

# MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

A MAGYAR  
GEOFIZIKUSOK  
EGYESÜLETÉNEK  
FOLYÓIRATA



JOURNAL OF THE  
ASSOCIATION  
OF HUNGARIAN  
GEOPHYSICISTS

Tisztelet az éveknek  
Szeniorok a Mátrában

London '13, az EAGE 75. éves konferenciája

Új szeizmikus mérések a Balatonon: beszámoló a 2011–2012. évi szelvényezésekről

Balatoni egycsatornás, nagy felbontású szeizmikus szelvények újrafeldolgozása

Magyarországi geomágneses adatok és feldolgozások:  
spektrálanalízis és térképi feldolgozások

Agócs-díj 2013

In Memoriam Geofizikai Szolgáltató Kft.

Emlékezzünk Dr. Barlai Zoltán szakmai életútjára!

In Memoriam: Siposs Zoltán  
Egerer Frigyes





# MAGYAR GEOFIZIKA

## HUNGARIAN GEOPHYSICS

54. évfolyam (2013) 2. szám



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

### TARTALOM • CONTENTS

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

- 59 Tisztelet az éveknél (Members of honoured ages) – *Hegybíró Zs.*  
62 Szeniorok a Mátrában (Excursion in Mátra mountain) – *Rezessy G.*

#### EAGE HÍREK • NEWS OF ASSOCIATION OF EUROPEAN GEOSCIENTISTS AND ENGINEERS

- 65 London '13, az EAGE 75. éves konferenciája – *Törös E.*

#### TANULMÁNYOK • PAPERS

- 67 Új szeizmikus mérések a Balatonon: beszámoló a 2011–2012. évi szelvényezésekről (Report on new seismic surveys at the Lake Balaton (2011–2012)) – *Balázs A., Visnovitz F., V. Spiess, Fekete N., Tóth Zs., Hámori Z., Kudó I., Horváth F.*  
77 Balatoni egycsatornás, nagy felbontású szeizmikus szelvények újrafeldolgozása (Reprocessing of the single channel high-resolution seismic data measured on the Lake Balaton) – *Visnovitz F., Tóth T., Hámori Z., Kudó I., Balázs A., M. Sacchi, Surányi G., Horváth F.*  
89 Magyarországi geomágneses adatok és feldolgozások: spektrálanalízis és térképi feldolgozások (Hungarian geomagnetic data set and data processing: spectral analysis and grid data processing) – *Kiss J.*

#### HÍREK • NEWS

- 115 Agocs-díj 2013 (Agocs award 2012) – *Kis K.*  
116 In Memoriam Geofizikai Szolgáltató Kft. – *Szilágyi I.*  
117 Emlékezzünk Dr. Barlai Zoltán szakmai életútjára! – *Deres J.*

#### IN MEMORIAM

- 122 Dr. Siposs Zoltán – *Szerkesztőség*  
122 Dr. Egerer Frigyes – *Szerkesztőség*

# MAGYAR GEOFIZIKA

## HUNGARIAN GEOPHYSICS

54. évfolyam (2013) 2. 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 szakcikkeket (tanulmányokat) szaklektorálás után közli. A szaklektorok névsorát az évzáró számban 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 dr. Fancsik Tamás

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



## Tisztelet az éveknek

Nagy tisztelettel és szeretettel köszöntjük idén kerek születésnapjukat ünneplő tagtársainkat, kollégáinkat. Önök a történelem igen fordulatos időszakában kezdték pályafutásukat, és később is úttörő munkát végeztek a hazai földtani-geofizikai kutatásokban, az új módszerek elterjesztésében és gyakorlati alkalmazásában.

Öröm számunkra, hogy találkozhatunk Önökkel az egyesület programjain, nemcsak a szeniorok közt, de a szakmai

előadásokon is. A továbbiakban is számítunk az Önök tapasztalataira, segítségére az egyesület előtt álló feladatok megoldásában.

Kívánjuk, hogy jó egészségben, sok örömben, kedves családi körben teljenek éveik!

Tisztelettel,  
*Hegybíró Zsuzsanna*  
 az MGE nevében

### 85. születésnapját ünnepli:

Gööz Lajos, Hobot József, Markó László

### 80. születésnapját ünnepli:

Aczél Etelka, Bartha Lajos, Elscholtz László, Gadó Károly, Gereben Lászlóné, Gerzson István, Rimpler János, Sedy Lorándné, Szarka Rudolf, Verő József

### 75. születésnapját ünnepli:

Baranyai Pál, Czipó László, Deres János, Komlóssy György, Lantos Miklós, Szalóki István, Szeidovitz Győző

### 70. születésnapját ünnepli:

Déry Béla, Drahos Dezső, Kakas Kristóf, Kardeván Péter, Kónya Albert, Kulcsár János, Matherni Géza, Pályi András, Rezessy Géza, Tátrallyai Mariella, Varga Róbert, Viola Balázs



Dr. Gööz Lajos



Hobot József



Markó László



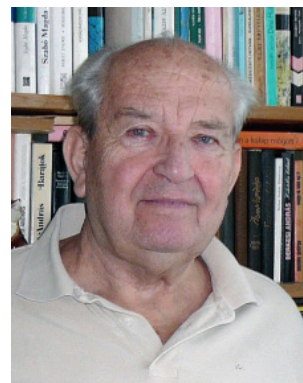
Dr. Aczél Etelka



Bartha Lajos



Elscholtz László



Gadó Károly



Dr. Gereben Lászlóné



Gerzson István



Rumpler János



Sédy Lorándné



Szarka Rudolf



Dr. Verő József



Baranyai Pál



Czipó László



Dr. Deres János



Dr. Komlóssy György



Lantos Miklós



Dr. Szalóki István



Dr. Szeidovitz Győző



Déry Béla



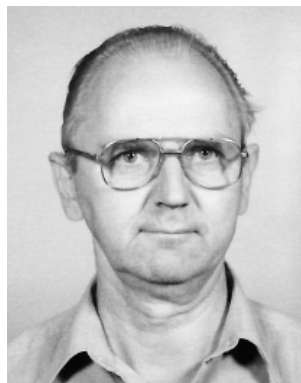
Dr. Drahos Dezső



Kakas Kristóf



Kónya Albert



Matherni Géza



Pályi András



Rezessy Géza



## Szeniorok a Mátrában

A Magyar Geofizikusokért Alapítvány támogatásával idén Mátra környékére látogattunk. Szeptember 11-én egy esős reggel, hét órától gyülekeztünk az MFGI Stefánia úti székháza előtt. A 49 fős busz fél nyolcra megtelt, elindultunk a Mátrai Erőmű Zrt. főbejáratához.

Az erőműben professzionális fogadtatásban volt részünk. A fogadóteremben egy filmvetítés keretében általános képet kaptunk az elektromos energia előállításáról, a részvénytársaság működéséről; ezt követően pedig a lignitvagyonról, annak földtani környezetéről, a termelési módról. Választ kaptunk érdeklődő kérdéseinkre is, majd mindenki megkapta a látogatók számára rendszeresített piros kobakot. A bányászok szállítására szolgáló teherautókra ültünk, és ledőcögtünk a Visontai bányába. A tengerszint körüli mélységben fekvő bányaudvarról megcsodáltuk a kilométer hosszan elnyúló lignitlepeket, a hatalmas bányagépeket – köztük számos, ma is működő NDK gyártmányút – és a holdbéli

tájat. Köszönet az Erőmű vezetőinek és szakembereinek a szívélyes, szakmailag gazdag fogadásért.

A mátrafüredi Benevár étteremben elfogyasztott ebéd után az MTA piszkéstetői csillagvizsgálóját látogattuk meg. Kelemen János csillagász szakvezetésével ismerkedtünk munkájukkal, és láttuk, földhözragadt anyagi kötöttségek béklyójában hogyan kutatják a távoli Univerzum égi csodáit.

Programunkat az ELGOSCAR-2000 Környezettechnológiai és Vizgazdálkodási Kft. telephelyén zártuk. Magyar Balázs pincéjében a baráti fogadásnak csak sofőrünk munkaideje szabott szigorú határt.

A száraz tények felsorolása mellett legyen szó a lényegről is – miért szeretjük és várjuk ezeket az együttléteket –, s álljon itt a szerző engedélyével dr. Komlóssy György tagtársunk kedves levele.

*Rezessy Géza*

Tisztelt MGE Titkárság, kedves Geofizikus Barátaim, Kollegáim!

Ezúton is megköszönöm az MGE Titkárságának a pompás kirándulás megszervezését, barátainak, kollegáimnak, ismerősöknek és ismeretleneknek egyaránt barátságukat.

El kell mondanom, hogy – még geológus létemre is – nagyon jól éreztem magamat köztetek. Ez nem vicc! Ezért írom most ezt a „Memorandum”-ot.

Jó volt együtt lenni. Jó volt persze régen évtizedekkel ezelőtt is, de akkor mi ezt (talán többen, talán kevesebben) nem is vettük észre. Olyan, mint maga az ifjúság, amikor az ember benne él: észre sem veszi, mekkora kincs. Mi egykoron közel azonos időben kezdtünk el dolgozni. Ma már az időkülönbség elhanyagolható semmiség. Nem volt könnyű világ. Mi mindannyian végig dolgoztunk közel egy fél évszázadot, ki meg annyit, ki még többet is. Nem volt könnyű. Magyarországért valamit tenni, tettekben és nem szavakban, nem volt könnyű. Lehettek ugyan sikereink is, de volt részünk megaláztatásban is. Tudjátok, ez utóbbi az az eset, amikor az ember egy novemberi esős napon lehajtott fejjel ballag az úton és mormolja:

„... ha egy úri lócsiszárral találkoztam és bevert sárral, nem pöröltem, félre álltam, letöröltem ...”

És kinek közölünk nem volt ebben része? Igaz, én letörölni letöröltem, de pörölni már csak pöröltem, mert lázadni, lázadni azt már csak tudtam. Ez genetika. Miközben meg ott vannak körülöttem a többiek, remegve, gyáván szemlesütve. De hisz én emlékszem jól, még ifjú voltam, buta kis fejemben csodálatos víziók lobogtak, egyetlen szívnek láttam a világot, melyben gyönyörű eszmék lobogtak. Mert akkor nekünk még volt hitünk, és voltak eszméink, kinek ilyen, kinek olyan, de legalább volt. De a „más hitűek” azért nem gyűlölték egymást. Bennünk a közös akkor leginkább a tenni akarás volt. Együtt indultunk, ott szorongattuk tenyerünkben tehetségünk gyémántjait, melyek az évek során briliánsná csiszolódtak. Nem is az a kérdés, mekkora volt ez a tehetség, mákszemnyi vagy Gellért-hegynyi. A kérdés az, hogy azt milyen művesre csiszoltuk. Egy mákszemnyi briliáns is tud ragyogni, egy Gellért-hegynyi is lehet homályos, ócska, vacak kötömb.

Olyan jó volt közetek leülni! Szemetekbe nézni. Lehet, hogy okosabbak vagyunk, mint ötven-hatvan évvel ezelőtt, de hogy szebbek nem lettünk, az egyszer már biztos. És mégis a szemek! Akiket ismertem még hallgató koromból, mindenkinek leginkább a szemére emlékszem. Ahogy

beszélgetek velük, az a többé-kevésbé már megfáradt szem ott ül az idők múlásával felszántott arcon, szóval, ahogy beszélgetek velük, egy-egy pillanatra bevillant a 18 éves szem és annak gömbtükrében pedig a boldog ifjúságom emléke.

Elmúlt az ötven-hatvan év, és mi maradt még? Maradhattak még kis hittörédek, maradhattak még eszmemorzsák. Be kell ennyivel érjünk, és boldogok lehetünk, hogy együtt lehettünk, jó szívvel, barátsággal.

Köszönöm. „Veletek jövőre ugyanitt” jeligré:

*Komlóssy György,*  
egy magyar geológus



A Mátrai Erőmű bányagödre



A lignitbánya



Piszkéstető



A csillagvizsgáló





Az ásványgyűjtemény



Magyar Balázs fogadja a vendégeit



Csoportkép a pince előtt

A kirándulás képeit *Vida Zsolt* tagtársunk készítette

# London '13

## az EAGE 75. éves konferenciája

Csak úgy nem esik be az ember az EAGE-SPE EUROPEC éves konferenciájára, hanem van valami konkrét célja is, amiért elmegy oda. A szakma növekvő népszerűségét mutatja, hogy kb. 8200 fő volt ezzel így az idén júniusban, és vett részt Londonban az ExCeL Kiállítási Központban megtartott rendezvényen. Volt miért menni: 16 workshop, 90 szóbeli, 16 poszterszekció és külön négy diák tudományos szekcióban voltak előadások. 11 500 m<sup>2</sup>-es kiállítói területen 360 cég mutatta be termékeit, ill. szolgáltatásait, kiállítói standjai voltak a honi szakmai egyesületeknek, az EAGE Local Chapterének, megbeszélései számos sok, a szervezet működésével kapcsolatos EAGE bizottságnak.



Szabó Norbert előadását tartja



London épülő belvárosa

Szóval, ki és miért is megy el egy ilyen konferenciára? A kiállításon részt vevő szolgáltató, műszergyártó cégek képviselőivel beszélgetve, „aki nincs itt, az nincs is”, mármint nincs is a piacon természetesen – és bár tudjuk ez azért egy kicsit túlzás –, ugyanakkor meg egy kicsit vonatkozik ez az egyéni kutatókra, a tudományos előadásokkal a konferenciákra jelentkezőkre is.

Néhány évvel ezelőtt a kiállításon járva, lépten-nyomon találkozhattunk hazai ismerőssel, sokszor itt tudhattuk meg első kézből az otthoni híreket, mostanra ez már megváltozott. Ehelyett a csökkenő létszámban jelen lévő hazai résztvevők mellett minden évben egyre több magyar, külföldön dolgozó fiatal kollégával, egyre inkább diákkal találkozunk. Nem véletlenül a diákokkal. Az EAGE ugyanis nagy hangsúlyt fektet és sokat is áldoz a diákok kezdeti szakmai szerepvállalásának megkönnyítésére a különböző, csak diákoknak tartott előadásokkal, vetélkedőkkel és munkahelykereső standokkal. Az idén 650 fiatal vett részt ezeken a rendezvényeken. Persze tudjuk, üzlet ez is, és ami nem az, az innen hamar kiszorul. Ilyen pl. a geofizikai műszerek piacán a sekélygeofizikában használatos műszerek jelenléte. Egyre kevesebb van belőlük. Kár. Tudok olyan tengerentúli műszergyártó kiállítóról, amelynek a hagyományos, sekélygeofizikai kutatásban használatos műszereiről alig volt prospektusa, volt ugyanakkor a még egyetlen egy példányban sem működő eszközéről, amely viszont egyszer majd a szénhidrogén-kutatásban lesz használatos, ha kész lesz... Pedig, ha már a sekélygeofizikánál tartunk, az örök rivális, az SEG éppen most készül egy, az egyesületen belüli külön csoport-



Egykori Temze-csatorna ma





Cég új köntösben I.

tot létrehozni a sekélygeofizikával (is) foglalkozó tagjainak. A konferencián egy ügynöke végigjárta az öt érdeklő standokat, és hosszasan gyözködte a kiállítókat a belépés előnyeiről.

A technikai fejlődésnek köszönhetően a konferenciáról az sem marad le teljesen, aki nem tudott személyesen jelen lenni. 2010-től ugyanis minden konferencián 10 fontos előadást egy-egy 20 perces videón rögzítenek, melyeket az egyesület honlapján a tagok ingyenesen megtekinthetnek ([www.learningeoscience.org](http://www.learningeoscience.org)). A jó hír mellé idekíváncozik egy rosszabb is. Ettől az évtől megszűnik a DLP (Distinguished Lecturer Programme) keretében a meghívott előadók, az előadás helyszínére történő utaztatásának EAGE



Cég új köntösben II.

által történő finanszírozása. Helyette azt is videokonferencia-beszélgetés keretében kívánják lebonyolítani.

A konferencia helyszínéről, ill. annak környezetéről is érdemes néhány szóban megemlékezni. A kiállítói helyszín környéke, a Temze folyó dokk negyede ma tipikus, barna zónás terület, ami látványos fejlődésen ment keresztül az előző, néhány évvel ezelőtti EAGE óta. Úgyesen és okosan építkeznek, foglalják el és alakítják át új üzleti negyeddé, ipari parkokká, pihenőhelyekké ezeket az egykori ipari területeket, amelyeket a kötöttpályás közlekedés folytonos bővítésével a belvárosból is kényelmesen el lehet érni.

Jövőre Amsterdam '14.

*Törös Endre*



# Új szeizmikus mérések a Balatonon: beszámoló a 2011–2012. évi szelvényezésekről

BALÁZS A.<sup>1,@</sup>, VISNOVITZ F.<sup>1</sup>, V. SPIESS<sup>2</sup>, FEKETE N.<sup>2</sup>, TÓTH ZS.<sup>2</sup>, HÁMORI Z.<sup>3</sup>, KUDÓ I.<sup>3</sup>,  
HORVÁTH F.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C

<sup>2</sup>Department of Geosciences, University of Bremen, Klagenfurter str., 28359 Bremen, Germany

<sup>3</sup>Geomega Kft., 1095 Budapest, Mester utca 4.

@E-mail: balatt@gmail.com

A Balaton 1987 és 2007 közötti vízi szeizmikus felmérése számos új eredményt hozott a Pannon-medence (pannóniai) üledékes közeinek sztratigráfiai és tektonikai megismerésében. A felmérés teljességének elérése és az új eredmények általánosítása céljából 2011–2012 évek során folytattuk a korábbi években sikerrel alkalmazott egycsatornás ultranagy felbontású és nagy felbontású többszatornás méréseket. Ezek alapján térképezni tudtuk a balatoni iszaphoz kapcsolódó gázszaturáció területi elterjedését. A gázmentes déli parti sávban további adatokat gyűjtöttünk az iszap alatti pleisztocén korú folyómedrekről. A felmérés kiemelkedő eredményét a medenceperemi pannóniai formációk települési viszonyainak hiteles leképezése jelentette a nagy felbontású többszatornás szeizmikus szelvényekkel. Ezek azt mutatják, hogy a Száki, Somló és Tihanyi Formációk egy progradáló deltarendszer üledékképződési környezetet reprezentálnak. Ezen túlmenően tektonikai szempontból lényeges, hogy sikerült a pannóniai képződményeket deformáló fiatal balos eltolódásos vetőrendszer (Balatonfői-vonal) nyugati folytatását megismerni.

