrendű kötelességemnek tartom, amennyiben lehetséges azokat a közjó érdekében gyakorlatilag is értékesíteni.*

*Engedje meg Nagyméltóságod, hogy néhány sorban kifejtsem mi az amit ezirányban már ma tehetek.*

*Alapos tudással és érdekesen tüntetik elő dr. Böckh Hugó és Böhm Ferenc urak az erdélyi medence alkati viszonyát abban a jelentésben, melyet Nagyméltóságod a legújabbán kiadni s nekem is szívesen megküldeni méltóztatott. Kitűnik abból az, hogy míg földgáz lelőhelyeinek felkeresésére már a felülfekvő rétegek hajlatai és a természetes gázkiömlések is kielégítő felvilágosítást nyújthatnak, addig a netán jelenlevő petróleumnak és különösen az értékes sóknak települési viszonyai csak a medence fenekének ismerete alapján volnának bizonyos valószínűséggel megállapíthatók.*

*Az inga, a mágnestű és a torziós mérleg oly módon használva, amint azokat a nagy alföldön végzett kutatásaimnál már eddig is használtam tényleg hivatva látszanak arra, hogy felvilágosításokat adjanak a mélyégek ama rejtélyeiről, melyekhez nem fér a geológus kalapácsa. Az ilyenemű felvilágosítás nem vonatkozhatik ugyan annak pontos megállapítására, hol van földgáz, petróleum vagy kálisó, de szolgálatot tehet olyan helyek kijelölésében, ahol az értékes anyagok jelen lehetnek s ahol azért azokat keresni érdemes.*

*Ilyenemű kutatásokat az erdélyi medence területén eddig egyáltalán nem végeztem s e pillanatban csak arról lehet szó, hogy az első tájékoztató lépéseket tegyem meg e munkáltokhoz, melyek előreláthatólag több évet fognak igénybe venni. Kezdetül már is intézkedtem, hogy derék munkatársam Oltay Károly a nyár folyamán az erdélyi*

*medence több helyén ingaméréseket végezzen. Az új területen megindítandó kutatások mellett fő teendőm a jelen nyár és ősz folyamán a nagyalföldön folyamatban lévő mérések folytatása lesz. Két okom van arra, hogy én és társaim nem vetjük magunkat azonnal egész erőnkkel a Nagyméltóságod által javasolt új vállalkozásra: az egyik az, hogy eddigi munkálataink folytatása az alföld gazdasági viszonyai miatt csakis augusztustól novemberig terjedő hónapokban lehetséges, amikor a különben művelés alatt álló területeken méréseinket zavartalanul végezhetjük; a másik ok az, hogy kutatásainkat a már némileg ismert területeken folytatva ott tapogatózás helyett már tervszerűleg tudunk célunk felé haladni.*

*Aradtól Bajáig Pankotától Verseczig, Vukovártól Triesztig jártuk be ezközeinkkel eddig az alföld déli részeit. Mint az utas ismeretlen vidékeken egyelőre csak meglepetésszerűen jutottunk egyes földszint alatti alakulatok megismeréséhez. A többszörös egymást keresztező utak tapasztalatai után azonban ma már tervszerűen tudjuk keresni az egyes alakulatok folytatását, közelebb jutva így a végcélhoz, amely az egész nagy terület szubterrán térképének megrajzolása.*

*Két feltűnő tömegvonulat kötötte le már eddig is figyelmünket, ezeknek részletesebb kutatása lesz éppen az idei munkálatainknak egyik feladata. Az egyik vonulat Aradtól 4–5 kilométerrel délre indul ki és 25–30 km hosszúságban nyugat felé halad, a másik Szeged és Makó között közel dél – északi irányban vonul s valószínűleg eruptív jellegére való mágnese hatásai miatt különösen érdekes.*

*E részletekre azért bátorodom felhívni Nagyméltóságod figyelmét, mert kapcsolatban állanak a nagyalföld esetleg kiaknázzható földgázforrások kérdésével. Ha tudni illik ott is érvényesülne a Böckh és Böhm urak jelentése szerint úgy a mezőségekben, mint Amerikában felismert tapasztalati szabály, miszerint a földgáz források az antiklinálisok mentén a leggazdagabbak, hogy az itt említett vonulatok pontosan megállapítható antiklinálisai mentén végzendő fúrások felvilágosítást nyújthatnának azon gazdaságilag fontos kérdésnek eldöntésére, remélhető-e a nagy alföldön a földgáz forrásoknak hasznos értékesítése.*

*Hozzátehetem, hogy éppen a kijelölt antiklinálisok lejtőin úgy Aradon, mint tudtommal Makón is már vannak gazdaságilag kihasznált, bár kisebb értékű földgáz források. Bár az alföldön eddig szerzett tapasztalatok alapján alig kecsegtethetjük magunkat azzal a reménnyel, hogy e helyeken a Kissármásival egyenlő gazdagságú gázforrásokhoz jussunk a próbafúrást ott mégis indokoltnak találnám különös tekintettel a gáz nagy gazdasági értékére olyan ipari fejlődésre képes városok közelében, mint aminő Arad és Szeged.*

*A jelen év őszén elegendő adatom lesz arra, hogy a fúrásra legkedvezőbbnek mutató helyeket pontosabban kijelöljem s akkor, ha Nagyméltóságod a próbát elrendelni kívánja, az adataimmal legnagyobb örömmel rendelkezésre állok.*

*Röviden törekedtem előadni azt, amire Nagyméltóságod kitüntető felszólítása értelmében már ma vállalkozni merek, de hozzá kell tennem azt, hogy a szóban forgó kérdések be-*

ható felderítését csak hosszú éveken át folytatott rendszeres kutatásoktól várhatom. Engedje meg azért Nagyméltóságod, hogy ez alkalommal is kérjem, járulna hozzá a nagyméltóságú vallás és közoktatásügyi miniszter úrnak benyújtott azon előterjesztésemhez, melyben egy állandó geofizikai intézetnek felállítását kérem az eddig ilyenmű kutatásokra kiutalt éves államsegély költség keretében.

Fogadja Nagyméltóságod kiváló tiszteletem őszinte nyilvánítását.

1911. június 24.

Eötvös Loránd

A pénzügyminisztérium megörült Eötvös pozitív válaszána és nem sokat késlekedett a felkéréssel, hogy Eötvös a hasznosnak ígérkező torziósinga-méréseket beindítsa az Erdélyi- medencében:

*N a g y m é l t ó s á g ú B á r ó Ú r !*

Folyó évi június hó 24-én kelt hozzám intézett nagybecsű beadványában foglalt ama készségért, mellyel Nagyméltóságod kutatási módszereivel a földgáz, petroleum és kalium só felkeresésében részt venni s a helyszínen dolgozó geológusainkat támogatni hajlandó őszinte köszönetemet kifejezve felkérem Nagyméltóságodat, hogy a méréseket lehetőleg ott méltóztassék végeztetni, ahol a geológusok a fúrásokat ajánlják. Felkérem ennél fogva Nagyméltóságodat, méltóztassék Oltay Károly urat felhívni, hogy a kolozsvári m. kir. bányászati kutató kirendeltséggel lépjen érintkezésbe s közölje vele észleleteinek esetleges gyakorlatilag fontos eredményeit.

Ez alkalommal van szerencsém Nagyméltóságodat értesíteni, hogy az erdélyrészi geológiai fölvételek vezetői: dr. Böckh Hugó (5. ábra) m. kir. főbányatanácsos és főiskolai



5. ábra | Böckh Hugó (1874–1931)

Figure 5 | Hugó Böck (1874–1931)

tanár és Böhm Ferencz m. kir. bányamérnök ismételten ráutaltak arra a nagy fontosságra, mellyel az antiklinálisok belső szerkezetének pontos ismerete a fúrások telepítése szempontjából bír.

Felette fontos és nagy gyakorlati értékű dolog volna, ha Nagyméltóságod által inaugurált és feltalált mérési módokkal az antiklinálisok diapir magjának és az abban feltételezhető sötömegek helyzetét ki lehetne nyomozni. E mérésekre a sármási antiklinálison Nagy és Kissármásnál, Mezősámsondnál, Ugránál és Bánánál (Felsőbajom) fektethető keresztshelvényeket hozzák elsősorban javaslatba.

Ami a Nagyalföldön végzendő kutatásokat illeti arra kérem Nagyméltóságodat, hogy azok eredményeit és az esetleges fúrások kitűzésére vonatkozó véleményét őszel nevezett geológusokkal közölni méltóztassék.

Fogadja Nagyméltóságod kiváló tiszteletem őszinte nyilvánítását.

Budapest, 1911. augusztus hó 19-én

Lukács László

Eötvösnek nem tetszik a levél stílusa – lehet, hogy alaptalanul –, de arra a következtetésre jut, hogy terepi kutatásait a miniszter a geológusok irányítása alá kívánja rendelni. Első felháborodásában az alábbi sorokat veti papírra, ami csak töredék formájában maradt fenn. Hogy elküldte-e a miniszternek, nem tudjuk, de az ezt követő miniszteri levelek stílusából arra következtethetünk, hogy kutatói függetlenségét sikerült megőriznie. Íme a levéltöredék:

Nagyméltóságodnak aug. 19-ikén kelt megtisztelő iratát netáni tévedéseket akarván elkerülni, válasz nélkül nem hagyhatom. Előző iratomban jeleztem, ... miszerint lehetők tartom, hogy vizsgálati módszereim a mélységben rejtett tömegek felmérése révén oly felvilágosításokat nyújtanak, melyek gyakorlatilag is értékesíthetők, s kijelenttem, hogy kutatásaimat ebben az irányban is kiterjeszteni szándékozom, de hozzátettem, hogy ... a sokszor túlnyomóan körülményes, exact kutatásnak lassú és azért nehézkesnek látszó útvjáról el nem térhetek. Boldog volnék, ha eredményeimnek mások is hasznát vennék, de fenn kell tartanom kutatásom irányítására nézve teljes szabadságomat. ...