## Balázs, A., Visnovitz, F., Spiess, V., Fekete, N., Tóth, Zs., Hámori, Z., Kudó, I., Horváth, F.: Report on new seismic surveys at the Lake Balaton (2011–2012)

In the period of 1987 to 2007 several seismic acquisition campaigns were carried out on the Lake Balaton. The high resolution dataset assisted the understanding of the Late Miocene stratigraphic and tectonic evolution of the Pannonian Basin, but some open questions still remained. In 2011 and 2012 the seismic research team of Eötvös Loránd University continued this successful high- and ultra-high resolution seismic acquisition in order to generalize the previous results in the area.

A complete map showing the extent of the gas saturated mud was prepared with the help of the new data. In the southern areas with limited gas saturation further information has been received on the Pleistocene incised river channels situated below the mud. The highlight of the survey was acquisition of unprecedented images of the basin-margin Pannonian formations. We infer that the Száki, Somló and Tihany Formations represent the bottomset, foreset and topset of a progradational delta-system (resp.). Finally, the presence of a wide left lateral shear zone (Balatonfői Line) below the lake has been corroborated by the new data.

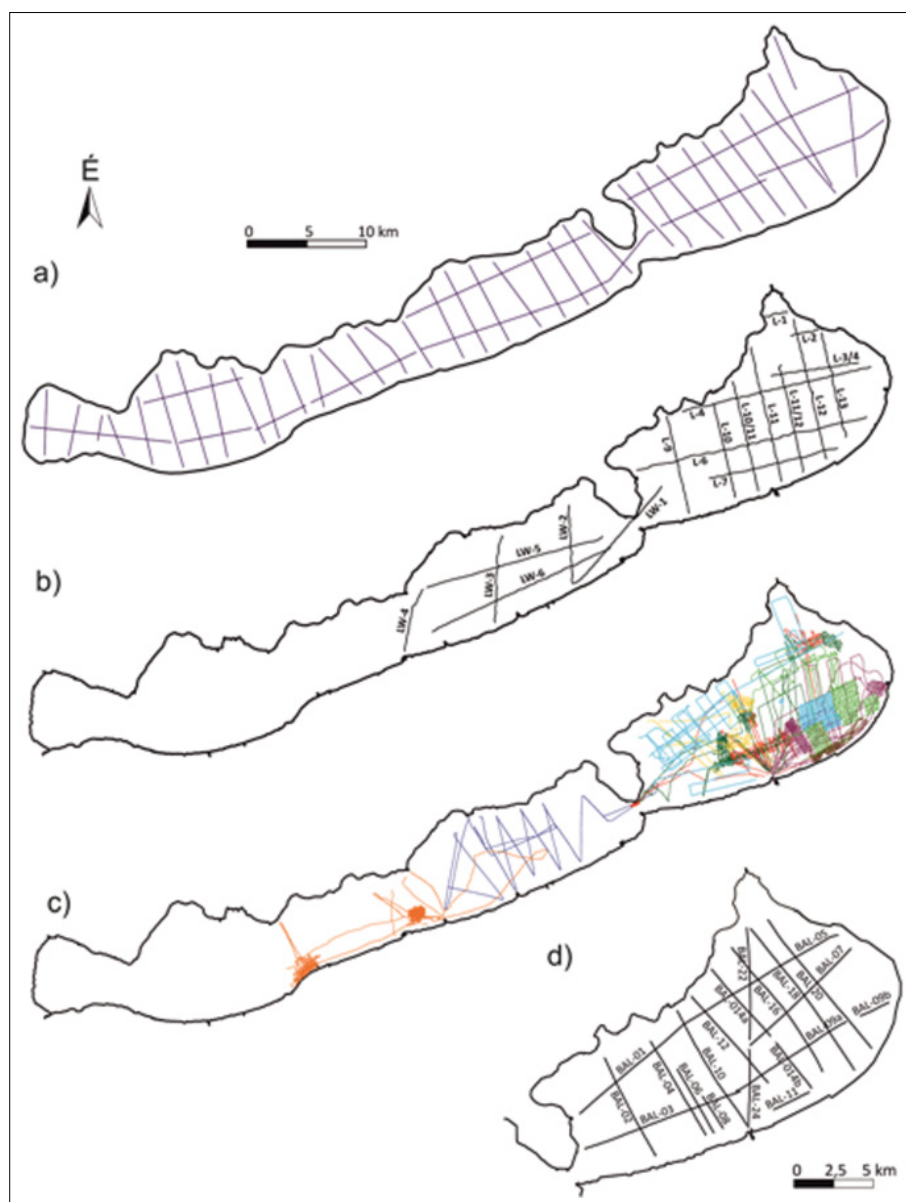
*Beérkezett:* 2013. július 2.; *elfogadva:* 2013. augusztus 16.

## Bevezetés

A vízi szeizmikus mérések előnye a szárazföldi mérésekkel szemben a nagy felbontóképességben és a jó jel/zaj arányban rejlik. Mivel a jelforrás és az észlelő berendezés is a jó csatolást biztosító vízben helyezkedik el, a magasabb frekvenciájú hullámok nagymértékű elnyelődése nem következik be. Szintén előnyt jelent, hogy a vízi mérések feldolgozása során nem szükséges a szárazföldi laza réteg miatti statikus korrekciók végrehajtása, sőt a nehezen kezelhető felületi hullámok sem jelennek meg a felvételeken.

A jelforrás frekvenciatartományának megfelelően így akár néhány tíz métertől a deciméterig terjedő felbontás is elérhető (Tóth Zs. et al. 2010).

Az elmúlt két évtizedben számos szeizmikus szelvényezés zajlott a Balatonon, hiszen a nagy felületű tó páratlan lehetőséget nyújt a Pannon-medence geológiai és tektonikai viszonyainak részletes vizsgálatára. A korábbi balatoni szeizmikus mérésekről bővebben Tóth Zs. et al. (2010) és Visnovitz et al. (2013a) cikkei számolnak be. Ezeket a méréseket az *1. ábra* és az *1. táblázat* foglalja össze.



**1. ábra** | Az 1987 és 2007 között végrehajtott balatoni szeizmikus mérések helyszínrajza. Az a) ábra az 1987–1989-es MÁFI méréseket (Cserny et al. 2004), a b) ábra az 1993-as olasz–magyar méréseket (Sacchi et al. 1999), a c) ábra az ELTE–Geomega Seistec™ méréseket, a d) ábra a német–magyar többszornás méréseket mutatja (Tóth Zs. et al. 2010)

**Figure 1** | Location map of the seismic surveys of 1987–2007: a) MÁFI acquisition, 1987–1989 (Cserny et al. 2004), b) Italian–Hungarian cooperation, 1993 (Sacchi et al. 1999), c) ELTE–Geomega Seistec™ surveys, d) German–Hungarian multichannel survey (Tóth Zs. et al. 2010)

**1. táblázat** | A 2011 előtt mért balatoni szeizmikus mérések összefoglaló táblázata

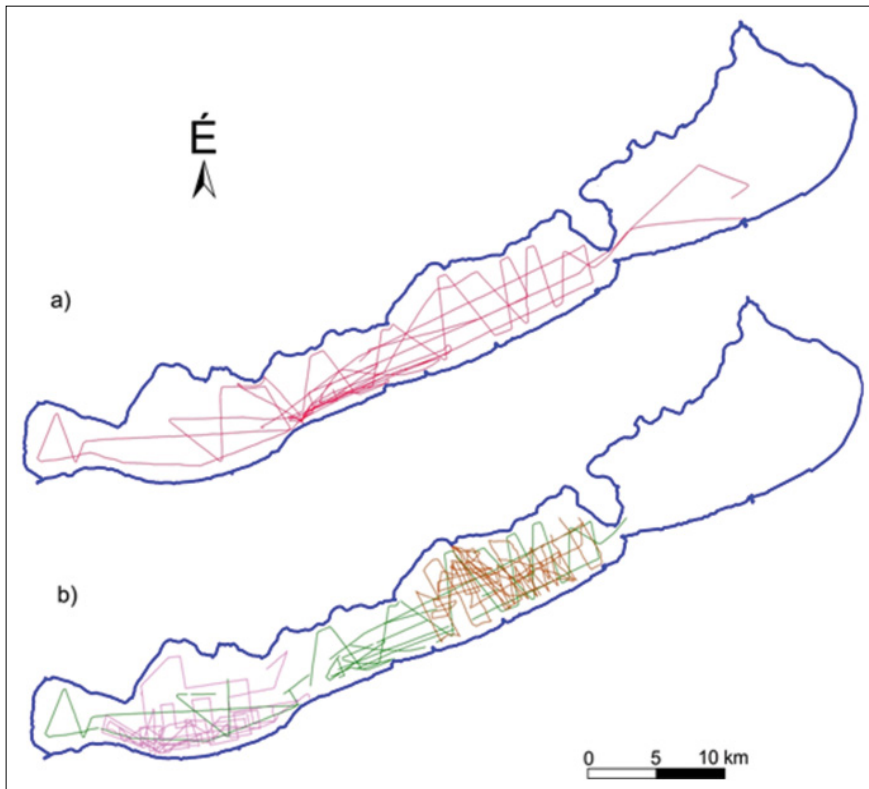
	MÁFI kubai–magyar expedíció	ELTE olasz–magyar mérések	ELTE Seistec™ mérések	ELTE német–magyar többszornás mérés
Mérés éve	1987–1989	1993	1997–2007	2005
Forrás	sparker és boomer	boomer	boomer	G.I. gun és watergun
Mért szelvényhossz (km)	373	190	700	250
Felbontás (m)	0,5	1	0,1	1–2
Behatolási mélység (ms)	40	150	30–60	350

## Újabb mérések és adatfeldolgozás

2011 nyarán és 2012 tavaszán újabb vízi szeizmikus mérések zajlottak a Balatonon az ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, a Geomega Kft. és a brémai egyetem szakembereinek együttműködésében. Míg a korábbi szelvények

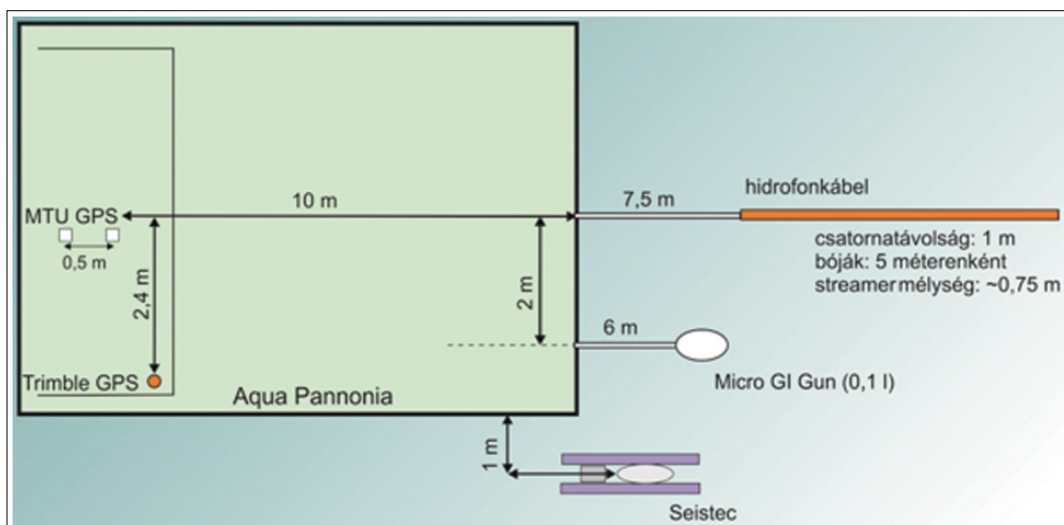
zöme a tó keleti medencéjére terjedt ki, addig az új mérések szinterei a nyugati medencerészek voltak. Az új szeizmikus vonalak helyszínrajza a 2. ábrán látható.

2011. augusztus végén és szeptember elején 6 napon át zajlottak mérések Zánka előterében a Seistec™ nevű, ultranagy felbontású berendezéssel. 2012 áprilisában folytat-



**2. ábra** A 2011 és 2012 között végrehajtott balatoni szeizmikus mérések nyomvonala. Az ábra a) részén az új többsatornás szeizmikus mérések, a b) részén pedig az új Seistec™ mérések nyomvonala látható (barna: 2011-es kampány, lila: 2012. áprilisi mérések, zöld: 2012. májusi mérések nyomvonala)

**Figure 2** Location map of the new seismic surveys of 2011–2012: a) high-resolution multichannel survey, b) ultra-high resolution single channel surveys (brown: 2011 campaign, purple: campaign of 2012 April, green: campaign of 2012 May)



**3. ábra** A 2012-ben zajlott Seistec™ és többsatornás mérési elrendezés vázlata az Aqua Pannonia fedélzetén  
**Figure 3** Deckplan of the 2012 single- and multi-channel seismic surveys on the board of Aqua Pannonia

tuk az egycsatornás Seistec™ méréseket, majd az év májusában a brémai egyetemmel együttműködve többscatornás műszerekkel kiegészülve végeztünk szelvényezést a tavon Siófoktól Keszthelyig. A mérési elrendezést a 3. ábra mutatja.

A Seistec™ mérőberendezést Simpkin fejlesztette ki az 1990-es évek elején Kanadában (Simpkin, Davis 1993). Az ultranagy felbontás jelen esetben azt jelenti, hogy a forrás hasznos frekvenciája 1–11 kHz közé esik. Ennek köszönhetően az elérhető vertikális felbontás 10–20 cm, a maximális behatolás pedig 30–50 m volt. Ezeknél a méréseknél a mérőműszer egy katamarán úszótestre erősített boomer forrásból és egy fókuszáló kúp tengelyébe elhelyezett, 7 hidrofónból álló csoportból állt.

A boomer egy elektromechanikus forrás, amely egy lapos tekercsből és egy tőle szigetelt, vízbe helyezett fémlapból áll. A lövést nagyfeszültségű kondenzátorokon tárolt energiategercsen keresztül történő hirtelen kislülése generálja. A kislüléskor létrejövő köráram a fémlapban ellentétes irányú örvényáramot hoz létre. Ez az örvényáram a fémlapot hirtelen ellöki a tekercestől, és az alatta lévő víztömeget közvetlenül gyorsítva nyomáshullámot generál. A hidrofonokat körbevevő fókuszáló kúp minimalizálja a vízfelszínről, illetve az oldalról beérkező hullámok zavaró hatását, így növelve a jel/zaj arányt (Tóth T. 2003).

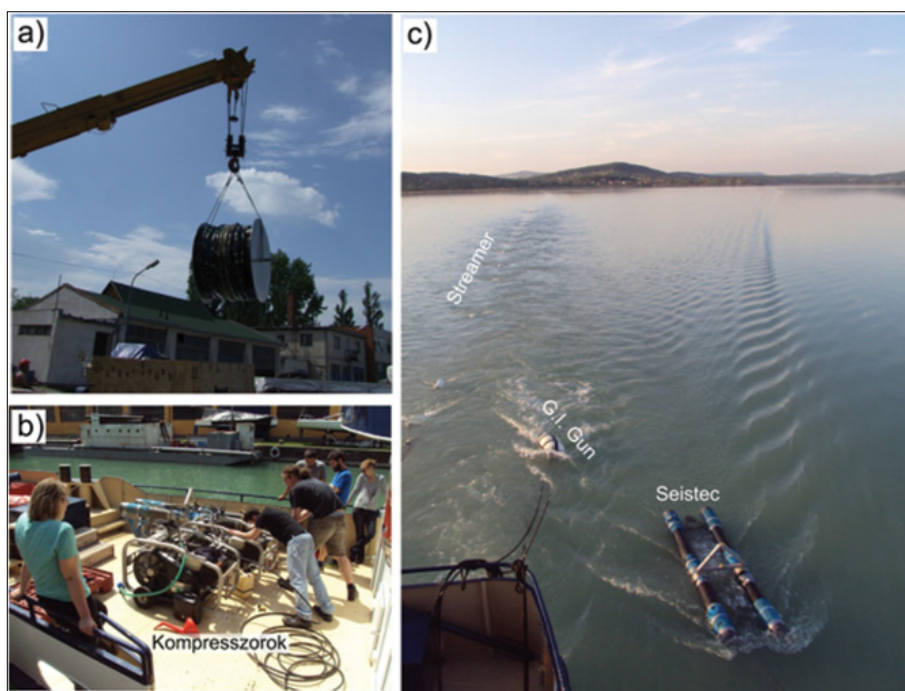
A szeizmikus mérőműszer kisebb mérete miatt a méréseket egy kisebb és könnyen navigálható hajóról végezhattük, amely a regisztrálás folyamán átlagosan 1–2 m/s-os sebességgel haladt. A Seistec™ szelvényeknél 0,01 ms mintavételi közzel 50 ms-os felvételeket készítettünk. A 2012. májusi kampány során az egycsatornás és a többscatornás mérés ugyanazon hajóról egy időben folyt (4. ábra), ezért a másodpercenként leadott Seistec™ lövések közül minden ötödik kimaradt, hogy az ne zavarja az öt másodperces időközzel végzett többscatornás lövést és regisztrálást.

A többscatornás mérések esetében a felvétel hossza egy másodpercig tartott, és a mintavételezés időköze 0,125 ms volt. Forrásunk ún. G.I. (generator-injector) Gun volt, amely nagy nyomású (100 bar) levegő egymást követő robbanás-szerű kiengedésével kelti a nyomáshullámokat. Az első robbanás hatására a vízben oszcilláló légbuborék keletkezik, amely olyan kisfrekvenciás jelet kelt, mely a mérés frekvenciatartományába esik, ezért nem szűrhető ki egyszerűen az adatfeldolgozás során. A kettős gerjesztés megfelelő időzítésével azonban az oszcilláció megszüntethető, mivel a második lövés az elsőként gerjesztett légbuborékot szétlövi (Tóth Zs. et al. 2010). A szükséges sűrített levegőt a hajó orrában elhelyezett két robbanómotoros kompresszor állította elő (4. ábra).

A felvételezés során kétféle hidrofonkábel is kipróbáltunk, egyrészt egy 48 csatornás analóg, másrészt egy 60 csatornás digitális hidrofonkábel. A helymeghatározás differenciál GPS-szel történt. A mérés során készült képeket a 4. ábra mutatja.

A mért adatokat a mérési kampány ideje alatt a Vista feldolgozó szoftverrel, majd a végleges feldolgozást a ProMAX programmal hajtottuk végre. Az egycsatornás felvételek feldolgozása néhány egyszerű lépéssel kivitelezhető (Balázs 2011). A nyers szelvényeken amplitúdókorrekciókat, sávszűrést, esetenként F-X dekonvolúciót alkalmaztunk. Az esetleges diffrakciós eseményeket Kirchhoff-migrációval korrigáltuk. Mivel a Seistec™ mérések felbontása deciméteres, az ezzel összemérhető nagyságú hullámzás is szuperponálódik a regisztrált jelre. Ez azonban gondos utófeldolgozással szinte tökéletesen eltávolítható (5. ábra).

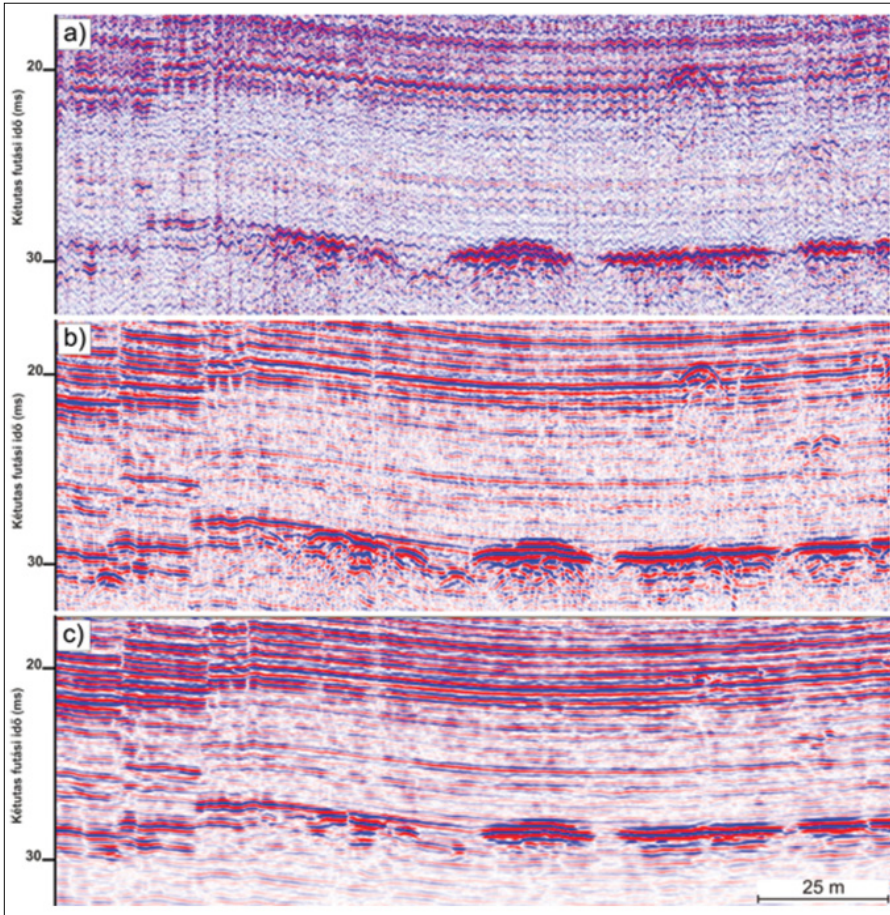
A többscatornás szelvények feldolgozása a megszokott szeizmikus jelfeldolgozási lépéseket követte (Tóth Zs. 2009). Az első lépés a mérési geometria definiálása és a binelés volt. Ehhez a Vista feldolgozó programot és a brémai egyetemen



**4. ábra** A 2012-es mérési kampány során alkalmazott műszerek az Aqua Pannonia hajó fedélzetén. Az ábra a) része a streamer kábeldobjának hajóra történő beemelését, b) a hajó orrában elhelyezkedő kompresszorokat, c) a műszereket mérés közben mutatja

**Figure 4** Instruments of the 2012 seismic campaign on the board of Aqua Pannonia: a) the cabledrum of the streamer, b) the compressors in the front of the ship, c) the seismic instruments during operation



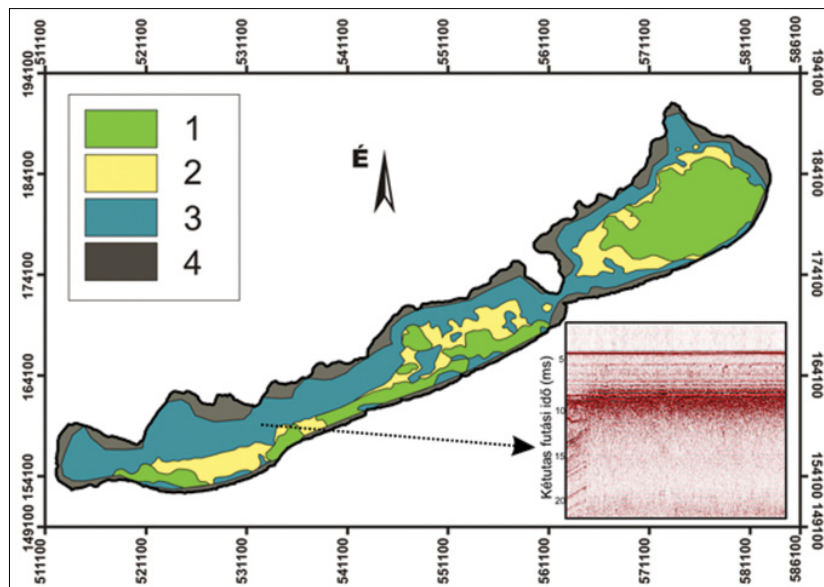


**5. ábra** Hullámzó vízben regisztrált Seistec<sup>TM</sup> szelvény részlete a), a feldolgozott és a hullámzás hatásának eltávolítása után kapott szelvény b), a szelvény migrált változata c)

**Figure 5** Raw Seistec<sup>TM</sup> data measured on the wavy water a), processed and unwaved seismic section b), seismic section after Kirchhoff migration c)

kifejlesztett WinGeoapp szoftvert használtuk. Ekkor precízen kiszámoltuk minden lövés esetén a CMP (közös felezőpont)

koordinátákat. Mivel a CMP-k a szelvény mentén egy pontfelhőt alkotnak, így ún. CMP bineket, vagyis meghatározott



**6. ábra** A gáztelítettség területi változása a balatoni iszapban. *Jelkulcs:* 1 = Közel gázmentes területek, jó szeizmikus behatolással (vö. 7. ábra DK-i része), 2 = mérsékeltén gázos területek, változó szeizmikus behatolással (vö. 7. ábra ÉNY-i része), 3 = gázos területek, ahol a rugalmas hullámok nem hatolnak az iszap alá, 4 = nem felmért területek

**Figure 6** Spatial variation of gas saturation of the mud layer of Balaton. *Legend:* 1 = territories with nearly zero gas saturation (cf. south-eastern part of Fig. 7) and good seismic penetration, 2 = moderate gas saturation with variable seismic penetration, 3 = high gas saturation which reflects the seismic energy, 4 = no data



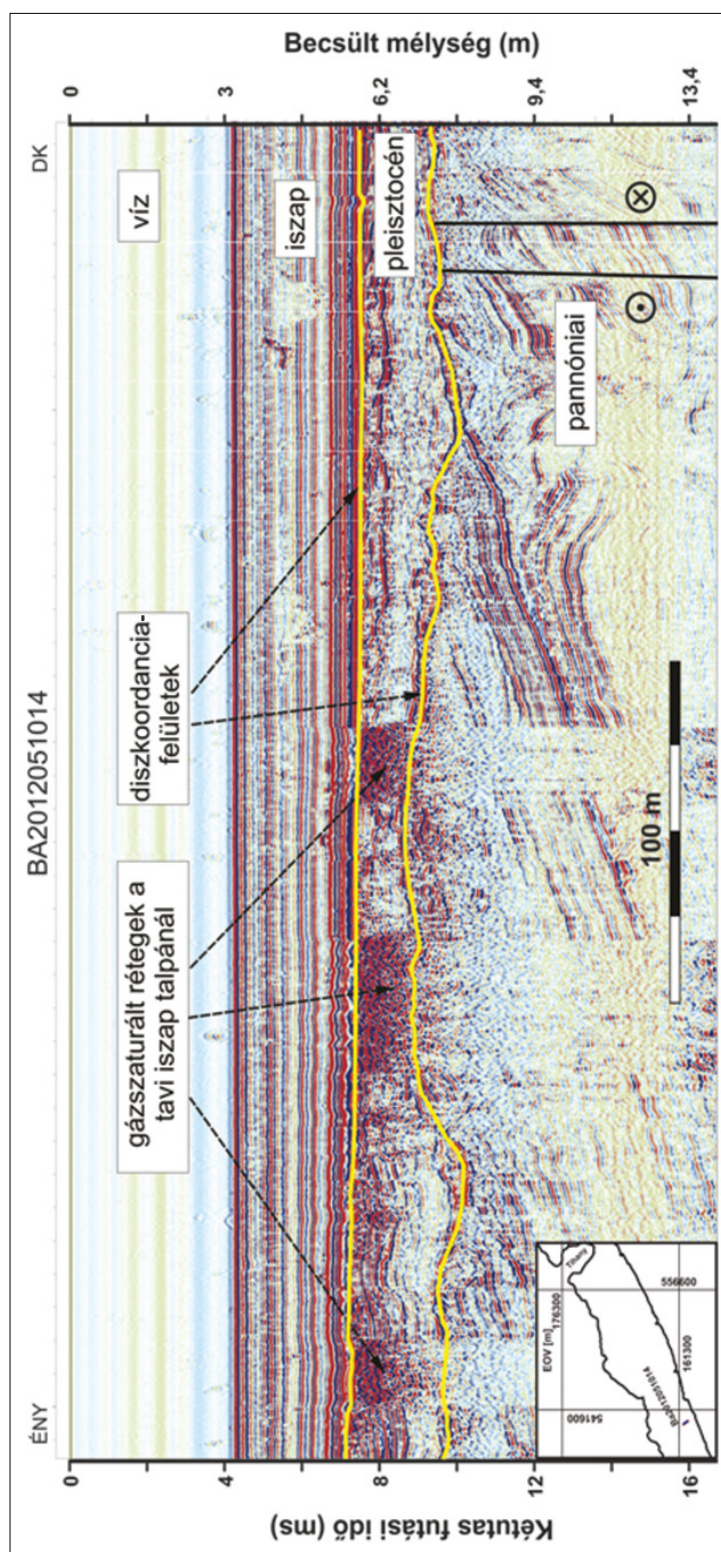
nagyságú keresési sávokat kell definiálni. A művelet során az egyes binek középponti koordinátáját rendeljük a definiált nagyságú területre eső minden CMP-hez. Ennek megfelelően ahány csatorna esett az adott binbe, akkora lett a fedésszám. Ezt követően amplitúdókorrekciókat, sávszűrést és prediktív dekonvolúciót alkalmaztunk, amelyet F-K szűrés követett. Ezután elvégeztük a CDP szerinti összegzést, majd az adatokon post-stack Kirchhoff-migrációt hajtottunk végre az előállított sebességtér felhasználásával a diffrakciós események korrigálása céljából.

### A mérési eredmények előzetes értelmezése

A balatoni vízi szeizmikus mérések legnagyobb „ellensége” az iszapréteg felső részén akkumulálódott biogén eredetű gáz. Ennek oka az, hogy már néhány százalékos gáztelítettség is olyan mértékben lecsökkenti a réteg akusztikus impedanciáját a környezetükhöz képest, hogy a nagy impedancia-kontraszt miatt a rugalmas hullám energiájának döntő része (fordított polaritással) visszaverődik. Ez megakadályozza a mélyebb rétegek szeizmikus leképezését. Méréseink során sajnálattal tapasztaltuk, hogy a balatoni iszap nagymértékben elgázosodott és csak a tó egy déli sávja volt szeizmikusan átlátható (6. ábra). Ebben a sávban a különböző behatolási képességű műszerek együttes alkalmazásának köszönhetően a balatoni iszapról, az alatta található pleisztocén és pannóniai rétegek települési viszonyairól és tektonikai sajátosságairól jó áttekintő képet kaptunk.

Néhány helyen találkozhatunk mélyebben fekvő (a pleisztocén vagy a pannóniai kőzetekben megrekedt) gázakkumulációval is. Ezek forrásai a Balaton környezetében több helyen feltörő savanyú vizekben megjelenő szén-dioxid, vagy a mélymedencékben képződött termogén szénhidrogén gázok lehetnek.

A következőkben négy szelvény segítségével illusztráljuk a 2011–2012-es mérések eredményeit. A 7. ábra



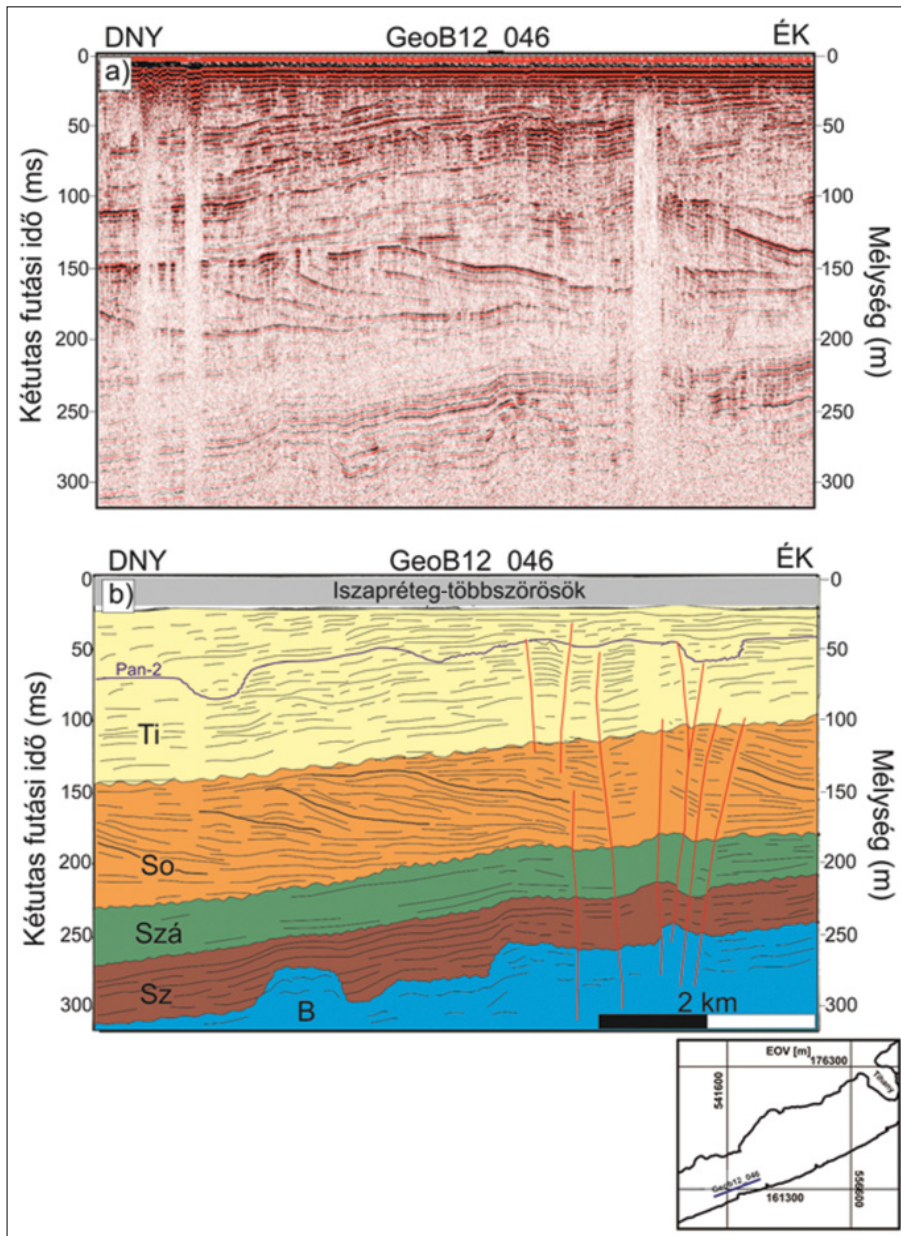
**7. ábra** Egycsatornás (Seistec™) szelvény Fonyódliget előteréből. Az ultranagy felbontású szelvényeken jól követhető diszkoordinációtületek határolják a balatoni iszapot, a pleisztocén korú üledékeket és a pannóniai összletet

**Figure 7** Single-channel (Seistec™) seismic section in front of Fonyódliget. Unconformity surfaces can be seen on the section separating the mud of the Lake, the Pleistocene strata and the truncated Pannonic strata

egy Fonyódliget előterében húzódó egycsatornás szeizmikus szelvényt mutat, amely a 2012-es kampányban lett mérve a többsatornás méréssel egy időben. A kb. 3 méter mély víz alatt a balatoni iszap látható 2–3 méter közötti vastagságban. Ennek bázisa egy markáns diszkordanciafelület, amely alatt pleisztocén korú üledékek találhatóak. Ez a déli part mentén pár száz méter széles sávban, nagyobb kiterjedésben pedig a Nagyberek előterében jelenik meg (Visnovitz, Horváth

2013b). A Fonyód előterében végzett részletes vizsgálat arra mutat (Novák et al. 2010), hogy ezt egy pleisztocén korú folyó bevágódása és a meder feltöltődése hozta létre. Ez alatt néhány fokos dőlésű, nagy amplitúdójú reflektáló felületekkel több rétegtani egységre (paraszekvenciára) tagolódó panóniai összlet települ.