Sajnálatomra nem tehetek azért eleget Nagyméltóságod azon kívánságának, hogy magamat a kolozsvári M. k. Bányászati Kutató Kirendeltségének mintegy alárendeltessem, oly módon, hogy irányítást attól várva, eredményeimmel annak számoljak be.

Zsörtölődése ellenére, de függetlenségét megőrizve 1912-ben már két terepi csoport – ahogy akkor nevezték, expedíció – dolgozott Erdélyben. A kiemelt állami figyelemre való tekintettel Eötvös személyesen is részt vesz a mérések feloldozásában és értelmezésében. A munkálatokról és az azokból levonható következtetésekről az alábbiakban számol be a Lukács Lászlót váltó új pénzügyminiszternek, Teleszky Jánosnak:

*Nagyméltóságú miniszter úr!*

*A bőkezű támogatás mellyel törvényhozásunk geofizikai vizsgálataimat lehetővé teszi és Nagyméltóságod hivatalban elődjének megtisztelő felszólítására, hogy kutatásaimat az Erdélyi medenczére is kiterjesszem már múlt évben ott végzett előmunkálatok után arra serkentettek, hogy ez évben egész erőnket ez érdekes területen végzendő kutatásra fordítsuk.*

*Kitűzött feladatunkká tettük a Maros völgyének átkutatását Nagyenyedtől nyugat felé avégből, hogy a rétegek mélyében fekvő tömegek eloszlására vonatkozólag leelőször is egy jól követhető szelvényben felvilágosítást nyerjünk. Dr. Pekár Dezső (6. ábra) és Fekete Jenő urak augusztus végétől mai napig két külön észlelőtáborot vezetve Nagyenyedtől Marosvásárhelyig haladtak. Fáradtságos munkájukat az idei ismételt árvizek rendkívül megnehezítették néha késleltették is, de eléggé nem dicsérhető kitartásukkal mégis már száznál több állomáson jó munkát végeztek. Egy egyetlen ilyen szelvény ismerete távolról sem elég ugyan a feladat teljes megoldására, amely csak éveken át folytatott rendszeres kutatás eredménye lehetne, mégis nagyértékű már ez a kezdet is először mert megmutatta, hogy az eddig csak az alföldi sík területen kipróbált módszerek, Erdély hegyes-völgyes vidékén is beválnak, másodszer mert már egymagukban is olyan részletes eredményekhez vezettek, melyek próbafúrások helyének megválasztásánál irányadók lehetnek. ...*

*A nehézség változásait e vonalon túlnyomóan a fedő agyag, márga, tuffa stb. rétegek alatt fekvő nagyobb sűrűségű alapközetek hatásának kell betudnunk, úgy hogy a nehéz-*



6. ábra | Pekár Dezső (1873–1953)

Figure 6 | Dezső Pekár (1873–1953)

*ségi görbe hajlásai követik a fenék hajlásait. ... Csak az észleléseknek szélesebb övekre való kiterjesztése fogja eldönthetni biztosan a kérdést redők által képzett hosszúkás völgyekkel, vagy inkább a kör alakzatot megközelítő süppedésekkel állunk-e szemben. Eddigi megfigyeléseink szerint valószínűnek látszik az utóbbi. Addig míg mélyfúrás alapján a feneket képező alapkőzet valamely helyen elérve nincs ismeretlen fog maradni annak abszolút mélysége is, megfigyeléseim alapján következtetéseket vonni csakis a magasságkülönbségekre vonatkozólag lehetséges.*

Úgy tűnik, a részletes szakmai beszámoló túl bonyolult a miniszter számára, aki ezért a következő levelében konkrét javaslatot kér a fúrási pontok kijelölésére:

*N a g y m é l t ó s á g ú B á r ó Ú r !*

*Az Erdélyrészi Medenczének hivatali elődöm által elrendelt részletes fölvétele és a kutatások, amint az Nagyméltóságod előtt ismeretes, különösen a földgázélfordulás tekintetében jártak kedvező eredménnyel, amennyiben több anti-klinalis vonulatot sikerült kinyomozni, melyen a földgázra való fúrások eredményesek voltak.*

*A kutatással megbízott szakemberek kutatásaiknál mindenkor szem előtt tartották a káliumsókutatás kérdését is, s e tekintetben a Medencze peremétől elég tekintélyes távolságra oly pontokat jelöltek ki, hol káliumsóra való fúrások lemélyíthetők annak eldöntése végett, vajjon a káliumsók tényleg megvannak-e, s ha igen, fejtsre érdemes mennyiségben-e?*

*Tekintve azonban azt, hogy a káliumsót csak tekintélyes mintegy 1000–1500 m mélységben lehetne megfúrni, ily mélyfúrások költséges volta miatt azok megkezdése előtt a kérdésnek minden oldalról való részletes megvilágítását és lehető földterítését kívánatosnak találom. Ezért és amennyiben tudomásomra jutott, hogy a kérdés megoldására nézve Nagyméltóságod igen nagyértékű és nagybecsű méréseket tett s azok eredménye szerint oly pontok jelölhetők ki, hol a Medencze altalajának szerkezetére nézve felvilágosítást nyújthat, van szerencsém Nagyméltóságodat teljes tisztelettel felkérni, nem volna hajlandó a Medencze szerkezetét feltáró fúrások helyére nézve javaslatot tenni, s eddigi mérési eredményeinek bármily rövid leírását rendelkezésemre bocsátani.*

*Fogadja Nagyméltóságod kiváló tiszteletem őszinte nyilvánítását.*

*Budapest, 1913. márczius hó 22-én.*

*Teleszky*

Eötvös nem késlekedik a válasszal, melyben Maros-koppánd határában javasolja a tervezett fúrások kitűzését:

*Nagyméltóságú miniszter úr!*

*Nagyméltóságod az erdélyi medenczében tervbe vett mélyfúrások helyeinek megállapításánál az én sajátos módszereimmel végzett megfigyelések eredményeit is a megfontolás körébe kívánja vonni. Engem megtisztelő nagybecsű*

felszólításában, hogy erre vonatkozólag véleményemet mondjam el, kegyeskedett megengedni, hogy az eredményeknek bármi rövid leírására szorítkozzam.

Valóban rövidre is kell szabnom e leírásomat, mert a még ezentúl folytatandó vizsgálódás első tájékoztató lépései után, ma még tartózkodnom kell attól, hogy a jövőben szigorúbban megállapítandó végeredményekről elhamarkodott kijelentéseket tegyek.

Buzgó társaim fáradhatatlan munkásságának eredményeképpen rendelkezésemre állanak:

- 1) A nehézség gyorsulásának értékei Nagyenyeden és Gyergyóalfalun s még négy ezek között a Maros mentén fekvő állomáson.
- 2) Teljes gravitációs és mágneses megfigyelések adatai 161 állomáson, a Maros mentén Nagyszebenről Maros-szentgyörgyig.
- 3) A földi mágneses erő horizontális összetevőinek értékei Nagyszebenről Sármásig terjedő vonalon.

E munkálatok eredménye a nehézség és mágnesség részletes megismerése a Maros völgyének Nagyenyedtől Maros-szentgyörgyig terjedő szakaszában s ezenfelül némi tájékoztatás a mágnesség viszonyaira vonatkozólag egy a medenczét átszelő meridionális vonal mentén. ...

Az eddig végzett munkálatainknak egyik legfontosabb s megbízhatóan megállapított eredménye annak megismerése, hogy az egész erdélyi medenczének túlnyomóan nagy részének fenekét mágneses hatású magmatikus kőzetek alkotják. ...

A nehézség változásai azonban nem csupán ezen nagysűrűségű magmatikus tömegekről tesznek tanúságot, hanem olyan nem mágneses tömegek jelenlétét is elárulják, melyeknek sűrűsége a mezősegi rétegek közepsűrűségénél (kbelül 2,3) nagyobb vagy kisebb. Ilyen feltűnő tömegtöbbleteket Keszénél és Kerelöszentpálnál, míg tömeghiányokat Marosújvárnál, Kesze és Hadrév között és Ugránál találunk. Különösen szembeötlő ez a tömeghiány a nehézséget ábrázoló görbének marosújvári szakaszában megfelelően az ott felhalmozott sötömegek közepesenél kisebb sűrűségének.

A tervezett mélyfúrások helyére vonatkozó javaslatomat ma még csupán az egyetlen keresztmetszet vázlatos képére alapítottam. Azért amikor Nagyméltóságod nagybecsű felszólításának eleget tenni iparkodom a Maros völgyének szűk területére kell hogy szorítkozzam.

A medencze szerkezetének megismerése céljából minden esetre nagy fontosságú az, hogy a fenekét alkotó kőzetek fekvésének mélységét és minőségüket megállapítsuk. Kívánatosnak tartom ezért a fúrást valamely helyen, ahol a fenékkőzet mélyedést alkot és egy másik helyen, ahol hegyet képez. ...

Úgy a tudományos mint a gyakorlati érdek szemmel tartásával különösen ezt a Hadrév, Kesze és Maroskoppánd között fekvő területet batorokodom Nagyméltóságodnak figyelmébe ajánlani. Két hely mutatkozik itt egyformán érdekesnek, az egyik Maroskoppándnál a Böckh dr. úr által megállapított kúp helye, melynek a fúrás helyéül választása mellett nyomatékos geológiai érvek szólnak, a másik a

Hadrév és Maroskesze közötti tömeghiány helye, ahol nehézségi megfigyeléseink kisebb sűrűségű anyagok jelenlétét gyaníthatják. Kétségtelenül kívánatos a fúrás mind a két helyen. Amennyiben azonban a szóbanforgó vidéket a nyár folyamán még részletesebben szándékozom átkutatni s így várható, hogy annak viszonyairól még részletesebb felvilágosításokat fogunk nyerni, czélszerűnek látszik e vidék feltárását egy a dr. Böckh által megállapított maroskoppándi púpon végzendő fúrással megkezdeni.

Végül még egyszer hangsúlyozva azt, hogy kutatásaimnak még csak kezdetén állva javaslatom nem lehet végleges, köszönetemet fejezem ki Nagyméltóságodnak kitüntető bizalmáért, mellyel e közérdekű ügyben engem is meghallgatni kegyeskedett.

Fogadja Nagyméltóságod megkülönböztetett tiszteletem őszinte nyilvánítását.

1913. április 1.

Eötvös javaslatát megfogadva, a miniszter válaszlevelében értesíti Eötvöst a fúrás kitzítéséről:

Az erdélyrészi Mezőségen a múlt év folyamán végzett nehézségi mérések adatait és eredményeit magában foglaló folyó évi április hó 1-én kelt nagybecsű jelentéséért köszönetemet fejezve ki, van szerencsém Nagyméltóságodat teljes tisztelettel értesíteni, hogy az abban foglalt ajánlathoz képest intézkedtem, hogy Maroskoppándon a geológiai alakulás feltárása céljából egy mélyfúrás létesítésék.

E célból az eddig Marosújváron alkalmazott Fauck féle garnitúra állítatik fel, mellyel Marosugrón 1300 m mélységet sikerült elérni. Dr. B ö c k h H u g ó m.kir. főbányatanácsos főiskolai tanár a fúrás helyét folyó évi június hó 2-án tűzte ki.

A fúrógarnitúra leszerelése folyamatban van s remélhetőleg addig, amíg a fúrás előkészítéséhez szükséges munkálatokkal elkészülnek, a fúrógarnitúra leszerelését s a netán szükséges javításokat is befejezik, úgy hogy a fúróberendezés felállítása és felszerelése e hó folyamán kezdetét veheti.

Egyben utasítottam a kolozsvári m. kir. kutató bányahivatalt, hogy a mélyfúrás folyamán előforduló fontosabb mozzanatokról Nagyméltóságodat időről időre közvetlenül értesítse.

Végül teljes tisztelettel felkérem Nagyméltóságodat, hogy a szóban forgó méréseket ez évben is folytatni s az eredményről engem annak idején értesíteni méltóztassék.

Budapest, 1913. június 23-án.

Teleszky

Sajnos Maroskoppánd elnevezésű fúrás nem található a fúrási kimutatásokban, de ez nem szokatlan a mélyfúrási gyakorlatban, mivel a fúrásokat általában régiók szerint szokták számozni. Annak ellenére, hogy a fúrást a mai napig nem sikerült azonosítanunk, annyit azonban elmondhatunk, hogy ez volt a világon az első olyan mélyfúrás, melyet Eötvös-ingamérések alapján tűztek ki. Sikerességére csak közvetett bizonyítékunk van. Történt ugyanis, hogy 1914 tavaszán a minisztérium figyelme az Alföld felé fordult:



*N a g y m é l t ó s á g ú B á r ó Ú r !*

*A folyó évben a Nagy-magyar Alföld is bevonatik a földgáz és nyersolaj után való kutatások körébe.*

*Miután azonban ezen a nagy területen egyáltalán lehetetlen közvetlen szemlélet útján támpontokat nyerni a mélységben rejlő közetrétegekről s azok alakulásáról, a sok helyen előforduló földgázból azonban nagy valószínűséggel arra lehet következtetni, hogy ezen a területen földgáz mellett másféle ásványok is lesznek feltárhatók, támaszkodva azokra a megbecsülhetetlen eredményekre, melyeket a Nagyméltóságod vezetése alatt az erdélyrészi Mezőségen a múlt év folyamán keresztülvitt nehézségi mérések szolgáltatottak, elhatároztam, hogy a Nagy-magyar Alföldön, annak keleti peremétől kezdődőleg rendszeres nehézségi méréseket végeztetek.*

*Tudva azt, hogy az ily mérésekre a Nagyméltóságod által szerkesztett torziós mérleg a legalkalmasabb, ezzel szándékozom a szóbanforgó méréseket eszközölni, még pedig saját közegemmel azért, mert nem akarom Nagyméltóságodat rendszeresen s tisztán tudományos célból folytatott méréseiben akadályozni. Ez oknál fogva ez alkalommal csak arra kérem Nagyméltóságodat, méltóztassék megengedni, hogy két bányász-szakemberemet Nagyméltóságodhoz utasíthassam a végből, hogy a szóbanforgó méréseket, azok elméletét és főképp gyakorlati alkalmazását tanulmányozhassák, s maguknak a műszerek kezelésében gyakorlatot szerezhessenek.*

*Végül még arra kérem Nagyméltóságodat, ha ez akadályokba nem ütközik, méltóztassék olyképp intézkedni, hogy az idén a Nagyméltóságod által végzendő mérések lehetőleg a Nagy-magyar Alföldön eszközöltessenek, egyrészt azért, hogy mérnökeim Nagyméltóságod munkatársaival a kapcsolatot állandóan fenntarthatassák, s esetenként útmutatást nyerhessenek, másrészt, hogy Nagyméltóságod mérései által az említett mérnökök eredményei ellenőrizhetők legyenek.*

*Fogadja Nagyméltóságod kiváló tisztelem őszinte nyilvánítását.*

*Budapest, 1914. április hó 9-én.*

*Teleszky*

A levélből kiderül, hogy a minisztérium igen nagyra becsüli Eötvös földtani célú kutatási tevékenységét, olyannyira, hogy saját kutatási részleg felállítását tervezi: *mert nem akarom Nagyméltóságodat rendszeresen s tisztán tudományos célból folytatott méréseiben akadályozni* – szölte a magyarázat. Ez a mondat is igazolja, hogy Eötvös régebbi zsörtölődése, miszerint tiltakozik az ellen, hogy kutatási önállóságában külső tényezők korlátozzák, célba talált.

Eötvösök késznek mutatkoztak, hogy 1913-hoz hasonlóan már két csoportban végezzék a méréseket, de a háború kitörése félbeszakította terepi működésüket, és mindössze 23 állomáson sikerült méréseket végezniük. A háborús viszonyok – mint az az alábbiakban kiderül – továbbra sem kedveztek a terepi méréseknek, olyannyira, hogy hathatós

miniszteri közreműködés ellenére is csak 1916-ban kerülhetett sor nagyobb arányú terepi mérésre. De lássuk az erre vonatkozó dokumentumokat!

Új lendületet adott az Eötvös-inga alkalmazásának az Egbell (Gbely, Szlovákia) környéki kőolajkutatás. A történet kezdete még 1911-re nyúlik vissza. Egbell környékén ugyanis furcsa dolgok történtek, amint az a Nyitravármegye alispánjától a vármegyei főjegyző aláírásával a besztercebányai M.kir. Bányakapitánysághoz 1911. június 21-én írt hivatalos jelentésből kiderül:

*A szakolcai járás főszolgabírájának jelentéséből tudomásul vettem, hogy Egbell községben több birtokos telkén gázforrásokra akadtak, Medlen János ottani lakos két gázforrást primitív módon lekötött és a gázt lakóházába bevezette, a ház összes helyiségeit gázzal fűtötte, e gáz lángja mellett főzött és vasat kovácsolt, a fölösleges gázt pedig egy cső segítségével vezette ki a takaréktűzhelyből.*

*A járási főszolgabíró a gázforrásokat azonnal szabaddá tette és a gáznak további használatát betiltotta.*

*Minthogy nem áll módomban megállapítani, hogy a gázforrások mocsárgázok-e, a vagy pedig földgázok, tisztelettel kérem, hogy ezen ügyben a további intézkedéseket megtenni, a helyszínre kiszállani és az eredményekről engem értesíteni szíveskedjék.*

Úgy látszik, foganatja volt a frissen elfogadott bányatörvénynek: az illetékes hatóság azonnali hatállyal megtiltotta az állami tulajdonnak minősített földgáz felhasználását. A minisztérium is azonnal intézkedett: Böckh Hugó, Lázár Vazul és Papp Simon (7. ábra) geológus kivonult Egbell környékére, hogy feltérképezzék a területet. Szerencsénk volt, mert a szénhidrogént tartalmazó antiklinális szerkezet



7. ábra | Papp Simon (1886–1970)

Figure 7 | Simon Papp (1886–1970)

sekély mélysége következtében aránylag könnyen kirajzolódtott a földtani térképezés során. 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 ekkor már a Pénzügyminisztérium bányászati kutatási osztályának vezetője, és aki már korábban is figyelemmel kísérte a terepi torziós-inga-méréseket – a pénzügyminiszter 1915 májusában felkéri Eötvöst, hogy Egbell környékén, a Morvamezőn végezzék méréseket.

Nagyméltóságú báró E Ö T V Ö S L O R Á N T  
belső titkos tanácsos, egyetemi ny. rendes tanár úrnak  
B u d a p e s t

Múlt évi április hó 9-én kelt 37309 számú átiratommal volt szerencsém Nagyméltóságodat arra felkérni, hogy a folyamatban levő a petroleum és földgáz előfordulások tanulmányozását célzó geológiai kutatások előmozdítására gravitációs méréseket méltóztassék végeztetni.

A háborús állapot a Nagy Alföld keleti részeiben való mérést jelenleg megakadályozza. Ezért arra való tekintettel, hogy a tömegelosztások és a tektonika közötti összefüggés megállapítása a kutatás szempontjából is elsőrangú fontosságú, teljes tisztelettel arra kérem Nagyméltóságodat, hogy ez év folyamán a Morvamezőn és esetleg Horvátországban Ivanc Klostar és Bregi körül méltóztassék gravitációs méréseket végeztetni.