A többsatornás szelvényeken a vékony iszap- és a pleisztocén rétegek a kisebb felbontás miatt nehezen követhetőek



**8. ábra** Többsatornás szelvény Balatonboglár előterében: a) feldolgozott szelvény, b) a szelvény vonalas rétegtani értelmezése. Vegyük észre, hogy a Somlói Formáció vastagsága alapján a progradáció mintegy 80 m-es vízmélységben történt. Értelmezésünk szerint a Tihanyi Formációban több száz méter széles, 10–20 m mély mederbevágódások vannak. *Jelkulcs:* B = bádeni agyagmárga és biogén mészkő; Sz = szarmatai agyagmárga és biogén mészkő; Szá = Száki Formáció, szublitorális agyagmárga; So = Somlói Formáció, progradáló deltalejtő; Ti = Tihanyi Formáció, deltaágak közötti öblök, deltasíksági mocsarak és medrek üledékei

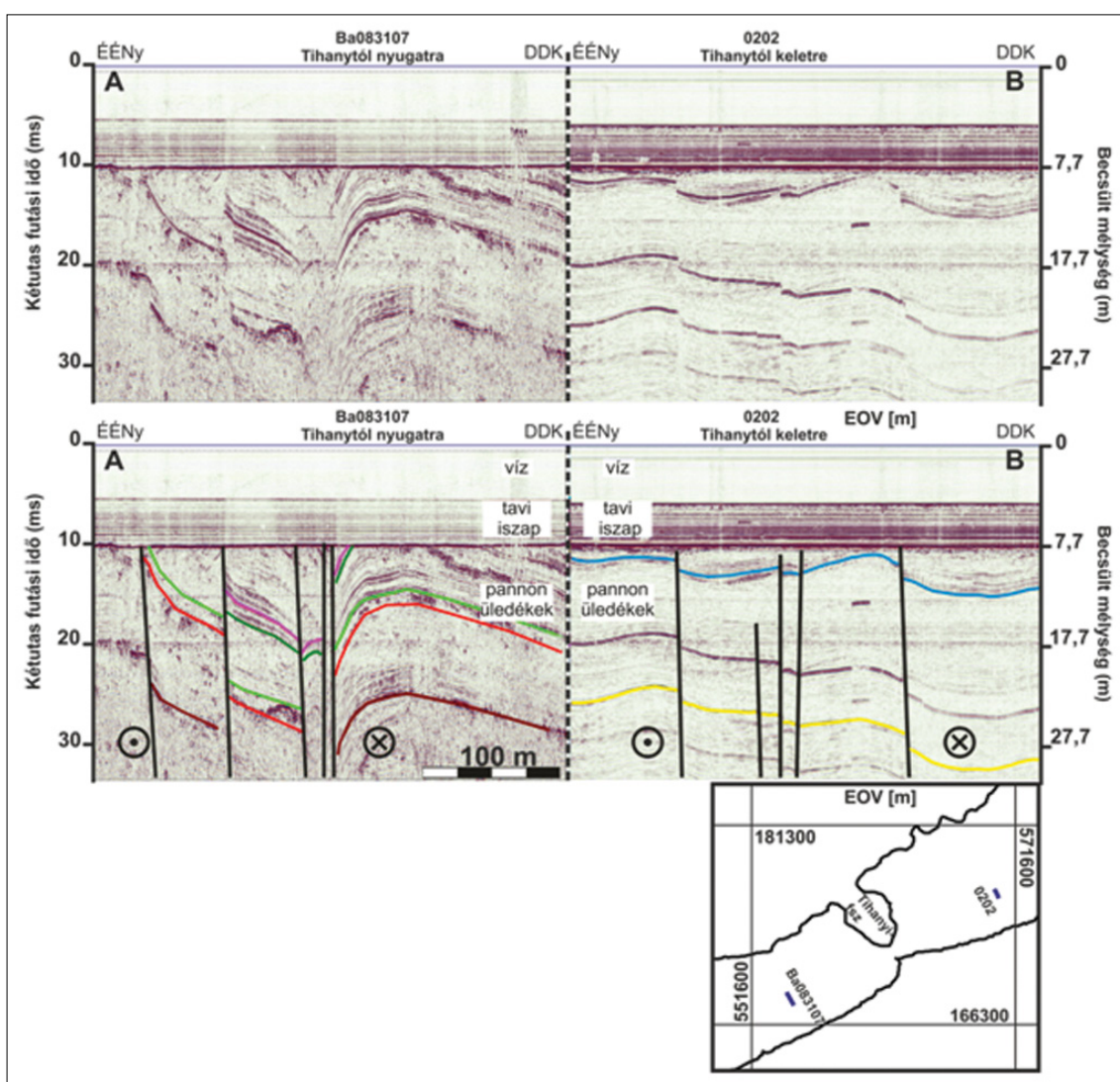
**Figure 8** Multi-channel seismic section in front of Balatonboglár: a) processed section, b) line-drawing interpretation of the section. Note that the progradation of Somló Formation occurred in a water depth of 80 metres. According to our interpretation incised river channels can be seen with 10–20 m depth and several hundred metres width in the Tihanyi Formation. Legend: B = Badenian claymarls and biogenic limestones; Sz = Sarmatian claymarls and biogenic limestones; Szá = Szák Formation (sublitoral marls, claymarls); So = Somló Formation (prograding deltaslope); Ti = Tihanyi Formation (deposited at inter-distributary bays, delta-plain swamps and distributary channels)



(8. ábra). Ezzel szemben a vastag (100–200 m) pannon rétegsor jól leképezhető egészen a nagy akusztikus impedanciakontraszttal jelentkező szarmata korú mészkövekig és márgákig (Sacchi et al. 1999). A pannóniai rétegsort a Dunántúli-középhegység peremén és a Balaton környezetében feltárásokból jól ismerjük. Jámbor (1980) klasszikus munkájában számos medenceperemi (hegységperemi) litosztratiográfiai egységet definiált, amelyek tér- és időbeli helyzete és a mélymedencei formációkkal (Bérczi és Phillips 1985, Juhász 1994) való kapcsolata mind a mai napig vita tárgyát képezi (Csillag et al. 2010, Horváth et al. 2010, Sztanó et al. 2010). Sztanó et al. (2013) munkájukban új modellt javasolnak. Eszerint a Dunántúli-középhegység területe a pannóniai letelepítés felületén a Pannon-tó vízszintje fölé emelkedett, és csak a korai nagy transzgresszió során (kb. 9,8 Ma) került víz alá. Amíg a Kisalföld medencéje fel nem töltődött, addig erre a víz alatti hátra csak a folyótorkolatoktól ellebegő szuszpendált anyag érkezett. Ezek eredménye a

száki agyagmárga felhalmozódása mintegy 80 m mély vízben, szublitorális környezetben (Cziczser et al. 2009). A Kisalföld feltöltődésével azonban új helyzet állt elő, mert a beszállított törmelékes anyag zöme a mély Zalai-medence irányába fordult (selfperemi deltaépülés), míg a Dunántúli-középhegység felett sekélyvízi (selfen épülő) deltarendszerek alakultak ki.

A Balaton déli peremén található fúrások segítségével értelmezett többsatornás szeizmikus szelvények egy részlete látható a 8. ábrán. Ez azt dokumentálja, hogy a száki agyagmárgára települő Somlói Formáció a selfen épülő deltalejtő üledékeit képviseli. A szelvényen látható jellegzetes klinoformok alapján a delta épülése 60–80 m-es vízmélységben alakult ki, ciklikusan változó vízszint mellett. A Tihanyi Formációt az e fölött lévő deltasíksági üledékek alkotják. Ebben markáns határként azonosítható az a szárazulati felszín (Pan-2, Horváth et al. 2010), amelyre a Tihanyi-félszigetről jól ismert vulkáni törmelékek hullottak (7,96–



**9. ábra** Az egysatornás vízi szeizmikus szelvényeken azonosított vetőrendszer a Tihanyi-félszigettől nyugatra (A) és keletré (B). A szelvények a vetőrendszer tengelyére merőleges lefutásúak

**Figure 9** Figure showing the Balatonfő fault zone in the western (A) and eastern part (B) of the lake. These sections are perpendicular to the axis of the fault zone



7,92 Ma, Wijbrans et al. 2007). A szárazulattá válás további kétségtelen bizonyítéka a vulkáni tevékenységgel kapcsolatos édesvízi mészkőkúpok („gejzíritek”, Lóczy 1913) kialakulása. A szárazulati felszín ismételt elöntésének és feltöltődésének bizonyítékai a feltárásokban (pl. Fonyódi-várhegy, Novák 2006) és szeizmikus szelvényeken (pl. 8. ábra) is látható folyómedrek.

A balatoni szeizmikus adatok nincsenek összhangban azazal az elképzeléssel, hogy a Tihanyi Formáció képződése kb. 8 millió évvel ezelőtt véget ért a mai Balaton környékén (Sztanó et al. 2013), hiszen a ciklikus üledékképződés a Pan-2-vel jelzett felszín kialakulását követően is folytatódott (Horváth et al. 2010). A formáció mai elterjedését és tetejének korát a Dunántúli-középhegység és peremvidékének negyedidőszaki kiemelkedése (Ruszkiczay-Rüdiger et al. 2005) és az ezzel kapcsolatos különböző mértékű erózió alakította ki.

A másik két bemutatásra kerülő szelvény a 9. ábrán látható. Ezek jól leképezik a Balaton alatt húzódó balos eltolódási zóna (Balatonfői-vonal) fő elemeit (Bada et al. 2010). A vetők korrelációja alapján megállapítható, hogy egy több km széles nyírási zóna húzódik a Balaton alatt, amelynek geometriáját elsőként az 1993-as magyar–olasz felmérés alapján Sacchi et al. (1999) vázolta fel. Az új mérések alapján az eltolódásos vetőzóna és a másodlagos tektonikai elemek (Riedel-törések, kulisszás redők) térképezése nagyobb megbízhatósággal valósítható meg a nyugati medence-részekben is (Visnovitz, Horváth 2013c).

## Összefoglalás

Az egy- és többsatornás vízi szeizmikus mérések egyszerű kivitelezhetősége és a nagyobb frekvenciák alkalmazhatóságából adódó jobb felbontóképesség a Balaton alatti fiatal rétegsor és tektonika nagy pontosságú megismerését teszi lehetővé. Néhány méteres tavi iszap alatt a tó nagy területén pleisztocén folyómedrek mutathatók ki. Ez alatt jelentős diszkordanciával idősebb pannóniai (felső miocén) rétegek helyezkednek el a 100–200 m mélységben húzódó szarmata mészkövek vagy márgák felett. A szeizmikus szelvények további bizonyítékot szolgáltatnak arra, hogy a Száki, Tihanyi és Somlói Formációk egy salfen épülő (sekély vízi) deltarendszer különböző környezeteket reprezentálják (Uhrin 2011, Sztanó et al. 2013).

A pannon rétegek enyhén gyűrtek és vetők által markánsan szétszabdaltak. Az előzetes értelmezés alapján egy balos oldalelmozdulásos vetőzóna, a Balatonfői-vonal rajzolódik ki. A nagy mennyiségű, új adat egységes feldolgozása és korábbi adatokkal való integrálása megteremti a lehetőségét a jövőbeni részletes rétegtani és tektonikai tanulmányoknak.

## Köszönetnyilvánítás

A mérések megvalósítását az OTKA NK83400 számú pályázat tette lehetővé. Ezúton köszönjük a Geomega Kft.

hozzájárulását a mérések kivitelezéséhez. Hálásak vagyunk továbbá az Aqua Pannonia hajó kapitányának és legénységének szaksterű munkájukért. A mérések értelmezését jelentős mértékben segítette Sztanó Orsolyával és Magyar Imrével rendszeresen folytatott konstruktív eszmecsere. Ezúton köszönjük lektoraink (Ormos Tamás és Törös Endre) észrevételeit.

## A tanulmány szerzői

Balázs Attila, Visnovitz Ferenc, Volkhard Spiess, Fekete Noémi, Tóth Zsuzsanna, Hámori Zoltán, Kudó István és Horváth Ferenc

## Hivatkozások

- Bada G., Szafián P., Vincze O., Tóth T., Fodor L., Volkhard S., Horváth F., 2010: Neotektonikai viszonyok a Balaton keleti medencéjében és tágabb környezetében nagyfelbontású szeizmikus mérések alapján. *Földtani Közönlöny* 140/4, 367–390
- Balázs A., 2011: Balatoni vízi szeizmikus adatok feldolgozása. Szakdolgozat, ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Budapest, 43 p.
- Bérczi I., Phillips R., 1985: Neogene delta formations in the depositional environments within Neogene deltaic-lacustrine sediments, Pannonian Basin, Southeast Hungary. *Geophysical Transactions* 31/1–3, 55–74
- Cziczér I., Magyar I., Pipik R., Böhme M., Coric S., Bakrac K., Sötő-Szentai M., Lantos M., Babinszki E., Müller P., 2009: Life in the sublittoral zone of long-lived Lake Pannon: paleontological analysis of the Upper Miocene Szák Formation, Hungary. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)* 98, 1741–1766
- Cserny T., Prónay Zs., Neduczka B., 2004: A Balatonon végzett korábbi szeizmikus mérések újraértékelése. A MÁFI Évi Jelentése 2004., pp. 273–283
- Csillag G., Sztanó O., Magyar I., Hámori Z., 2010: A Kállai Kavics települési helyzete a Tapolcai-medencében geoelektromos szelvények és fűrási adatok tükrében. *Földtani Közönlöny* 140, 183–196
- Horváth F., Sacchi M., Dombrádi E., 2010: A Pannon-medence üledékeinek szeizmikus sztratigráfiai és tektonikai vizsgálata a Dél-Dunántúlon és a Balaton területén. *Földtani Közönlöny* 140/4, 367–390
- Jámbor Á., 1980: A Dunántúli-középhegység pannóniai képződményei. A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve 62, pp. 1–259
- Juhász Gy., 1994: Magyarországi neogén medencerészek pannóniai s. l. üledéksorának összehasonlító elemzése. *Földtani Közönlöny* 124/4, 341–365
- Lóczy L., 1913: A Balaton környékének geológiai képződményei és ezeknek vidékek szerinti telepedése. In: Lóczy L. (szerk.), A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei. I. kötet, 1. rész, 1. szakasz Budapest, Kilián F. Bizománya, 617 p.
- Novák D., 2006: A Pannon-tó deltasíksági kifejlődései (Tihanyi Formáció) Fonyód környékén. Szakdolgozat, ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 92 p.
- Novák D., Koncz D., Horváth A., Szafián P., Sztanó O., 2010: Egy pleisztocén folyó kanyarulata Fonyódnál. *Földtani Közönlöny* 140/4, 419–428
- Ruszkiczay-Rüdiger Zs., Fodor L., Bada G., Leél-Össy Sz., Horváth E., Dunai T., 2005: Quantification of Quaternary vertical movements in the central Pannonian Basin: review of chronologic data along the Danube River, Hungary. *Tectonophysics* 410, 157–172

- Sacchi M., Horváth F., Magyarai O., 1999: Role of unconformity-bounded units in the stratigraphy of the continental record: a case study from the Late Miocene of the western Pannonian basin, Hungary. In: Durand B., Jolivet L., Horváth F., Séranne M. (eds.), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geological Society, London, Special Publications 156, pp. 357–390
- Simpkin P. G., Davis A., 1993: For seismic profiling in very shallow water, a novel receiver. *Sea Technology* 34, 21–28
- Sztanó O., Magyarai Á., Tóth P., 2010: Gilbert-típusú delta a pannóniai Kállai Kavics Tapolca környéki előfordulásaiban. *Földtani Közlöny* 140/2, 167–181
- Sztanó O., Magyar I., Szónoky M., Lantos M., Müller P., Lenkey L., Katona L., Csillag G., 2013: A Tihanyi Formáció a Balaton környékén: típus-szelvény, képződési körülmények, rétegtani jellemzés. *Földtani Közlöny* 143/1, 445–468
- Tóth T., 2003: Folyóvízi szeizmikus mérések. Doktori (PhD) értekezés, ELTE TTK Geofizikai Tanszék, Budapest, 141 p.
- Tóth Zs., 2009: Balatoni többcsatornás vízi szeizmikus adatok feldolgozása és értelmezése. Diplomamunka, ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Budapest, 87 p.
- Tóth Zs., Tóth T., Szafián P., Horváth A., Hámori Z., Dombrádi E., Fekete N., Volkhard S., Horváth F., 2010: Szeizmikus kutatások a Balatonon. *Földtani Közlöny* 140/4, 355–366
- Uhrin A., 2011: Vízsztintváltozási ciklusok és kialakulásuk okai a késő miocén Pannon-tó egyes részmedencéiben. Doktori (PhD) értekezés, ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Budapest, 127 p.
- Visnovitz F., Tóth Zs., Hámori Z., Kudó I., Balázs A., Sacchi M., Surányi G., Horváth F., 2013a: Az 1993-as nagy felbontású balatoni szeizmikus szelvények újrafeldolgozása, in prep.
- Visnovitz F. és Horváth F., 2013b: Pleistocene sediments under the Lake Balaton's mud layer. In: IX. Kárpát-medencei Környezet-tudományi Konferencia absztraktfüzet, Miskolc, pp. 230–236
- Visnovitz F. és Horváth F., 2013c: Balatonfő line in ultrahigh-resolution: a neotectonic fault zone under Lake Balaton. In: Fodor L. és Kövér Sz. (eds.): 11th Meeting of the Central European Tectonic Studies Group. CETEG abstract book, pp.73–74.
- Wijbrans J., Németh K., Martin U., Balogh K., 2007:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Geochronology of Neogene phreatomagmatic volcanism in the Western Pannonian Basin, Hungary. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 164, 193–204

# Baltoni egycsatornás, nagy felbontású szeizmikus szelvények újrafeldolgozása

VISNOVITZ F.<sup>1,@</sup>, TÓTH T.<sup>2</sup>, HÁMORI Z.<sup>2</sup>, KUDÓ I.<sup>2</sup>, BALÁZS A.<sup>1</sup>, M. SACCHI<sup>3</sup>,  
SURÁNYI G.<sup>1</sup>, HORVÁTH F.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C

<sup>2</sup>Geomega Kft., 1095 Budapest, Mester utca 4.