Miután egyes speciális feladatok megoldására irányuló méréseket idővel saját közegeim által kívánok Nagyméltóságod bölcs vezetése alatt végeztetni, felkérem Nagyméltóságodat, hogy ahhoz hozzájárulni méltóztassék, hogy a most végzendő méréseknél Vnuto Ferenc főbányatanácsos és Dr. Walek Károly főiskolai tanár is részt vehessenek.

Fogadja Nagyméltóságod kiváló tiszteletem őszinte nyilvánítását.

Budapest, 1915. május hó 28-án.

Teleszky

Eötvös válasza Teleszky pénzügyminiszter 1915. május 28-án kelt levelére:

Nagyméltóságod május 28 kelt nagybecsű leiratával arra szólít fel, hogy gravitációs mérésimet olyan területen végezzem, melyben a petróleum és földgáz előfordulása szempontjából különösen érdekesekek.

Úgy mint ezt már a múlt években is tettem a jövőben is legfőbb feladatomban fogom tekinteni azt hogy Nagyméltóságod e kívánságának amennyiben csak tehetem, megfelelek. Sajnos, hogy a megismerésnek ez az útja olyan hosszadalmas, hogy nem ma vagy holnap, hanem csak távolabb jövőben vezethet gyakorlati értékű eredményekhez.

A múlt évben Nagyméltóságod bölcs utasítására mint az Alföld ennek nyugati részében megkezdett kutatásaink a há-

ború okozta zavarok miatt befejezéshez nem juthattak. A jövő nyár folyamában sem lesz lehetséges teljes mértékben folytatni a munkálatokat, nem csupán a közlekedési nehézségek miatt, hanem különösen azért, mert az észlelésekhez szükséges segéderők hiányoznak. Segédeim s azok a fiatal emberek, kiket mint előképzettségüknél fogva e munkálatok végzésére alkalmazhatnék, az egy dr. Pekár kivételével, mind a harctéren teljesítenek szolgálatot. Olyan expedíciót, mely a teljes erővel feladatát teljesen megoldhatná már összeállítani képes nem vagyok.

Azért a jövő nyáron a munkálatok végzésében jóval kevesebbre kell súlyt helyeznem. Nagy szerencsének tartom, hogy sikerült mégis dr. Oltay Károly műegyetemi tanár urat a közreműködésre megnyernem. Ő és dr. Pekár a Kis Kárpátokban s a Morvamezőn fognak a nyár folyamán ingamegfigyeléseket végezni s evvel megteszik az első lépéseket e vidék tektonikai viszonyainak felderítésére. Mihelyt a viszonyok megengedik, teljes erővel és felszereléssel fogunk hozzá a vidék részletes kutatásához.

A most végzendő ingamérések, melyek elsősorban csillagászati megfigyeléseken alapulnak, szakszerű természetüknél fogva, a hivatásos csillagász és geodéta feladatának körébe tartoznak, s egymagukban nem alkalmasak arra, hogy kutatásaink módjának begyakorlására szolgáljanak. Azért bármennyire örvidenek is, ha Nagyméltóságod által kijelölt urak Vnuto Ferenc főbányatanácsos és dr. Walek Károly tanár ezeket a munkálatokat is megtekintik, bizonyára eredményes segédkezésüket mégis csak akkor szeretném állandóan igénybe venni, amikor a mi sajátos módunkon a torziós ingával és mágneses eszközünkkel fognak dolgozni.

Végül mint magától értetődőt akarom megemlíteni, hogy az idén kevesebb munkát végezvén a hozzá szükséges kiadás is kisebb leend. A költségeket egyelőre még az 1914/15 évben rendelkezésre bocsátott összeg megtakarításából fogom fedezni, s tekintettel nehéz viszonyainkra az 1915/16 évre csak azon esetben fogok némi anyagi támogatást kérni, ha arra elkerülhetetlenül szükségem leend.

Az 1915 őszén, a háborús állapotok miatt előállt munkaerőhiány miatt azonban nem tudtak a területi felmérésnek eleget tenni, csak előkészítő munkákat végeztek. Pekár Dezső, Steiner Lajos társaságában 5 ponton relatív ingaméréssel meghatározta a  $g$  értékét. Idézzük a mérésekről szóló Eötvösnek írt egyik beszámolóját:

Kegyelmes Uram!

Az egbelli adatok a következők:

$$\varphi = 48^{\circ} 42' 57.5''$$

$$\lambda = 34^{\circ} 47' 21.9'' \text{ kel. Ferrótól}$$

$$17^{\circ} 7' 35.4'' \text{ kel. Greenwich-től.}$$

$$h = 195.1 \text{ m}$$

Az ingák közép lengés ideje:

$$0.5013706$$

$$\text{Ebből: } g = 980.883$$

$$g_0 = 980.943$$

$$\gamma_0 = 980.951$$

$$g_0 - \gamma_0 = -0.008$$

Megfelelő helyiség híján Egbellről Morvaszentjánosra hurczolkodtunk. Itt csupán a záró időmeghatározás hiányzik. Ma az időjárás nem biztató, de talán a napokban ezt elvégezhetjük.

Tekintve, hogy az ebelli észlelés nagyon soká tartott, legfölből még a malaczkai megfigyelést végezhetnők el. Itt megfelelő helyet már találtunk is.

Tekintve, hogy az időjárás nagyon változékony és megbízhatatlan, megtörténhet, hogy a malaczkai megfigyelés esetleg pár hétig is eltart, úgy mint pl. Egbellen.

Amennyiben különösen fontos volna ez adat, szívesen megcsináljuk. Ha azonban nem, akkor azt gondolnók, hogy czélszerűbb volna a jelenlegi állomással az expeditiót befejezni.

Kérném, méltóztatnék engem táviratilag értesíteni, hogy a malaczkai állomás okvetlenül elvégzendő-e?

Megjegyzem, hogy a kontemplált összegből a pár hetes észlelés is kitelik. Más alkalommal azonban mindenesetre olcsóbban elvégezhetjük.

Czímem:

Morva-Szent-János  
poste rest.  
(Pozsony m.)

Mindkettőnk tiszteletteljes üdvözlését jelentve, maradok  
Kész szolgálja  
Morvaszentjános, 1915. nov. 12.

Pekár Dezső

1916 márciusában Eötvös tájékoztatja a pénzügyminisztert a dolgok állásáról és további segítségét kéri:

A háborús viszonyok miatt múlt év folyamán a Morva-mezőn csupán csak bizonyos előmunkálatokat végezhettem. Néhány állomáson ugyanis a nehézségi erő abszolút értékét határoztam meg. A nyert adatokból kiindulva ez év nyarán és őszén torziós ingáimmal óhajtom e vidéket éspedig különösen az ebelli olajfúrások környékét tüzetes vizsgálat tárgyává tenni, meghatározván illetően módon a nehézségi erő változásait, amelyek a földalatti rétegek strukturájával kapcsolatosak. ... azon kérelemmel járulok Nagyméltóságod színe elé, hogy Fekete Jenőnek a katonai szolgálat alól való felmentését lehetőleg sürgősen kieszközölni kegyeskedjék, lehetővé tévén illetően módon, hogy a méréseket minnél előbb megkezdhessem.

Egyúttal kérném Nagyméltóságod az irányú kegyes intézkedését, hogy szükség esetén az ebelli olajfúrások vezetősége a szükséges néhány állandó munkás és néhány állandó előfogat megszerzésében segítségünkre legyen.

A miniszter válasza Eötvös beadványára:

Folyó év márczius hó 30-án kelt nagybecsű beadványából köszönettel vettem tudomásul Nagyméltóságodnak amaz elhatározását, hogy a nyár és ősz folyamán a Morva-mezőn s Egbell környékén szándékozik gravitációs méréseket végezni.

Kívánságához képest egyidejűleg megkerestem a honvédelmi miniszter urat, hogy Fekete Jenő geofizikust, jelenleg népfelkelő tüzérfőhadnagyot a katonai szolgálat alól mentse fel, avagy tartósan szabadságolja, továbbá megfelelőleg utasítottam az ebellvidéki petroleumfúrások üzemvezetőségét, hogy a szükséges néhány állandó munkás és néhány állandó előfogat megszerzésében a méréssel foglalkozók segítségére legyen.

Abban a biztos tudatban, hogy a nehézségi erőnek a torziós mérleggel megállapítható változása a földgáz és petroleumtelepek felkutatásánál megbecsülhetetlen szolgálatot fog tenni e kérdéssel foglalkozó geológusaimnak s mert az ily speciális irányú kutatásokkal nem akarom Nagyméltóságodat rendszeresen s tisztán tudományos czélből folytatott méréseiben akadályozni, teljes tisztelettel felkérem Nagyméltóságodat, méltóztatnék megengedni, hogy két bányász szakemberemet, nevezetesen dr. Walek Károly selmeczi m. kir. bányászati és erdészeti főiskolai tanárt és Mazalán Pál m. kir. segédmérnököt Nagyméltóságodhoz illetve a mérésekben való részvételre utasíthassam.

Közben Pekár Dezső, a terepi mérések vezetője sem tétlenkedik, készülődik a mérésekre, és a felmerült problémákról tájékoztatja szokásos nyári szabadságát töltő főnökét. Leveléből betekintést nyerhetünk a háborús viszonyokba, és a munkatársak jövedelmi helyzetébe:

Kegyelmes Uram!

Radovánnal megegyeztem. Úgy látom, hogy ő maga tényleg szívesen jön. Ha a lovakat megvásárolta, akkor egész biztosra vehetjük a dolgot. Addig megtörténhet, hogy a magas ló árak miatt esetleg visszalép, de nem hiszem.

Most tárgyalok a Hadi Termény Részvénytársasággal, hogy a szemes takarmányt biztosítsuk. Lehet, hogy itt előre kell fizetnünk, a mi azonban majd Radovántól megtérül. Tekintve ezenkívül, hogy Radovánnak 5000 kor. előleget adtam, kérném méltóztatnék a Kereskedelmi bank útján részemre még itt Bpsten 5000 koronát kiutaltatni.

A napokban fenn voltam a minisztériumban. Feketeről egyelőre semmi hír. Éppen ezért intézkedtem, hogy egyelőre Renner legyen segítségünkre. Ugyancsak a minisztériumban értesültem arról, hogy napidíjainkat az expeditio államsegélyből ezentúl is kegyelmes uram utalja ki, s így a mennyiben azt méltányosnak tetszik találni, a hivatalosnál magasabb napidíjak ezután is kiutalhatóak. Erre vonatkozólag félreértések elkerülése végett előre bocsátom, hogy részemről, a háború daczára, eddigi napidíjammal meg vagyok elégedve; egy kérésem azonban van, hogy elsőbbségem a napi díjakban is, úgy mint eddig, megőriztessék. Különösen fontos ez, – a mint erre a minisztériumban is figyelmeztettek, – most hivatalos jellegű működésem kezdetén, mert ez a továbbiakra nézve praecedens képez. Éppen ezért ne méltóztatnék tőlem rossz néven venni, hogy e kérelmemet előtérbe helyezem.

Az eddigi napidíjak voltak: Renner 15, Fekete 20 és Pekár 30 korona. Véleményem szerint a 15 kor., a mai drága

viszonyok között nem maradhat meg. Hiszen vezető munkás emberünknek valószínűleg 10 esetleg 12 koronát kell fizetnünk. Ez tehát 20 koronára volna emelendő, ez természetesen magával hozná a másik kettőnek 25-re, illetve 35-re való emelését. Fekete és Steiner napidíja 25 korona volna. Feketére nézve ugyanis bántónak tartanám, ha Steiner nála többet kapna. Igaz, hogy Steiner tavaly, Kegyelmes uram egyenes kívánságára 30 koronát kapott. Éppen ezért előre jeleztem neki, hogy az idej napidíj még függőben van! A mennyiben Kegyelmes uram Steinernek most is 30 kor. óhajtana juttatni, forma kedvéért azt kérném, hogy utaljunk ki neki 25 korona napidíjat és 150 korona havi calculatori honorariumot, s ezt már júliusra is kiutalnék, a mikor itt az intézetben dolgozott. Szóval maguk a napidíjak: 20, 25 és 35 korona volna.

Ezek természetesen csak a háború, illetve a drágaság tartamára szólnak, s ahhoz viszonyítva véleményem szerint az emelés elég csekély. Kérem kegyelmes uramat, kegyeskednék erre vonatkozólag szíves elhatározását velem közölni.

Most javában készülődünk. Ha valami közbe nem jön, augusztus első napjaiban feladjuk kocsijainkat.

Oltayék az itteni méréssel elkészültek, most hurczolkodnak tovább.

Kellemes üdülést kívánva, maradok

kész szolgája

Bpest. 1916. július. 19.

Pekár Dezső

A szervezéssel kapcsolatos erőfeszítéseknek köszönhetően 1916 nyarán elkezdődhetek a terepi mérések. A mérésekben Pekár Dezső vezetése mellett Fekete Jenő, Wágner Lajos, Steiner Lajos, Renner János és a minisztérium részéről Walek Károly vett részt. A minisztérium másik jelöltje, Mazalán Pál azonban katonai szolgálata miatt kénytelen kimenteni magát:

Kegyelmes Uram!

A kolozsvári m. kir. kutató bányahivatal e hó 15-én kelt 9700 sz. leiratával arról értesített, hogy a nagyméltóságú m. kir. pénzügyminisztérium f. h 2-án kelt 13409 sz. rendelete értelmében a gravitációs mérések és a torziós ingával való bánásmód elsajátítása végett Nagyméltóságod mellé lettem kirendelve. Örömmel vettem tudomásul ezt az új beosztásomat és igyekezni fogok a reám kirovándó feladatnak minden részletében megfelelni.

Nagyon sajnálom, hogy a méréseknél ez idő szerint még nem lehetek jelen, mert katonai felmentésem mindezideig nem érkezett le. Jelenleg a szegedi "Luftfahrarsenal Luftfahrwerkstätte"-nél teljesítek katonai szolgálatot mint pilóta és a motorműhely vezetője.

Tekintettel arra, hogy hivatalom által kilátásba helyezett felmentésem a viszonyok új alakulásánál fogva bizonytalan ideig késhet, itt rendel-

kezésre álló időmet új munkaköröm elméleti előtanulmányaira szeretném felhasználni; mély tisztelettel kérem Nagyméltóságodat, hogy tanszéke útján az e célra alkalmas művek címét velem közöltetni méltóztatnék, hogy azokat esetleg beszerezhessem.

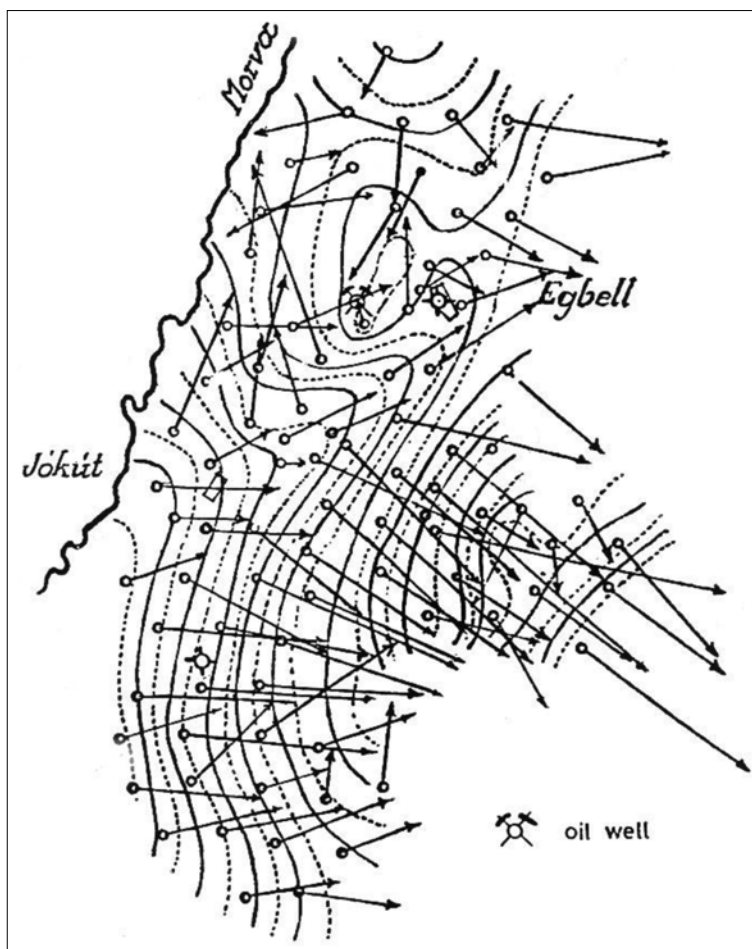
Maradtam Nagyméltóságodnak legalázatosabb szolgája:

Szeged, 1916. augusztus 31.

Mazalán Pál  
m. kir. segédmérnök

Mazalán Pál kimaradása egyben azt is jelentette, hogy a minisztérium saját kutatási részlegének létrehozási terve megfeneklett és lekerült a napirendről. 1916-ban az ebelli olajfúrások környékén összesen 92 állomáson észleltek (8. ábra). A mérési adatokból szerkesztett térkép megfelel az előzetes várakozásnak. Pekár Dezső szerint: Egbell környékén, ahol olajok után kutattak, méréseinkkel teljesen olyan alakulatot állapítottunk meg, mint amelyet a geológusok is meghatároztak.

Böckh Hugó a következőképpen nyilatkozott: Javaslatomra az 1915. és 1916. év nyarán Dr Pekár Dezső és Fekete Jenő urak Eötvös Loránd báró irányítása mellett Egbell körül végeztek nehézségi méréseket. ... az isogrammák igen



8. ábra | Egbell környékének gradienstérképe  
Figure 8 | Gradient map in the region of Egbell