<sup>3</sup>Istituto per l'Ambiente Marino Costiero (IAMC), CNR, Napoli

@E-mail: visnovitz.ferenc@gmail.com

1993-ban zajlottak Magyarországon az első nagyobb behatoló képességű (100–150 m) vízi szeizmikus mérések a Balatonon. Ez a magyar–olasz együttműködés keretében kivitelezett felmérés a tó alatti pannon rétegek és neotektonikus szerkezetek megismerését tűzte ki célul. A szelvényezés a Siófoki- és Szemesi-medencében zajlott, és kezdete volt egy napjainkig tartó balatoni mérésorozatnak.

Akkoriban az adatok még analóg módon voltak rögzítve, de hamarosan kísérlet történt azok digitalizálására is. Ez a munka azonban nem vált teljessé, és az adatmegőrzés biztosítása sem valósult meg. A későbbi projektek és Marco Sacchi (2001) doktori munkája során született eredmények fényében mára ismét felmerült az igény az 1993-as adatok megmentésére. Munkánk során az eredeti olasz adatbázishoz visszanyúlva az egykori szelvényeket ismételtelen feldolgoztuk, melynek eredményeképpen 20 év elteltével végre bekerülhettek egy egységes balatoni szeizmikus adatbázisba.

A cikk végén a feldolgozott szelvények közül többet bemutatunk. Ezek értelmezésével illusztráljuk, hogy milyen gazdag rétegtani és tektonikai információt szolgáltatnak, valamint hogy ebből adódóan méltó társai a modernebb technikával regisztrált későbbi szelvényeknek.

## Visnovitz, F., Tóth, T., Hámori, Z., Kudó, I., Balázs, A., Sacchi, M., Surányi, G., Horváth, F.: Reprocessing of the single channel high-resolution seismic data measured on the Lake Balaton

In 1993 a new set of high-resolution water-seismic profiles has been recorded at Lake Balaton with penetration of 100–150 m. The measurements were carried out in the frame of a Hungarian–Italian cooperation. The aim was to get information on Pannonian strata and tectonics in the Siófok and Szemes basins. The project has become the forerunner of the many surveys on the Lake Balaton in the following years.

The analogue data recorded originally in 1993 was attempted to be digitized soon after the survey but this work has never been completed. However, the successfully digitized sections were very informative and led to a new stratigraphic and tectonic synthesis in the doctoral theses of Marco Sacchi (2001). In the light of this work and subsequent new results it was demanded to complete the digitization of the 1993 data set. Fortunately, original analogue records were found in the data-bank of the Italian partner and it made possible to realize a complete and up-to-date conversion and digital processing of seismic data.

To show that our efforts were rewarding we present a couple of newly digitized seismic sections and their interpretation. It will be seen how informative they are and thus this 20 years old data represent a unique value in the unified water seismic database of Lake Balaton.

*Beérkezett:* 2013. július 26.; *elfogadva:* 2013. szeptember 25.

### Bevezető

*A magyarországi vízi szeizmikus szelvényezés múltja és szerepe a pannóniai üledékek kutatásában*

A 1980-as évek végétől indult útnak Magyarországon az akkor még újdonságnak számító vízi szeizmikus szelvényezés (Tóth Zs. et al. 2010). Az első méréseket limnológiai kutató-

si céllal az ország legnagyobb felületű felszíni víztestére, a Balatonra tervezték. A fúrásokat és szeizmikus szelvényezést magában foglaló projekt magyar–kubai együttműködés keretében, a Magyar Állami Földtani Intézet gondozásában zajlott (Cserny, Corrada 1989, 1990). A fúrási anyag paleontológiai és izotóp-geokémiai vizsgálata, valamint tözegeken végrehajtott radiokarbon kormeghatározások alapján – oly sok korábbi vita és ellentmondó vélemény után – végre fő

vonalaiban tisztázódott a tómedence kialakulásának és fejlődésének története (Cserny, Nagy-Bodor 2000, Cserny 2002, Cserny et al. 2004).

1993-tól kezdődően, az ELTE Geofizikai Tanszékének koordinálásában újabb szeizmikus felmérések indultak a Balaton területén. Ezek a térség neotektonikájának nagy pontosságú megismerését és a tavi iszap alatt diszkoordinánsan települő késő miocén (pannóniai) üledékek tanulmányozását tűzték ki célul (Sacchi et al. 1998). A mérési kampányok alatt felvett több száz szeizmikus szelvényt tartalmazó, egyes többszörös adatrendszer felhasználva számos, figyelemre méltó publikáció is született (Bada et al. 2010, Horvath et al. 2010, Novák et al. 2010, Sacchi et al. 1999, Sacchi 2001, Sztanó et al. 2013).

Az ELTE részletes, több éven át tartó felméréseinek jelentősége abban rejlik, hogy a Balaton alatt neotektonikus hatásokra a felszín közelébe emelkedő, máshol több km mélységben elhelyezkedő késő miocén üledékeket nagy felbontásban tudják leképezni (Tóth T. et al. 1997). Az alkalmazott egyszörös IKB-Seistec<sup>TM</sup> műszer (Simpkin, Davis 1993) a felső 30–40 m-t deciméteres pontossággal, míg az airgun, illetve watergun forrással működtetett többszörös rendszerek a felső 150–250 m-t néhány méteres felbontásban képesek megjeleníteni (Tóth Zs. 2009). Erre a Balaton vízének és lágy iszapjának kiváló akusztikus csatoló tulajdonságai adnak lehetőséget. A két rendszer együttes használata teszi lehetővé a rétegek nagy léptékű leképezését a pannóniai aljzatig és a finom struktúrák megértését a felszín közelében, ezáltal teljes képet alkotva a Dunántúli-középhegység előterében elterülő medenceperemi pannon formációkról (Horváth et al. 2010).

A balatoni kutatások mellett az ELTE Geofizikai Tanszék és a Geomega Kft. együttműködésében vízi szeizmikus kutatások folytak a Dunán és a Tiszán (Horváth et al. 1996, Horváth et al. 1997a, 1997b, Tóth T. et al. 1995, Tóth T., Horváth 1997, 1998, 1999, Tóth 2003) valamint a Fertő-tó területén is (Diel 2011)

### Az 1993-as mérési kampány

A Balaton alatti pannóniai rétegek kutatásának első fázisát az 1993-as magyar–olasz felmérés jelentette. Az ekkor mért szelvények kivételesnek tekinthetők a fentebb leírt és a későbbiekben alkalmazott leképezési gyakorlathoz képest, mivel ezek olyan egyszörös mérések voltak, melyek nagyobb energiájú (boomer) forrást alkalmaztak. Ennek köszönhetően ez a szeizmikus anyag az elért 0,5–1 m-es felbontással és 100–150 m-es behatoló képességgel átmenetet jelent az ultranagy felbontású Seistec<sup>TM</sup> és a nagy felbontású többszörös szelvényezési módszer között.

Az 1993. június 13–21. közötti felmérés egy Európai Unió Tempus projekt részeként, magyar–olasz együttműködés keretében zajlott. A résztvevő felek az ELTE Geofizikai Tanszéke (Budapest), a Nápolyi Egyetem és a nápolyi székhelyű tengerkutató intézet (GEOMARE) voltak. A használt műszereket és a kezeléshez szükséges technikus-



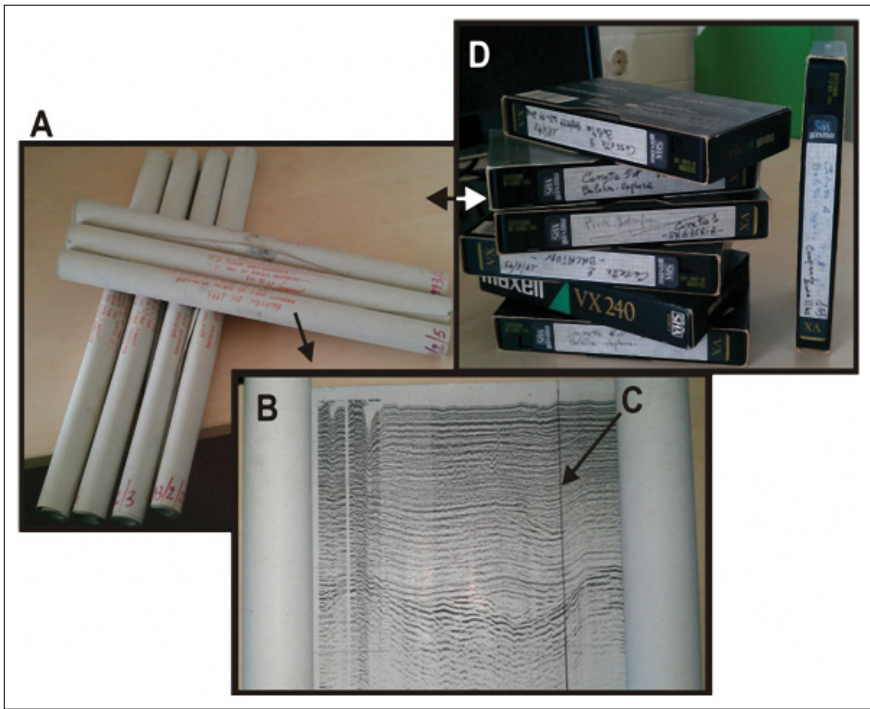
**1. ábra** A boomer forrás és a hozzá tartozó hordozó test vízre emelése a siófoki kikötőben, 1993 nyarán (Sacchi, 2001)

**Figure 1** The boomer source and its carrier hull in the Siófok harbour (1993) (Sacchi, 2001)

kat az olasz fél biztosította. A mérések a Siófokról kifutó 35 m-es *Vízvédelem* nevű hajó segítségével zajlottak, melynek pozícióját DGPS segítségével, az akkortájt egyedinek számító, 2–3 m-es pontossággal lehetett meghatározni. Ezeket a munkákat Sárhidi Attila, az ELGI egykori szakembere végezte. A DGPS bázisát a Siófoki-medence keleti oldalán (Balatonvilágos vasútállomás), majd a Tihanyi-félszigeten (Diósi-tető) helyezték el. Ezt az indokolta, hogy a legtöbb tervezett szeizmikus vonal a Siófoki-medence területére esett. A mérési naplóban 10 percenként rögzítettek vezérkoordináta-adatokat, melyek pontos helyét nyomtatott papírszelvényeken is megjelölték. A munka során folyamatosan regisztrált szeizmikus anyagot végül 20 db szelvényre tagolták. Ezek közelítő összesített hossza mintegy 190 km. Közülük 14 („L” szelvények) a Tihanytól keletre, 6 pedig („LW” szelvények), a nyugatra lévő balatoni medencében helyezkedik el.

A szeizmikus felvételekhez a jelet egy 300 joule-os boomer forrás (*1. ábra*) szolgáltatva, mely a hozzá tartozó 4,6 m hosszú, 8 vevőből álló hidrofonsoporthoz képest 3 m-es offszettel helyezkedett el. Miközben a hajó átlagosan 6,5 km/h-s sebességgel haladt előre a boomer másodpercenként 1 lövést adott le. A felvételeket előerősítés és 100 Hz





**2. ábra** | Az eredeti adatrendszer. A: papír szelvények, B: papírszelvény részlet, C: idővonal, D: VHS kazetták  
**Figure 2** | Original dataset. A: paper sections, B: an example of printed section, C: timeline, D: video cassettes

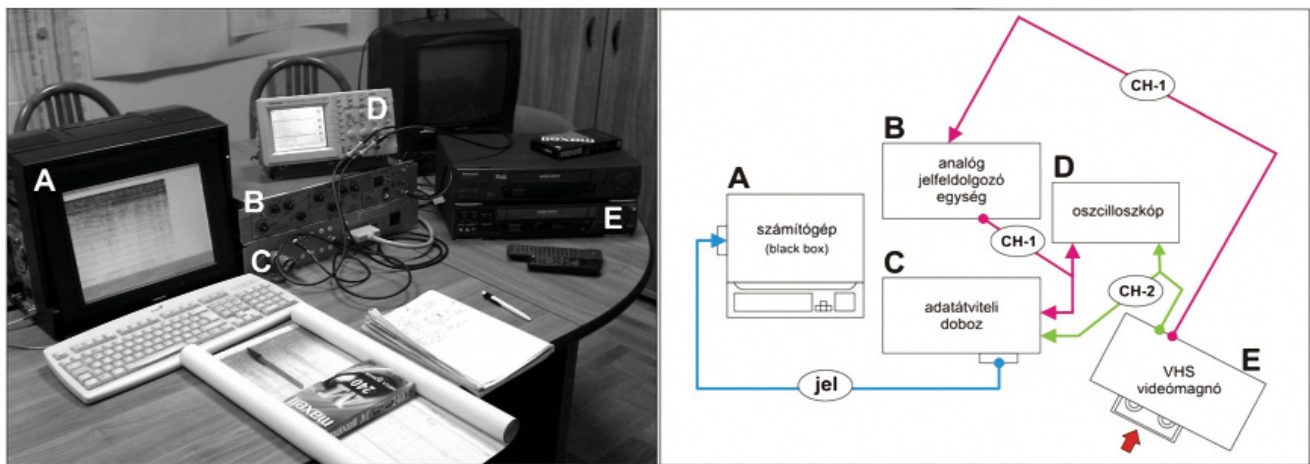
– 5 kHz közötti sávszűrés után plotter segítségével a helyszínen kinyomtatták 250 ms kétutas futási időig, valamint (PAL VHS hifi rendszerrel) sztereo-videoszalagokon rögzítették.

A méréseket követően megkezdődött az analóg adatok digitalizálása is. Ebből a munkából mindössze három szépen feldolgozott áttekintő szelvény (L-6, L-11/12, LW-5) került be a tudományos köztudatba. Ezeket Marco Sacchi mutatta be és értelmezte a mérési kampányt követő publikációiban és doktori dolgozatában (Sacchi et al. 1998, 1999, Sacchi 2001). Az „olasz szelvényekként” emlegetett anyag további része csak papírszelvényeken és azok helyszínrajza-ként maradt fent. Legutóbb a Földtani Közlöny Balatonnal foglalkozó 140/4-es különszámában került sor a '93-as mé-

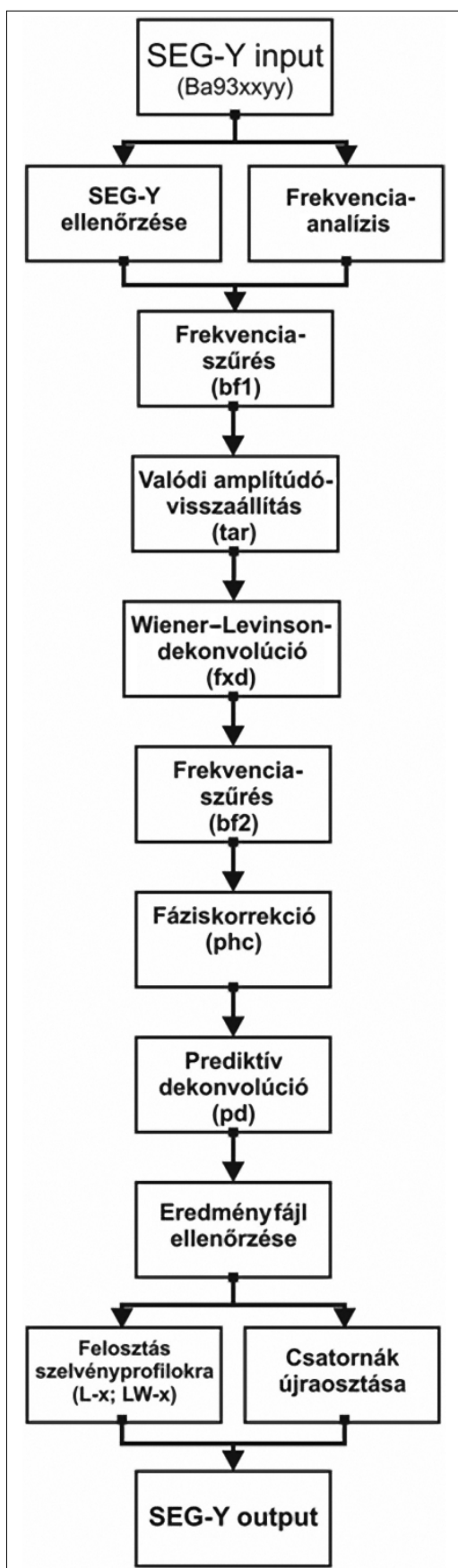
rések ismertetésére (Tóth Zs. et al. 2010). Ugyanitt Sacchi értelmezéseinek továbbgondolásáról is olvashatunk (Horváth et al. 2010), amely felvetette a szelvényeknek mai technikán alapuló digitális feldolgozásának igényét. Ebből a célból a Nápolyban tárolt eredeti sztereo-videoanyaghoz és papírszelvényekhez nyúltunk vissza (2. ábra). A most elévített munkával végre elérkeztünk egy 20 éves projekt sikeres lezárásához.

### Az újrafeldolgozás menete

Az analóg anyag újrafeldolgozásának lehetőségét egy mára már szinte technikatörténeti emléktárgynak számító, de mű-



**3. ábra** | A digitalizáló rendszer. Balra: az átjátszó összeállítása, jobbra: kapcsolási rajz  
**Figure 3** | Digitizing system. Left panel: photo of the system, right panel: block diagram of the system. A: AD converter (black box), B: analogue signal processing unit, C: data converter box, D: oscilloscope, E: VHS video recorder



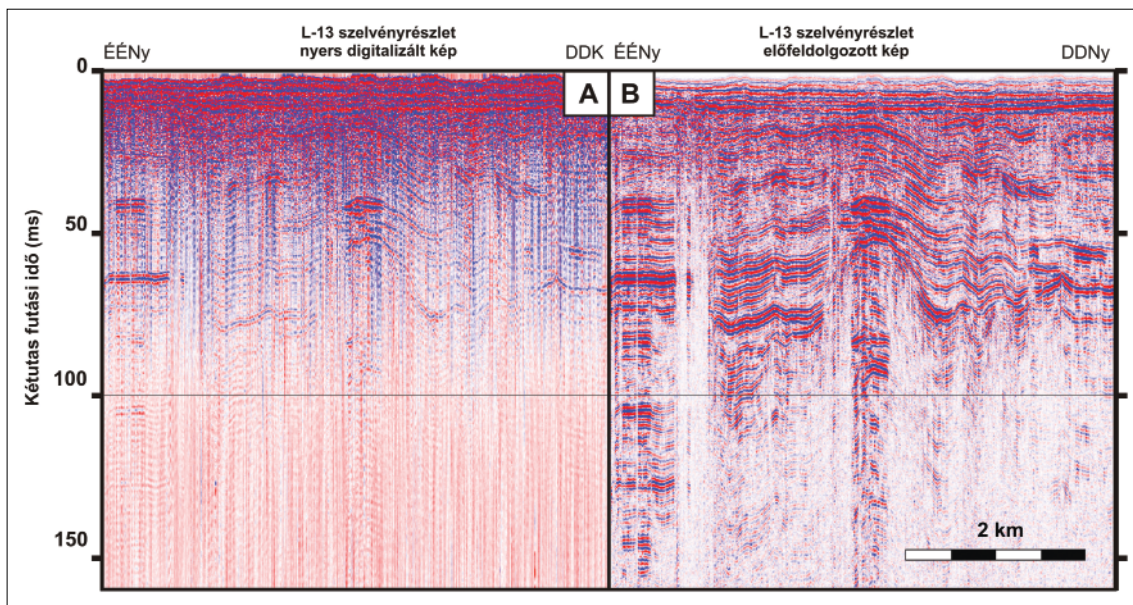
4. ábra | A szeizmikus szelvények feldolgozásának menete  
Figure 4 | Main steps of the seismic processing

ködöképes VHS magnó megtalálása (ELTE oktatástechnika laboratórium) tette lehetővé. Az videokazettákon rögzített analóg adatokat tartalmazó a 3. ábrán látható módon összeállított rendszer segítségével digitális állománnyá konvertáltuk. Az átjátszórendszer részei egy adatátviteli egység, egy SPA-3 analóg jelfeldolgozó egység, a Preseis digitalizáló szoftvert (Vida R.) futtató, 16 bit-es AD konverterrel rendelkező számítógép (black box), egy oszcilloszkóp és az említett videomagnó. A digitalizálás során a VHS kazetták első csatornáján a '93-as méréseknél rögzített szeizmikus felvételt, a második csatornán rögzített trigger jel segítségével vettük át, mintegy szimulálva a valódi vízi szeizmikus mérést, annyi különbséggel, hogy a „beérkező” jelet maga a videomagnó szolgáltatta.

A digitalizálás mintavételi frekvenciája 20 kHz volt, és a szelvényeket 250 ms kétutas futási időnél vágta le a rendszer. A kazetták valós idejű lejátszása mellett a számítógép képernyőjén a szoftver kirajzolta a felvett szeizmikus csatornákat is. E csatornák alkotta szeizmikus kép alapján a digitalizálás során folyamatosan nyomon követtük, hogy a papírszelvények mely szakaszán, melyik szeizmikus profil vesszük fel. Az átjátszás közben jegyzőkönyvben rögzítettük a papírszelvényeken található 10 percnél hosszabb tartományokhoz tartozó csatornákat és az aktuális szalag kezdetétől eltelt időt a későbbi tájékozódás és felkoordinátázás megkönnyítése céljából. A fájlokat „Ba93xxy” névformában mentettük el, ahol „xx” a videokazetta számát, „yy” pedig az azon belüli SEG-Y fájl sorszámát jelölte. A szelvények pontos lokalizációját a nemrégiben elhunyt Dövényi Péter számítógépében archivált, báziskorrigált DGPS adatok alapján végeztük el. A munka során az 1 percnél mért koordinátaadatokat, az egykori mérési napló és a kinyomtatott papírszelvények alapján a 10 perces idővonalakhoz illesztettük. A kapott digitális állományokat a biztonsági másolatok készítése és archiválás után ProMAX programmal dolgoztuk fel.

A szeizmikus felvételeket tartalmazó SEG-Y fájlok feldolgozását a már publikált szelvények feldolgozási lépéseinek ismeretében kezdhettük el (Sacchi 2001). Mivel a feldolgozás előtti tesztek és frekvenciaanalízis alapján a szelvények jellegében és az amplitúdóspektrumokban nem tapasztaltunk nagy eltéréseket, így 4. ábrán látható feldolgozást minden szelvényre egységesen végeztük el. Ennek eredményeképpen jól értelmezhető szeizmikus képet kaptunk (5. ábra).

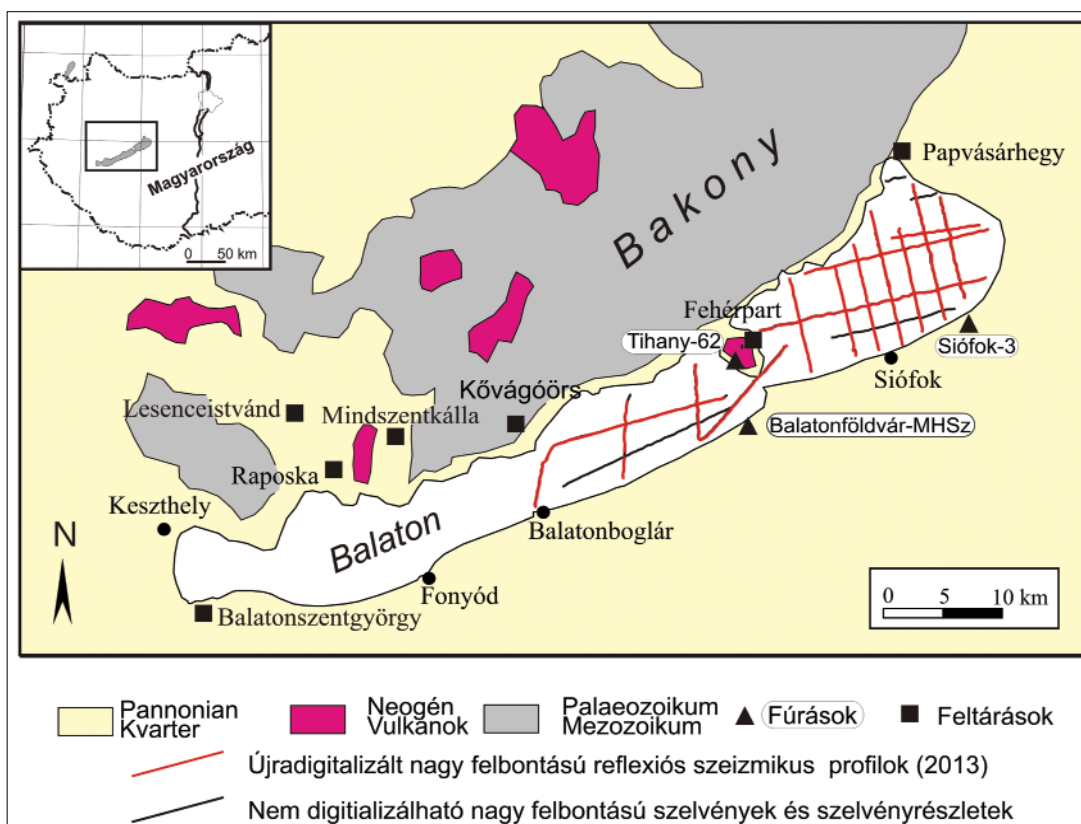
A feldolgozás során alkalmazott előszűrésnél (bf1) Ormsby frekvenciaszűrés alkalmaztunk, 100–400–3500–4000 Hz frekvenciaértékek mellett. Ezt követte a valódi amplitúdóvisszaállítás (tar). Itt a hanghullámterjedési sebességeket egyszerű rétegmodell segítségével adtuk meg. Ennek megfelelően 0–3 ms között 1480 m/s (víz), 3–10 ms között 1600 m/s (iszap), >10 ms mellett 2000 m/s (pannóniai korú vagy idősebb rétegek) sebességtérrel számoltunk azt feltételezve, hogy a sebességtér horizontális irányokban változatlan. Az amplitúdóviszonyok helyreállítása után a Wiener–Levinson-szűrő alapú F-x dekonvolúciót (fxd) alkalmaztuk az adatokra jellemző frekvenciatartományban. A



5. ábra | Az L-13 szelvényrészlet az előfeldolgozás előtti (A) és utáni (B) képe  
 Figure 5 | A part of the L-13 profile before (A) and after (B) the main processing steps

dekonvolválta eredményeket végül egy, a magasabb frekvenciákra nézve szűkebb szűrővel (bf2) megvágtuk. Utóbbi esetben egy 0–100–1500–2000 Hz értékekkel jellemez-

hető Ormsby frekvenciaszűrővel dolgoztunk. A fentiek szerint előfeldolgozott szelvényeken később fáziskorrekciót és prediktív dekonvolúciót végeztünk. A fáziskorrekciónál 2,5



6. ábra | A sikeresen feldolgozott (piros) és a digitális állománnyá nem konvertálható (fekete) szeizmikus profilok helyszínrajza. Az ábra a Sacchi (1999, 2001) értelmezése során felhasznált fúrások és feltárások helyét is jelöli  
 Figure 6 | Location map of the successfully digitized (red) and the unverifiable (black) seismic lines from the 1993 survey. Figure also shows the location of the boreholes and outcrops used by Sacchi (1999, 2001)

1. táblázat | A feldolgozás után kapott szelvények és fontosabb jellemzőik

Szelvény	Csatornák száma	Közéltő hossz (km)	Irány	Elhelyezkedés
L-3x4.sgy	5055	9	Ny–K	Siófoki-medence
L-4a.sgy	4568	8,2	NyDNY–KÉK	Siófoki-medence
L-4b.sgy	5667	10,2	NyDNY–KÉK	Siófoki-medence
L-6a.sgy	4167	7,5	NyDNY–KÉK	Siófoki-medence
L-6b.sgy	8426	15,1	NyDNY–KÉK	Siófoki-medence
L-9.sgy	5235	9,4	ÉÉNY–DDK	Siófoki-medence
L-10.sgy	4772	8,5	ÉÉNY–DDK	Siófoki-medence
L-10x11.sgy	5393	9,7	ÉÉNY–DDK	Siófoki-medence
L-11a.sgy	5918	10,6	ÉÉNY–DDK	Siófoki-medence
L-11b.sgy	2208	3,9	ÉÉNY–DDK	Siófoki-medence
L-11bis.sgy	7111	12,7	ÉÉNY–DDK	Siófoki-medence
L-11x12.sgy	5884	10,5	ÉÉNY–DDK	Siófoki-medence
L-12.sgy	8017	14,4	ÉÉNY–DDK	Siófoki-medence
L-13.sgy	6127	11	ÉÉNY–DDK	Siófoki-medence
LW-1.sgy	6792	12,2	ÉNY–DK–	Szemesi-medence
LW-2.sgy	4646	8,3	É–D	Szemesi-medence
LW-3a.sgy	2772	4,9	É–D	Szemesi-medence
LW-3b.sgy	1200	2,1	É–D	Szemesi-medence
LW-4.sgy	3374	6	É–D	Szemesi-medence
LW-5.sgy	8792	15,8	NyDNY–KÉK	Szemesi-medence

ms-os operátorhossz, míg a dekonvolúciónál 5 ms-os operátorhossz és 1,25 ms prediktív távolság mellett sikerült a legjobb szelvényprofilokat előállítani.

A kapott eredményfájlokat az egykori mérési napló szelvényprofiljainak megfelelően feldaraboltuk a digitalizálás során felvett, majd később ellenőrzött és javított csatornaértékek mentén. A csatornák újbóli leosztását követően 20 db szeizmikus profilrészlet állt elő, melyeket \*.sgy formátumú fájlkként írtunk ki.

A munka eredményeként az egykori felmérés összesen 20 profilja közül (Tóth Zs. et al. 2010) 16 szelvény sikeres konverziója történt meg. Ezek közül négy szelvényt (L-4, L-6, L-11 és LW-3) a feldolgozás során a videoszalagok végeinél, illetve hajó leállítás mentén 'a' és 'b' részekre tördeltünk így összességében a projekt végén továbbra is 20 darab profil állt elő (1. táblázat, 6. ábra).

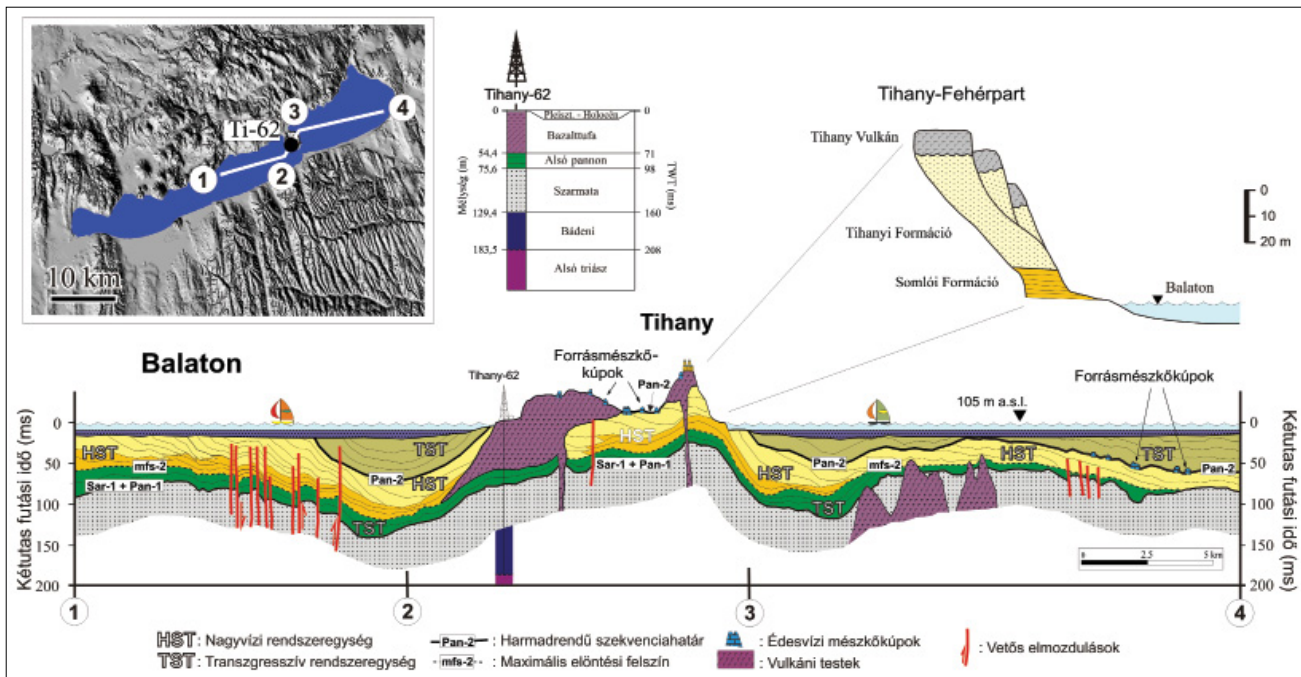
## A szelvények értelmezése

Ebben a fejezetben néhány, korábban még nem bemutatott '93-as vízi szeizmikus szelvényt és előzetes azok értelmezését ismertetjük. Fontos megjegyezni, hogy a szelvények erősen túlmagasított formában kerültek megjelenítésre, és a rétegtani horizontok általános dőlése valójában nem több, mint 1–2°. Az itt bemutatott szeizmikus profilok immáron digitális állományokként bekerültek az 1993 utáni mérésekből összeállított, jelenleg is folyamatosan bővülő (Balázs et

al. 2013) „nagy” balatoni szeizmikus adatbázisba (Tóth Zs. et al. 2010). Az egyes horizontok követése tehát nem csupán az adott szelvény horizontjainak kijelölésével, hanem az ultranagy felbontású IKB-Seistec<sup>TM</sup> és a nagy felbontású többcsatornás szelvények horizontjaival való korreláció figyelembevételével történhetett. Az adatrendszerek összefésült használatától az itt bemutatott újrafeldolgozott anyag értelmezésén túl azt várjuk, hogy felfedi a Tihanyi-félsziget két oldalán eddig meg nem értett földtani struktúrákat és a félsziget két oldala közötti rétegtani összefüggéseket.