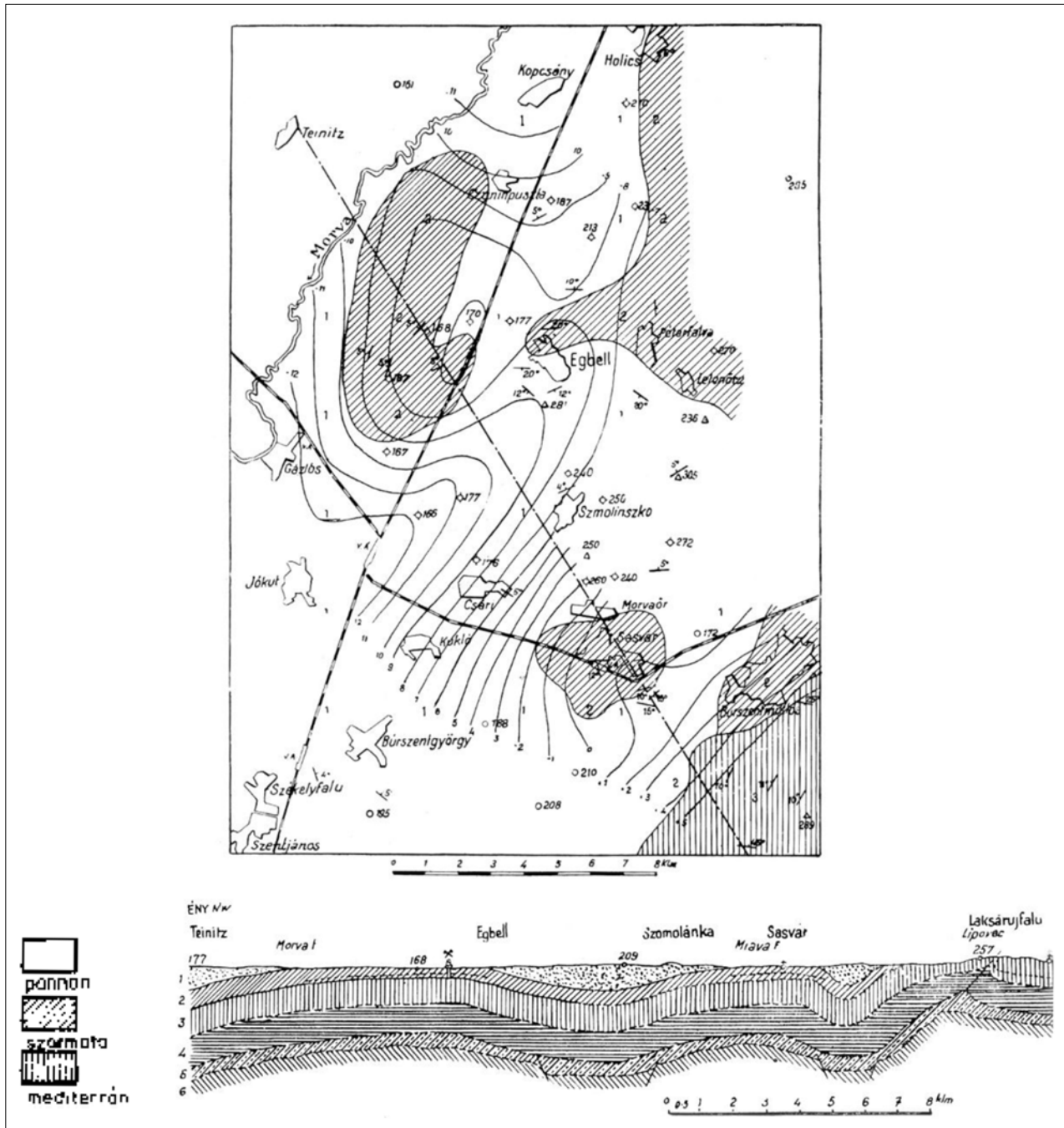


szépen adják vissza az ebben az esetben várható nehézségi maximumot. Miután a nehézségi méréseknél mindig rezultáns erőket mérünk, az isogammák adta kép, majdnem sohasem fogja teljesen fedni a pontos geológiai felvételt. Az egbelli brachyantiklinálisnál is bizonyos eltolások mutatkoznak, de ha nem is volna meg a geológiai felvétel az isogammák mégis biztos támpontot nyújtanának arra nézve, hogy hol telepítsünk kutató fúrást. (9. ábra)

A leginkább érdekelt fél, Papp Simon, aki aktív részese volt a terület földtani térképezésének, érdekes részleteket

árul el: Földtani és rétegtani eredményeimet nem volt szabad közölnöm a geofizikusokkal, csak akkor, amikor munkálataikkal ők is elkészültek. Ekkor kitűnt, hogy a kétféle módszer csaknem azonos szerkezeti eredményeket adott és ezzel az egész világon először igazolódott be, hogy a nehézségi mérések igenis alkalmasak a szénhidrogéneket tároló szerkezetek kimutatására.

Fentiek alapján bizvást állíthatjuk, hogy az egbelli mérés bebizonyította az Eötvös-inga alkalmazhatóságát a szénhidrogén-kutatásban, és ezzel megteremtette egy új alkalma-



9 ábra | Egbell környékének gradiensekből szerkesztett izogamma-térképe az ÉNy–DK irányú földtani szelvény nyomvonalával, és a földtani szelvényen azonos sávözással jelölt rétegek kibúvásaival

Figure 9 | Isogam map of the Egbell region derived from gradients together with the geological profile and the outcrops of layers marked by similar hachure as the geological cross section underneath

zott tudományág, a kőolajkutató geofizika alapjait. Ez a mérés alapozta meg az Eötvös-inga későbbi világhírét. A világháborút követően – nagyrészt Böckh Hugó magyar és német nyelvű publikációjának köszönhetően – gyorsan elterjedt a sikeres egbelli mérés híre. Valószínűleg e publikációk következménye, hogy sokan Böckh Hugónak tulajdonítják az inga földtani célú alkalmazásának ötletét. Az ő érdeme valójában annak kiharcolása volt, hogy az inga földtani célú alkalmazhatóságát egy fúrásokkal már feltárt olajmezőn történt méréssel bizonyítsák.

Érdekességként megemlíthetjük, hogy E. A. Eckhardt, a gravitációs módszer történetéről szóló cikkében az *Österreichische Monatschrift* 1920. augusztusi számára hivatkozva megemlíti, hogy egyesek szerint az egbelli mérések a D'Arcy Exploration Co., az Anglo-Persian Oil Co. leányvállalata részéről történtek. Szerinte az ellentmondás feloldható, ha feltételezzük, hogy a D'Arcy Exploration Co. Böckh Hugó közvetítésével került kapcsolatba Eötvössel. E feltételezést viszont egyértelműen cáfolja az a tény, hogy Böckh csak 1921-ben lett az Anglo-Persian Oil Co. szakértője és tanácsadója.

A sikeres egbelli mérés hírére minden, magára valamit is adó olajvállalat elküldte geológusait Budapestre, hogy az Eötvös-intézetben elsajátítsák a torziósinga-mérések technológiáját, az adatok feldolgozását és értelmezését. Az Eötvös-intézet a 20-as évek közepére a kőolajkutató szakemberek valóságos Mekkájává vált. E szakemberek jelentős hányada a későbbiekben vagy vezető posztokat töltött be különböző olajvállalatok kutatási részlegeinél, vagy önálló geofizikai vállalatot létesített.

A torziós inga kőolajkutatás terén befutott diadalmenetét Eötvös sajnos már nem érthette meg, az ő nevét elsősorban tudományos eredményei írták be a fizika, a geodézia és a geofizika történetébe. Műszerének anyagi hasznosítására sohasem gondolt, ingáját nem szabadalmaztatta, a gazdasági sikereket utódai aratták le.

A jubileumi megemlékezést egy Eötvös-idézzel szeretném befejezni:

*Csak az az igazi tudomány, amely világra szól, s azért, ha igazi tudósok és ami kell jó magyarok akarunk lenni, így a tudomány zászlaját oly magasra kell emelnünk, hogy azt hazánk határán túl is megláthassák és megadhassák neki az illő tiszteletet.*

Bízást mondhatjuk, hogy az eötvösi életmű teljesíti e kritériumot.

## A tanulmány szerzője

Szabó Zoltán

## Hivatkozások

- Böckh H. (1917): Brachyantiklinálisok és dómok kimutatása torziós mérleggel végzett nehézségi mérések adatai alapján. *Bányászati és Kohászati Lapok* 50/9, 265–273
- Böckh H. (1917): Der Nachweis von Antiklinalen und Domen mittels der Drehwage. *Petroleum* 12/16, 817–823
- Böhm F. (1939): Ásványolaj- és földgázbányászat Magyarországon 1935-ig. *Bányászati és Kohászati Lapok* LXXII/9, 153–189
- Csath B. (2014): A 100 éves Egbelli olajmező története 1914–1918 között. *BKL–Kőolaj és Földgáz* 147/2, 1–28
- Eckhardt E. A. (1940): A brief history of gravity method of prospecting for oil. *Geophysics* 5/3, 231–242
- Eötvös L. (1896): Vizsgálatok a gravitáció és mágnesség köréből. *Matematikai és Természettudományi Értesítő* XIV/4, 1–46
- Eötvös L. (1900): A nehézség és a mágnessé erő nivófelületeinek és változásainak meghatározása. *Matematikai és Fizikai Lapok* 9, 361–381
- Eötvös L. (1901): A Föld alakjának kérdése. *Természettudományi Közlöny* XXXIII, 382
- Eötvös L. (1908): A Balaton nivófelülete s azon a nehézség változásai. A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei I. 1. rész. Hornyánszky Viktor cs. és kir. udvari könyvnyomdája, Budapest
- Eötvös L. (1909): Über geodätischen Arbeiten in Ungarn, besonders über Beobachtungen mit der Drehwage. Hornyánszky nyomda, Budapest 42 p.
- Eötvös L. (1912): Bericht über Arbeiten mit der Drehwaage ausgeführt in Auftrage der könig. ung. Regierung in den Jahren 1909–1911. Verhandlungen der 17. Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung in Hamburg 1, 427–438
- Pekár D. (1932): Dr. Hugo von Böckh. *Ergänzungs-Hefte für Angewandte Geophysik* 2/4, 317–319
- Pekár D. (1941): Bárány Eötvös Loránd. A torziós inga 50 éves jubileumára. Kis Akadémia, Budapest, 340 p.
- Szabó Z. (2012): In memoriam Pekár Dezső. *Magyar Geofizika* 53/2, 131–154
- Szabó Z. (2016): The history of the 125 year old Eötvös torsion balance. *Acta Geodaetica et Geophysica* 51/June, 273–293
- Szilárd J. (1984): Eötvös Loránd csavarási ingájának bevezetése a földtani kutatásba. *Földtani Kutatás* XXVII/3, 63–69

## Európa-bajnok lett az ELTE-hallgatók kőolajkutató csapata!

A világ legnagyobb szénhidrogén-földtani szervezete, az AAPG (American Association of Petroleum Geologists) Prágában tartotta meg 2017. március 9–10-én az egyetemisták számára rendezett kőolajkutató versenyének európai döntőjét. Az IBA (Imperial Barrel Awards) történetében először ezen az ELTE mesterszakos geológus és geofizikus hallgatóiból álló csapat szerezte meg a győzelmet!

Az ELTE TTK Európa-bajnok csapatát *Albirt József*, *Bottyán Réka* és *Nyíri Dániel* végzős geológus és *Csurgai Ferenc András* és *Híves Kristóf* geofizikus hallgatók alkották. A világszerte évente megrendezett vetélkedő európai döntőjének mezőnyében 18 egyetem együttese szerepelt, a csütörtöki két szekcióból a legjobb 6 jutott tovább a másnapi döntőbe. A mezőny erősségét jelzi, hogy az ELTE mögött a második helyet a londoni Royal Holloway University, a harmadikat pedig az amszterdami Vrije Universiteit szerezte meg, maguk mögé utasítva többek között a University of Manchester és a moszkvai Lomonoszov Egyetem csapatát.