Az 1993-as vízi szeizmikus szelvények által leképzett rétegtanról általánosságban elmondható, hogy három regionális, unkonformitásfelületekkel határolt makro-sztratiográfiai egységbe sorolható be (Sacchi et al. 1999). Ezek a holocén – késő pleisztocén balatoni iszap, a késő miocén (pannóniai) üledékek és az akusztikus aljzat, mely területileg változóan szarmata, perm vagy idősebb paleozoos képződményekből épül fel (Budai et al. 1999). A fenti egységek közül a szelvények legrészletesebben a pannóniai üledékes rétegeket képezik le. Az újrafeldolgozott szelvényeken jól követhető számos olyan pannóniai horizont, mely kisebb üledékes csomagokra (paraszekvenciákra) osztja ezt a maximálisan 100–150 m vastagságú közzettestet. Sacchi et al. (1998, 1999) és Horváth et al. (2010) a szekvencia sztratiográfiaelveinek megfelelően transzgresszív, és nagyvízi rendszeregyeségekre osztották a pannóniai összletet e kitüntetett horizontok alapján (7. ábra). Kiemelt jelentőségűnek (harmadrendű szekvenciahatárnak) gondolták azt a Tihanyi-





7. ábra A Balaton alatti rétegsor és a Pan-2 szekvenciahatár korrelációja parti fúrásokkal és feltárásokkal (Sacchi 2001 alapján)  
**Figure 7** Stratigraphic architecture and Pan-2 sequence boundary below Lake Balaton and their correlation with outcrops and boreholes in the vicinity of the lake (after Sacchi 2001)

félszigeten megfigyelhető diszkordanciafelületet, amelyik a bazaltvulkáni összlet és a reá települő édesvízi mészkövek („gejziritek”) között húzódik (Horváth et al. 2010). Ennek a szárazföldi eróziós felszínnek a folytatását és a föléje települt mészkőkúpokat a Balaton alatti szeizmikus szelvényeken is értelmezik (7. ábra). A felület kialakulásának idejére jó becslést ad az újabban Ar-Ar módszerrel is meghatározott tihanyi vulkáni tevékenység kora (7,96–7,92 Ma, Wijbrans et al. 2007).

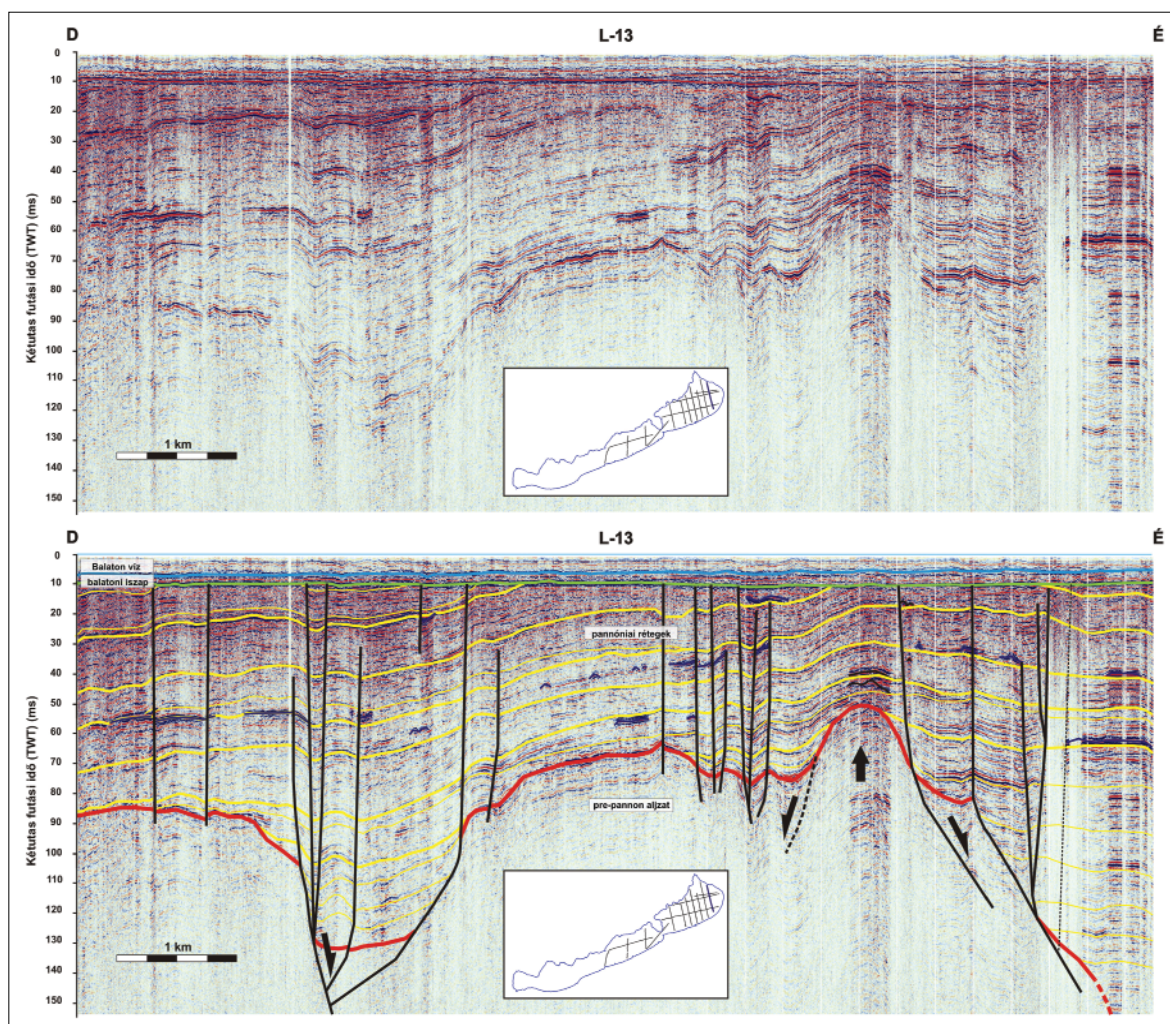
Más vélemények szerint a Balaton alatti üledékes ciklusok jellege és időtartama nagyobb frekvenciájú (negyedrendű és ötödrendű) ciklicitást mutat. Ezek valószínűleg klimatikus vezérelt 15–30 m-es vízszintingadozásokhoz kötődnek, melyek transzgresszív egységét vékony deltaelótéri üledékek, nagyvízi egységét pedig az épülő deltalebenyek alkotják (Sztanó et al. 2013, Visnovitz 2013). Ugyanakkor, elfogadva a finomabb ciklicitást mutató rétegtani képet, nem tartjuk kizártnak, hogy harmadrendű szekvenciahatárok is megerősítést nyernek, amennyiben azok regionális elterjedése bizonyítható.

A fenti értelmezésekkel szoros összhangban az újrafeldolgozott 1993-as szeizmikus szelvények alapján a következő általános megállapítások tehetők:

- 1) A Siófoki-medence pannóniai rétegsora jól lehatárolható üledékes egységekre osztható, melyek vastagsága néhányszor 10 m.
- 2) Az üledékes egységek általában lejtőépülési (progradációs) jellegeket mutatnak, ezek tetőszintje esetenként eróziósan lefejezettek mutatkozik.
- 3) A lejtőépülést mutató sorozatokból legalább három, nagyobb kiterjedésben is jól követhető a Siófoki-medence területén.

- 4) Az üledéket tagoló, markáns reflektorok Tihanytól nyugatra is azonosíthatók, de az ezek alkotta struktúra eltérőnek mutatkozik a keleti oldalhoz képest.
- 5) Bizonyos területeken kiemelten erős amplitúdójú reflektorszakaszok figyelhetők meg, melyeket „kemény” kőzetpadokként értelmezhetünk. Ezek egy része megfeleltethető a Tihanyi-félsziget fentebb tárgyalt édesvízi mészkő padjaival („gejzirit” kúpjaival) (Horváth 2010, Sacchi 2001), míg máshol ezek lehetnek cementált homokkőpadok vagy vulkáni működéshez kapcsolódó rétegek.
- 6) A szeizmikus szelvényeken a nagy felbontás miatt számos vetős szerkezet azonosítható. Ezek két csoportba oszthatók. Az idősebb vetők csak a prepannon aljzatban mutathatók ki, míg a fiatalabb vetők deformálják a pannóniai üledékeket is. Utóbbiaknak két fontos altípusa figyelhető meg: a vetők egy része a pannóniai üledékeken belül elvégződik, míg más vetők egészen a baltoni iszap bázisáig követhetők.
- 7) A pannon szerkezeti mozgásokkal összekapcsoltnak az aljzatban árkok jöttek létre, illetve több helyen tapasztalható az aljzat kiemelkedése is.
- 8) Az iszap aljáig hatoló vetőket néhány decimétertől néhány méteres elvetések hoznak létre és regionálisan korrelálható vetőzónákat alkotnak. Ezek a szerkezetek a Balatonfő oldaleltolódási zóna Balaton alatti folytatásaként azonosíthatók (Bada et al. 2010, Visnovitz, Horváth 2013).

A fenti jellegeket az alább bemutatott és röviden jellemezett szelvények (8–12. ábra) segítségével illusztráljuk.



**8. ábra** Az L-13-as szelvény és helyszínrajza. Felül: feldolgozott szelvény, alul: a szelvény vonalas értelmezése, a piros vonal az akusztikus aljzatot, a sárga a pannon rétegtani egységek határait, a lila a „kemény” kőzetfelszíneket, a fekete pedig a vetőket mutatja

**Figure 8** Section L-13 and its location map. Upper panel: processed profile, lower panel: interpreted profile; red: acoustic basement, yellow: Pannonian subunits, purple: strong reflectors, black: faults

#### *Az L-13-as szelvény (8. ábra)*

Az L-13-as közel É–D irányú szelvény a Siófoki-medence keleti peremén halad. A szelvényen jól azonosíthatók 10–15 m vastagságú pannóniai üledékciklusok. Ezek véleményünk szerint azokhoz a klímacyklusokhoz kötődnek, melyeket a földpálya excentricitásának 400 000 éves periódusú változásai generálnak. Több ciklusban is megfigyelhetők a „kemény” rétegtani padok.

Az L-13-as szelvény emellett látványosan mutatja a kisebb árkokkal tagolt akusztikus aljzatot. A szelvény É-i végén látható kimélyülést parti fúrások (Balatonkenese, Bk-1, Bkt-1) is megerősítik. A szelvényen jól kijelölhető vetők és a kapcsolódó gyűrődések regionálisan korrelálható oldalelmozdulásos zóna (Balatonfő-vonal) részei.

#### *Az L-10/11-es szelvény (9. ábra)*

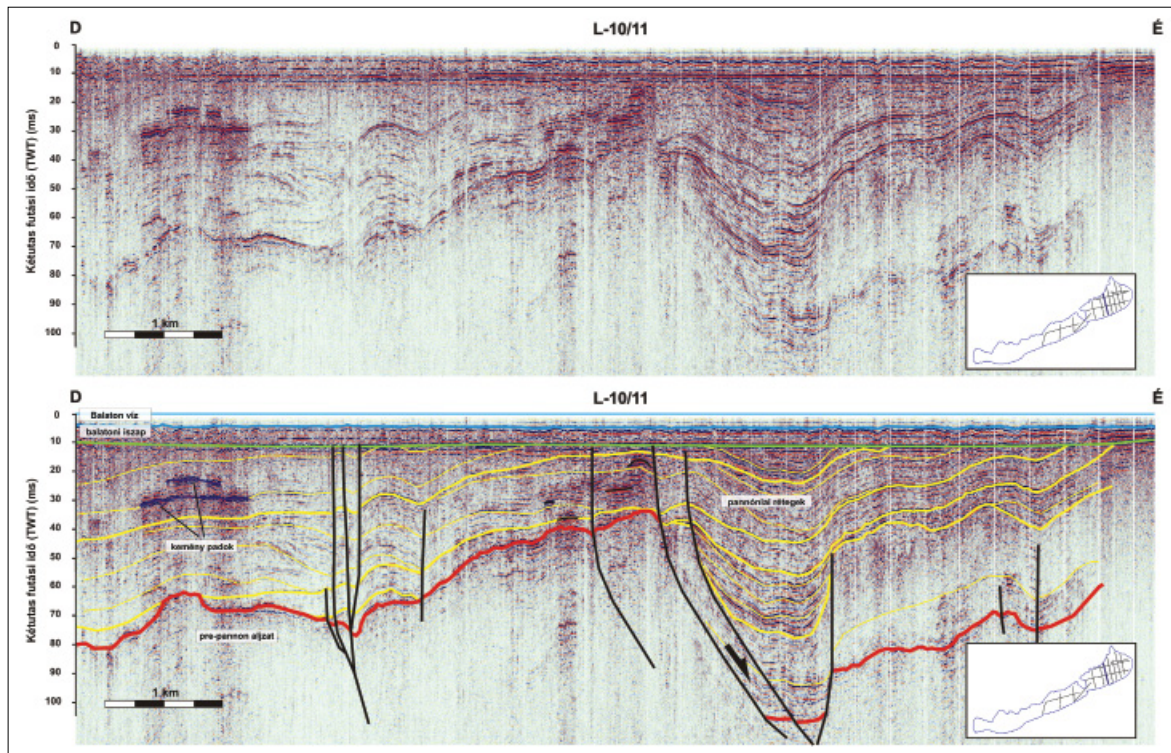
Az előző szelvényvel közel párhuzamosan, a Siófoki-medence közepén húzódó szelvény. Ezen a szelvényen a pannóniai egység középső részén egy vastagabb progradáló

sorozat ismerhető fel. A szelvény déli végében a megszo-kottnál magasabb helyzetben jelennek meg egymás felett több rétegben a „kemény reflektorok”. A szelvény közepén az aljzat markáns levetést mutat, és a mélyebb részekben a szeizmikus fácies is megváltozik. Az aljzat kimélyüléséhez olyan szerkezeti elemek is társulnak, melyek az üledékképződés idején is aktívak voltak. Az árkot kitöltő pannóniai horizontok jellegzetes aszimmetrikus félárok szerkezetet rajzolnak ki.

#### *Az L-11b szelvény (10. ábra)*

A szintén É–D lefutású L-11 szelvény déli vége. Ezen a szelvényen figyelhető meg a legjobban a Siófok előterében jelentkező kemény padok több szintbe rendeződése, illetve a Balaton tengelyével párhuzamosnak leírt (Bada et al. 2010), fiatal balos eltolódási zóna. Érdekes, hogy a „kemény” reflektorok a vetőzóna közelébe esnek, illetve hogy ezek környékén a pannon üledékképződés jellegében is tapasztalunk némi változást.





**9. ábra** Az L-10/11-es szelvény és helyszínrajza. Felül: feldolgozott szelvény, alul: a szelvény vonalas értelmezése; a piros vonal az akusztikus aljzatot, a sárga a pannon rétegtani egységek határait, a lila a „kemény” kőzetfelszíneket, a fekete pedig a vetőket mutatja  
**Figure 9** Section L-10/11 and its location map. Upper panel: processed profile, lower panel: interpreted profile; red: acoustic basement, yellow: Pannonian subunits, purple: strong reflectors, black: faults

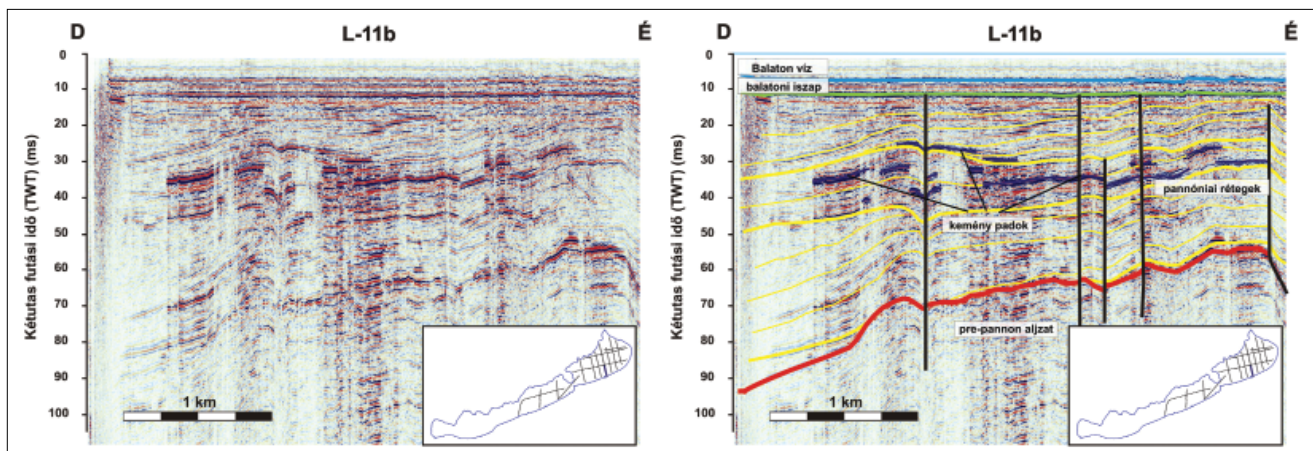
*Az L-3/4 szelvény (11. ábra)*

A közel K–Ny irányú szelvény jól mutatja a tó ÉK-i sarkának strukturáját. A szelvény nyugati végén látható aljzatmagaslat az Alsóörs előterében kiemelkedő, platószerű egység. A parti fúrások és feltárások alapján (Budai et al. 1999) anyaga a Lovasi Agyagpala formációval azonosítható. A magaslat előterében peremvetőkkel határolt süllyedék foglal helyet, melyet fokozatosan kitöltenek a pannóniai üledékek. A rétegek jellege arra enged következtetni, hogy a ma-

gaslat kiemelkedése a pannóniai üledékképződés után is folytatódott, kibillentve a kezdetben valószínűleg szimmetrikus miocén árkot.