Az IBA évente világszerte megrendezett szénhidrogén-kutató vetélkedőjén az idén tizedszerre szerepelt az ELTE, első alkalommal kerülve ki európai győztesként, miután tavaly először sikerült a európai legjobb hat közé jutnia. A verseny során a hallgatók élesben tapasztalják meg és mutatják be, hogyan tudnak egy átfogó szénhidrogén-kutatási projektet véghezvinni valós geológiai és geofizikai adatokból kiindulva, mindössze nyolc hét felkészülés után. Csapatunk idei kutatási feladatául a Barents-tengernek egy Norvégia-tól északra eső területét kapta. A munka során megismerték a terület geológiai felépítését, fejlődéstörténetét és a szénhidrogén-rendszer elemeit. A korábbi ipari kutatások adatainak kiértékelése alapján medencemodellt készítettek, feltérképezték a potenciális szénhidrogénmezőket és javaslatot tettek a további kutatás lépéseire, kiszámolva a sikeresség valószínűségét és a várható kőolajvagyon. A 25 perces

előadásukat nagy tapasztalattal rendelkező olajipari szakemberekből álló zsűri értékelt a Prágában rendezett versenyen.

Az ELTE-csapat felkészülését ipari tanácsadóként *Szilágyi Imre*, a MOL vezető geológusa, az ELTE önkéntes vendégelőadója és *Temes Mihály* (Vermilion Energy) támogatta, egyetemi tanácsadóként pedig *Haas János*, az MTA levelező tagja, az ELTE kutatóprofesszora és a csapatot Prágába is elkísérő *Tőkés Lilla* tudományos segédmunkatárs, tavalyi csapattag segítette. A felkészülésben az Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék több oktatója és volt oktatója, valamint az IBA-t megjárt korábbi hallgatóinkból lett olajipari szakemberek is segítettek. A csapat részvételét anyagilag a MOL Nyrt. és más, hazánkban működő szénhidrogén-kutató vállalatok, a Geomega, a Hungarian Horizon Energy, az O&G Development és a TDE támogatták.

A zsűri értékelésében kiemelte a szakmai pontosságot, az eredetiséget és a lenyűgöző előadást. Az ELTE geológiai és geofizikai tanszékének oktatói és hallgatói, a MOL és más, magyarországi olajipari vállalatok szakemberei és a teljes hazai földtudományi szakmai közösség kitörő örömmel fogadta a siker hírért. Az ELTE-csapat győzelmének értékét növeli, hogy megelőzte a szénhidrogén-földtani képzést nyújtó leghíresebb európai egyetemeket. Ahogy egy zsűritag fogalmazott, meggyőző sikerével az ELTE felkerült a szénhidrogén-kutatói karrierre felkészítő legkiválóbb iskolák térképére. A következő állomás az április elsején Houstonban, az amerikai olajipar texasi fellegrvárában tartott világdöntő lesz. Az ellenfelek közül hat az Amerikai Egyesült Államokból, öt a világ más régióiból kerül ki. A Prágában a zsűritől és a versenytársaktól kapott dicséret alapján bizakodhatunk, hogy a világdöntőn is méltón meg fogja állni helyét az ELTE hírnevét Amerikába is elvivő magyar csapat.

*Tőkés Lilla*

## Dr. Márcz Ferenc 1934–2016

Dr. Márcz Ferenc 2016. december 29-én hunyt el, és 2017. január 13-án vettünk végső búcsút Tőle. Bár tudtunk gyenge egészségi állapotáról, halála mégis oly váratlan volt, hogy megrendülten vettük tudomásul, ismét egy kedves kolléga, barát távozott közülünk.

Márcz Ferenc 1957-ben szerzett geofizikus-mérnöki diplomát a Soproni Műszaki Egyetemen. Az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Laboratóriumában, majd annak jogutódjában a Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet Aeronómiai Osztályán kezdte meg munkásságát, s egészen 1999-ben történt nyugdíjazásáig ott dolgozott, sőt azon túl is, amíg egészsége engedte, a szakmaszeretet továbbra is kutatómunkára ösztönözte. Szakterülete az alsó ionoszféra jelenségeinek kutatása, valamint a légköri elektromos elemek összefüggéseinek feltárása volt. Tudományos eredményeit kandidátusi értekezésében foglalta össze, a Műszaki Tudományok kandidátusa tudományos fokozatot 1981-ben nyerte el. Közel száz tudományos közleménye fémjelzi munkásságát, ezek közül számos munka rangos



**Dr. Márcz Ferenc**  
1934–2016

nemzetközi folyóiratban (Journal of Geophysical Research, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Annales Geophysicae, stb.) jelent meg, melyekre számos hivatkozás történt. Tagja volt a Magyar Geofizikusok Egyesületének, a Geofizikai Tudományos Bizottságnak (GTB), valamint a Veszprémi Akadémiai Bizottságnak (VEAB). 2009-ben magas állami kitüntetésben részesült. Sólyom László köztársasági elnök a Magyar Köztársasági Érdemrend tisztikeresztje, polgári tagozata kitüntetést adományozta dr. Márcz Ferencnek a légköri elektromos paraméterek és a rádióhullámok ionoszférikus abszorpciója mérésének kidolgozásáért, a légköri elektromos potenciálgradiens időbeli változásainak elemzéséért, a légköri elektromos és extraterresztrikus paraméterek kapcsolatának vizsgálatáért és a geomágneses utóhatás nap-földfizikai összefüggéseinek tanulmányozásáért. Szerény, csendes személyiségét, s a kollégáinak írt kedves, alkalmi versikéket megőrizzük szívünkben és emlékeinkben.

*Sátori Gabriella*



# Madarasi András

## 1951 – 2017

Madarasi András széles látókörű, gyakorlati földtudományi szakemberként ismertük.

A Miskolci Egyetem Bányamérnöki Karán szerezte diplomáját bányamérnök szakon. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, az ELGI kutatójaként 1974-től a magyar középhegységi régió gravitációs, földmágneses és geoelektromos kutatásában vett részt. Érckutatóként, éveken keresztül dolgozott mongol és kubai expedíciókban. A 90-es évektől egyre fontosabb szerepet vállalt Magyarország mélyszerkezet-kutatásában. Meghatározó szerepe volt Magyarország tellurikus vezetőképesség-térképének elkészítésében és kiadásában. Magnetotellurikus projektek jelentették a legfontosabb munkáit. A mélyszerkezet, a kéreg kutatásában fontos adatokat összerendezve országos adatbázist hozott létre. Évtizedek munkáinak eredményeiből szerkesztett alapszelvényei és nagy mélységekre szerkesztett országos fajlagos elektromos ellenállástérképei a jövőben is alapvető információforrások lesznek a kutatások számára.



**Madarasi András**  
1951 – 2017

Meghatározó szakembere volt a nagy entalpiájú geotermikus rezervoárokra irányuló geofizikai kutatásoknak is. Az ipari megbízások mellett a Magyarország Geotermikus Potenciálja programban összefoglaló tanulmányt készített a geofizika és azon belül a magnetotellurika geotermikus alkalmazási lehetőségeiről. Dolgozott az ország jelentősebb földtani projektjeiben, így a felszín alatti vízbázisok kutatásának számos területén. A radioaktív hulladék elhelyezésének két nagy projektjében is fontos szerepet vállalt a magnetotellurikus kutatás, illetve a vágatok közötti terek geoelektromos átvilágítása területén.

A szakma által tisztelt kutatóként a Magyar Földtani és Geofizikai Intézetből (MFGI-ből) ment nyugdíjba 2015-ben. De aktív kolléga volt azóta is, aki szívesen osztotta meg tudását a fiatalabbakkal. A korábbi mérési anyagok rendezése és egy hamarosan induló mérési projekt előkészítése közben, otthonában váratlanul

érte a halál.

Munkája, személyisége hiányozni fog.

*Vértessy László*

# Pattantyús-Ábrahám Miklós

## 1949–2016

Pattantyús-Ábrahám Miklós, egy ambiciózus fiatalember, a Budapesti Műszaki Egyetemen frissen szerzett villamosmérnöki diplomájával a zsebében 1973-ban érkezett az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetbe, hogy aztán egészen nyugdíjazásáig, teljes életpályáját ennek az Intézménynek szentelhesse. Bár a képzettsége nem éppen a szokványos geofizikai feladatok megoldására készítette fel, Miklós gyorsan tanult. Az Intézet akkori jó gyakorlatának megfelelően először elsajátította a mágneses, elektromos, elektromágneses terepi munkák fortélyait, s tette ezt olyan jól, hogy végül őt nevezték ki e mérések irányítójává. Tapasztalatát később a geoelektromos műszertechnikai labor vezetőjeként kamatoztatta. Irányítása alatt készültek el az Intézet saját gyártású, új sorozatú egyenáramú műszerei, tápegységek, generátorok, vezetésével végezték el az Intézet által vásárolt elektromágneses műszerek terepi üzembe állítását.



**Pattantyús-Ábrahám Miklós**  
1949–2016

Mindeközben, a nyersanyagkutatásban virágkorát élő ELGI-ben Miklós kutatói kíváncsiságától vezéreltetve találta meg a régészetet mint a geofizikai műszeres vizsgálatok egy lehetséges, előtte addig itthon alig művelt területét. Ezeket a kutatásokat először inkább hobbiból, később az Intézet kutatási lehetőségeit bővítendő, intézményesen is végezte. Nagy általános műveltsége, kapcsolatteremtő képessége miatt rövidesen ő lett az ilyen jellegű kutatások témavezetője. Első sikerei között feltétlenül megemlítendő a Denevér utcai őskori tűzkőbánya elektromos ellenállás-szelvényezéssel történő megkutatása, a 80-as években végzett visegrádi mágneses mérések, majd az alsóhetényi római erőd falainak földradaros vizsgálata. Ezekkel tette ismertté a Geofizikai Intézet ilyen irányú tevékenységét.

Az 1990-es évek elejétől az ELGI tevékenysége változott. A régészeti kutatásokon túlmenően egyre nagyobb hangsúlyt kaptak az építőmérnöki munkát segítő sekélygeofizikai vizsgálatok, amelyeket Miklós ekkor már a Mérnökgeofizikai Főosztályon végzett. Nevéhez fűződik több hazai barlang (pl. Budai hegység- és a Várhegyen lévő vagy a tatabányai Szelim-barlang) felszíni kutatása, de jelentősek voltak a földradar módszer út-vasúti alkalmazásában elért eredményei is. Ma a mérnök-geofizikát ismertető

egyetemi előadásokon a radar módszerről szólva kihagyhatatlanok az általa mért M0-s autópálya, illetve a szlovén vasútvonal építését előkészítő radarmérések szelvényeinek, vagy a balácai római villagazdaság területén mért földradaros mélységmetszeteinek a bemutatása. Az utóbbi a műszergyártó cég saját lapjában is megjelent mintapéldaként.

Pattantyús Ábrahám Miklós aktív tudományos- és közéletet élt. Tagja hazai és külföldi szakmai egyesületeknek, vezetőségi tagja volt a Mérnöki Kamara Geotechnikai Tagozatának. 2004-ben Pro Geophysica Emlékéremmel tüntették ki. Ekkor már 30-nál több magyar vagy angol nyelven írt tudományos cikk szerzője vagy társszerzője, illetve rendszeres résztvevője és előadója volt a hazai és nemzetközi szakmai konferenciáknak. Az 1998-as Archaeometriai konferenciának és az ELGI tekintélyét nagyban növelő 1999-es budapesti EEGS (Environmental and Engineering Geophysical Society) konferenciának meghatározó szervezője és ötletadója is volt.

Pattantyús Ábrahám Miklós élete szorosan összefonódott az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet életével. Az Intézet történetét 1965-től 2012-ig bemutató könyv megjelenését sajnos éppen nem érthette meg, pedig ebben a „Geofizika a régészet szolgálatában” és „A földradar módszer alkalmazása” című fejezeteket ő írta.

Munkáját szenvedélyesen, nagy szorgalommal végezte. Pontos, precíz jegyzeteit irigykedve figyeltük. Talán a neves Pattantyús család sarjaként, nagyhírű műegyetemi professzor nagypapjától öröklött tulajdonság volt ez nála, akinek szellemi hagyatékát Miklós maga is oly nagy szeretettel és odaadással ápolta.

Kedves Miklós! A geofizikai kutatás megkezdett fejezeteit mi, élők tovább írjuk! Te pedig Horatiusszal mondván: „Non omnis moriar, multaque pars mei. Vitabit Libitinam”, azaz Te nem halsz meg egészen. Elvégzett munkáidban, az általad írt sorokban emléked megmarad! Szókimondó, igazságszerető természetedre, közvetlen stílusodra, humorodra és derűs mosolyodra amíg élünk, emlékezünk.

Nyugodj Békében!

*Törös Endre*

# Rendezvénynaptár

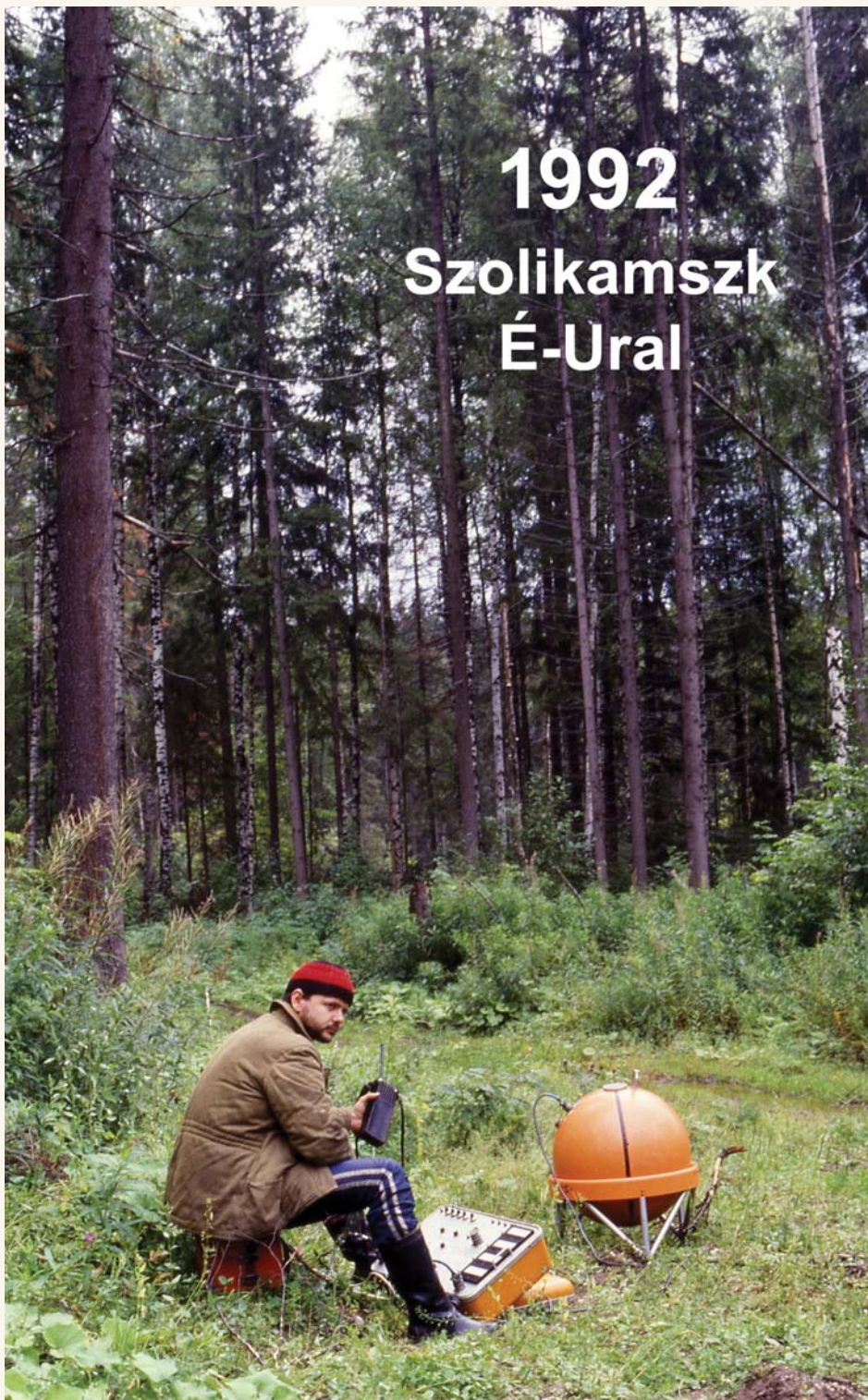
2017. április		
ápr. 10. 11.00 h	Eötvös Loránd sírjának hagyományos koszorúzása	Kerepesi Temető, Budapest, Fiumei út
ápr. 19. 14.00 h	„Környezetvédelem, sugárvédelem az egykori mecseki uránbányászat területén” (az MGE előadóiülés-sorozatának keretében)	MBFH konferenciaterem (Budapest, Columbus u.)
ápr. 23–28.	EGU közgyűlés (www.egu2017.eu)	Bécs, Ausztria
ápr. 27. 16.00 h	Ördög Tibor: A MOL Upstream K+F tevékenysége – értékteremtés hosszú távon (a BOK – Budapesti Olajos Kör rendezvénye)	Fekete Arany Klub, Budapest, Bartók Béla u. 34.
<b>ápr. 28. 13.30 h</b>	<b>Az Egyesület rendes évi közgyűlése</b>	<b>MBFH konferenciaterem (Budapest, Columbus u.)</b>
2017. május		
máj. 15–17.	16. nemzetközi geoinformatikai konferencia (www.eage.org)	Kiev, Ukrajna
máj. 17.	A Miskolci Egyetem külföldi földtudományi hallgatóinak bemutatkozása (az MGE előadóiülés-sorozatának keretében angol nyelvű előadások az Egyetem szervezésében)	Miskolci Egyetem
máj. 25. 16.00 h	Szakál Tamás: A MOL Nyrt. versenyképessége az alacsony olajárak tükrében (a BOK – Budapesti Olajos Kör rendezvénye)	Fekete Arany Klub, Budapest, Bartók Béla u. 34.
2017. június		
jún. 12–15.	79. EAGE kongresszus és műszerkiállítás (Paris 2017) (www.eage.org)	Párizs, Franciaország
jún. 17–21.	Az SPWLA 58. évi szimpóziuma (Logging Symposium) (www.spwla2017.com)	Oklahoma City, USA
jún. 21. 14.00 h	„Budapest földrengés-veszélyeztetettsége” (az MGE előadóiülés-sorozatának keretében)	MBFH konferenciaterem (Budapest, Columbus u.)
2017. július		
júl. 9–13.	WPC – 22. World Petroleum Congress (www.22wpc.com)	Isztambul, Törökország
2017. szeptember		
szept. 3–7.	Near Surface Geoscience 2017 (www.eage.org)	Malmö, Svédország

További részletek, referenciák a honlapról ([www.mageof.hu](http://www.mageof.hu)) érhetők el.

Kakas Kristóf



# 1992 Szolikamszk É-Ural



Sókutatás elektromágneses mérésekkel: a „varázsgömb”-bel  
(Maxi-Probe) Kiss János mér