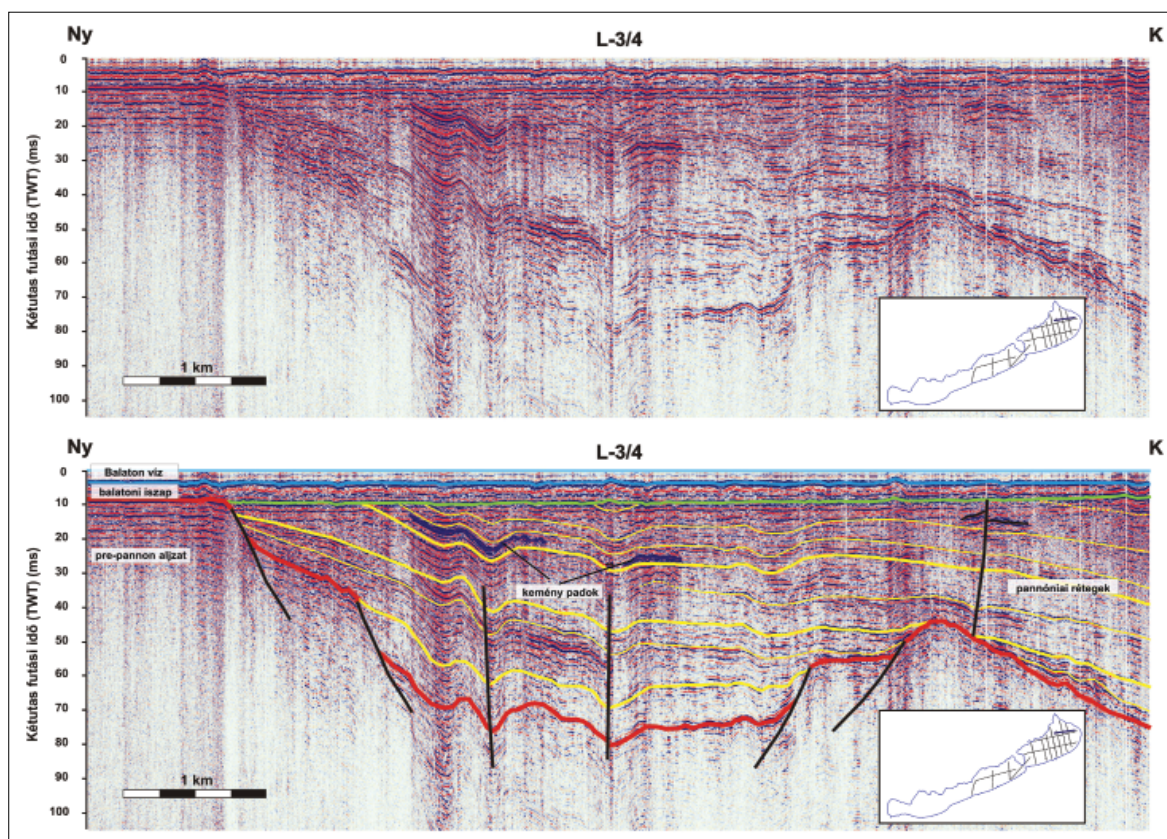
*Az LW-3a szelvény (12. ábra)*

A Tihanyi-félszigettől nyugatra eső, közel É–D irányú szelvényen már szembevetőnek a pannóniai üledék egészét, sőt még az akusztikus aljzatot is harántoló vetők. Ezek a tektonikai elemek a siófoki oldalon tapasztaltakhoz képest jóval



**10. ábra** Az L-11b szelvény és helyszínrajza. Felül: feldolgozott szelvény, alul: a szelvény vonalas értelmezése; a piros vonal az akusztikus aljzatot, a sárga a pannon rétegtani egységek határait, a lila a „kemény” kőzetfelszíneket, a fekete pedig a vetőket mutatja  
**Figure 10** Section L-11b and its location map. Upper panel: processed profile, lower panel: interpreted profile; red: acoustic basement, yellow: Pannonian subunits, purple: strong reflectors, black: faults



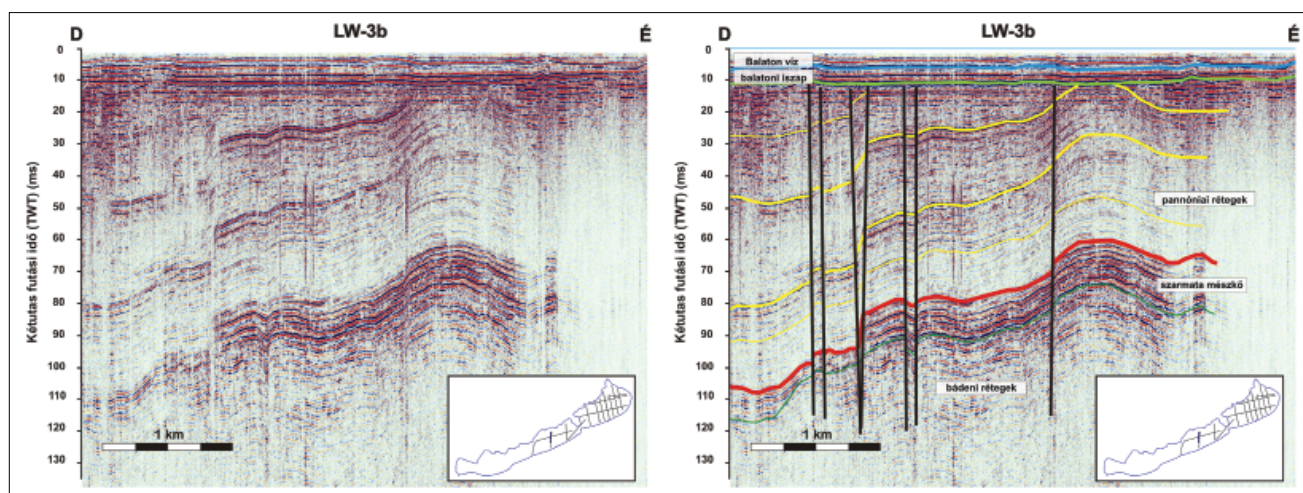


**11. ábra** Az L-3/4-es szelvény és helyszínrajza. Felül: feldolgozott szelvény, alul: a szelvény vonalas értelmezése; a piros vonal az akusztikus aljzatot, a sárga a pannon rétegtani egységek határait, a lila a „kemény” kőzetfelszíneket, a fekete pedig a vetőket mutatja  
**Figure 11** Section L-3/4 and its location map. Upper panel: processed profile, lower panel: interpreted profile; red: acoustic basement, yellow: Pannonian subunits, purple: strong reflectors, black: faults

sűrűbb rendszerben helyezkednek el, és a keleten leírt (Bada et al. 2010) vetők duplex szerkezetbe történő átmenetének eredménye (Visnovitz, Horváth 2013).

Az akusztikus aljzat felső részét közel párhuzamos, erős amplitúdójú reflexiók alkotják, melyek Sacchi (2001) értelmezése nyomán szarmata mészkő- és mészmárgarétegek-

ként (Tinnyei és Kozárdi Fm.) azonosíthatók. A szarmata réteg látszólagos vastagsága a vetők két oldalán eltérő, bár az összlet bázisa nem határozható meg teljes bizonyossággal. Az aljzat a középhegység irányában fokozatosan emelkedik, összhangban korábbi ismereteinkkel (Horváth et al. 2010).



**12. ábra** Az LW-3a szelvény és helyszínrajza. Felül: feldolgozott szelvény, alul: a szelvény vonalas értelmezése; a piros vonal az akusztikus aljzatot, a sárga a pannon rétegtani egységek határait, a lila a „kemény” kőzetfelszíneket, a fekete pedig a vetőket mutatja  
**Figure 12** Section LW-3 and its location map. Upper panel: processed profile, lower panel: interpreted profile; red: acoustic basement, yellow: Pannonian subunits, purple: strong reflectors, black: faults

A pannóniaiban több erősebb reflektor követhető, melyek mutatják a keleti oldalon bemutatott ciklicitást, de némileg eltérő rétegtani struktúrát alkotnak. A Szemesi-medencében leképezett horizontok a szeizmikus adatbázis többi szelvényét is figyelembe véve inkább egy nagyobb lejtő egymásra települő finom rétegeiként értelmezhetők (Visnovitz 2013).

## Összefoglalás, konklúziók

Munkánk során az 1993-ban analóg módon (VHS videokazettákon) rögzített balatoni egycsatornás, nagy felbontású vízi szeizmikus szelvények digitális állománnyá való konverzióját és feldolgozását végeztük el. Az egyes szeizmikus csatornákhöz a mérési jegyzőkönyvek és a mért GPS adatok alapján EOY koordinátákat rendeltünk. Az így kapott digitális állományokat további feldolgozáshoz és értelmezéshez SEG-Y fájlformátumban tároltuk el, és beillesztettük az egységes balatoni vízi szeizmikus adatbázisba.

Az adatbázis további szeizmikus és fúrásai anyagaival összekapcsolva néhány szelvényre átfogó értelmezést adtunk, bemutatva az aljzat, a pannóniai rétegek és a tektonikai elemek főbb jellegzetességeit. Ezek főbb tanulságai a következőkben foglalhatók össze:

- A szeizmikus szelvényeken látható különböző korú (holocén, pannon, idősebb aljzat) képződmények közül a Balaton alatt a pannóniai rétegösszlet a legjobban kifejtett, és így az jól leképezhető a vízi szeizmikus módszerekkel.
- Tihanytól keletre a maximálisan 150 m vastag pannóniai rétegsorban pár 10 m-es vastagságú, egymásra települő, kb. 400 000 éves progradáló üledékciklusok azonosíthatók. Tihanytól nyugatra hasonló ciklusokból a pannonban épülő nagyobb lejtő képe rajzolódik ki. Ez nagyobb egykori vízmélységre (mélyebb aljzatra) utal.
- Az egyes ciklusokon belül, bizonyos rétegtani pozícióban „kemény” reflektorok helyezkednek el, melyek jelenlegi ismereteink szerint édesvízi mészkövek, cementált homokkőpadok vagy vulkáni eredetű rétegek lehetnek. Ezek a jövőbeli részletes rétegtani vizsgálatok „próba-kövei”-nek számíthatnak.
- Az aljzat eltérő korú és litológiai kőzetblokkokból épül fel. Ez a Tihanyi-félsziget tágabb környezetében és a Tihanytól nyugatra eső területeken főleg szarmata korú mészköveket és márgákat jelent.
- A pannóniai aljzata kisebb árkokat és más fiatalabb vetős szerkezetek mutat. Utóbbiak a Pannon-medence oldalmozdulásos neotektonikai aktivitásának látványos bizonyítékai.

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani mindazoknak, akik segítettek az 1993-as analóg rögzítésű szeizmikus anyag digitális állománnyá való konverzióját. Köszönettel tartozunk olasz kollégáinknak (Istituto per l’Ambiente Marino Cos-

tiero, Napoli), akik rendelkezésünkre bocsátották az eredeti videokazettákat. Hálásak vagyunk az ELTE TTK oktatástechnikai labor munkatársainak, akik az átjátszáshoz nélkülözhetetlen VHS videomagnót szolgáltatottak.

A munka az OTKA NK83400 pályázat és a MTA/CNR (Messinai események a Pannon-medencében: egy régi legenda feltámasztása, 2010–2012) együttműködés támogatásával valósult meg. Végül köszönjük Tihanyi Barbarának, az MTA munkatársának, hogy hozzájárult a magyar–olasz kapcsolatok ápolásához.

## A tanulmány szerzői

Visnovitz Ferenc, Tóth Tamás, Hámori Zoltán, Kudó István, Balázs Attila, Marco Sacchi, Surányi Gergely, Horváth Ferenc

## Hivatkozások

- Bada G., Szafián P., Vincze O., Tóth T., Fodor L., Spiess V., Horváth F., 2010: Neotektonikai viszonyok a Balaton keleti medencéjében és tágabb környezetében nagyfelbontású szeizmikus mérések alapján. *Földtani Közlemények*, 140/4, 367–390
- Balázs A., Visnovitz F., Spiess V., Fekete N., Tóth Zs., Hámori Z., Kudó I., Horváth F., 2013: Új szeizmikus mérések a Balatonon: beszámoló a 2011–2012. évi szelvényezésekről
- Budai T., Császár G., Csillag G., Dudko A., Koloszar L., Majoros Gy., 1999: A Balaton-felvidék földtana. *Magyarozó a Balaton-felvidék földtani térképéhez*, 1:50/000. A Magyar Állami Földtani Intézet Alkalmi Kiadványa
- Csorny T., Corrada R., 1989: A Balaton medencéje és holocén üledékei részletes geofizikai-földtani vizsgálatának újabb eredményei. *A MÁFI Évi Jelentése 1987. évről*, 341–347. o.
- Csorny T., Corrada R., 1990: A Balaton aljzatának szedimentológiai térképe. *A MÁFI Évi Jelentése 1988. évről*, 169–176. o.
- Csorny T., Nagy-Bodor E., 2000: Limnogeology of Lake Balaton. In: Gierlowski-Kordesch E., Kelts K. (eds): *Lake Basins Through Space and Time*. AAPG Studies in Geology 46, 605–618
- Csorny T., 2002: A balatoni negyedidőszaki üledékek kutatási eredményei. *Földtani Közlemények* 132/különszám, 193–213
- Csorny T., Prónay Zs., Neduczka B., 2004: A Balatonon végzett korábbi szeizmikus mérések újraértékelése. *A MÁFI Évi Jelentése 2004.*, 273–283. o.
- Diel M., 2011: A Fertő-tó vizsgálata tavi szeizmikus mérésekkel. Szakdolgozat, ELTE TTK, Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Budapest
- Horváth F., Dövényi P., Tóth T., Magyarai O., Szafián P., Lenkey L., Györfi I., 1996: Folyóvízen kivitelezett, nagy felbontású szeizmikus kísérleti mérések végzése a Tisza Szeged és Szolnok közötti szakaszán. Készült a MOL Rt. megbízásából, Budapest, 1–30. o.
- Horváth F., Tóth T., Magyarai O., Szafián P., Bada G., Dövényi P., 1997a: Folyóvízen kivitelezett, nagy felbontású szeizmikus kísérleti mérések végzése a Duna Mohács és Esztergom közötti szakaszán. Kutatási jelentés a MOL Rt. megbízásából, Budapest, 1–86. o.
- Horváth F., Tóth T., Szafián P., Bada G., Vida R., Benkovics L., Csontos L., Dövényi P., 1997b: A tervezett magas aktivitású radioaktív hulladéktároló tektonikai veszélyeztetettségének analízise a Dunán végrehajtott speciális szeizmikus szelvényezés

- alaján. Kutatási jelentés a Paksi Atomerőmű Rt. megbízásából, Budapest, 1–127. o.
- Horváth F., Sacchi M., Dombrádi E., 2010: A Pannon-medence üledékeinek szeizmikus sztratigráfiai és tektonikai vizsgálata Dél-Dunántúlon és Balatonon területén. *Földtani Közlöny* 140/4, 319–418
- Novák D., Koncz D., Horváth A., Szafián P., Sztanó O., 2010: Egy pleisztocén folyó kanyarulata Fonyódnál: medernyomok a balatoni iszap alatt ultranagy felbontású szeizmikus szelvényeken. *Földtani Közlöny* 140/4, 419–428
- Sacchi M., Tonelli R., Cserny T., Dövényi P., Horváth F., Magyarai O., McGee T., Mirabile L., 1998: Seismic stratigraphy of the Late Miocene sequence beneath Lake Balaton, Pannonian basin, Hungary. *Acta Geol. Hung.* 41, 63–88
- Sacchi M., Horváth F., Magyarai O., 1999: Role of unconformity-bounded unit in the stratigraphy of the continental record: a case study from the Late Miocene of western Pannonian Basin, Hungary. In: Durban B., Jolivet L., Horváth F., Séranne M. (eds.), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. Geological Society, London, Special Publications 156, 357–390
- Sacchi M., 2001: Late Miocene evolution of the Western Pannonian basin, Hungary. Doktori (PhD) értekezés, ELTE TTK Geofizikai Tanszék, Budapest
- Simpkin P. G., Davis A., 1993: For seismic profiling in very shallow water, a novel receiver. *Sea Technology* 34, 21–28
- Sztanó O., Magyar I., Szónoky M., Lantos M., Müller P., Lenkey L., Katona L., Csillag G., 2013: A Tihanyi Formáció a Balaton környékén: típusszelvény, képződési körülmények, rétegtani jellemzés. *Földtani Közlöny* 143/1, 445–468
- Tóth T., Horváth F., Dövényi P., Gerner P., Magyarai O., 1995: Acoustic profiling on the River Danube. *Kutatási Jelentés a PArt számára*. Budapest, 18 o.
- Tóth T., Simpkin P. G., Vida R., Horváth F., 1997: Shallow Water Single and Multichannel Seismic Profiling in a Riverine Environment. Special Issue of “The Leading Edge”. Society of Exploration Geophysicists.
- Tóth T., Horváth F., 1997: High resolution seismic profiling for neotectonic investigations. In: Marosi S., Meskó A. (eds.), *Seismic risk of the Paks Nuclear Power Plant of Hungary*. Publishing House of the Hung. Acad. Sci., pp. 123–152
- Tóth T., Horváth F., 1998: Van bizonyíték a negyedidőszaki tektonizmusra Paks környékén! *Földtani Közlöny* 129, 109–124
- Tóth T., Horváth F., 1999: Evidence for Quaternary tectonic activity in the Paks area, Hungary. *Acta Geol. Hung.* 42, 327–346
- Tóth T., 2003: Folyóvízi szeizmikus mérések. Doktori (PhD) értekezés, ELTE TTK Geofizikai Tanszék, Budapest, 141 o.
- Tóth Zs. 2009: Balatoni többcsatornás vízi szeizmikus adatok feldolgozása és értelmezése. Szakdolgozat, ELTE TTK, Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Budapest, 87 o.
- Tóth Zs., Tóth T., Szafián P., Horváth A., Hámori Z., Dombrádi E., Fekete N., Spiess V., Horváth F., 2010: Szeizmikus kutatások a Balatonon. *Földtani Közlöny* 140/4, 355–365
- Visnovitz F., 2013: Késő miocén sekélyvízi deltalebeny épülés balatoni nagyfelbontású vízi szeizmikus szelvényeken. In: Koncz I., Nagy E. (eds.), *Tudományos próbapálya. PEME VI. PhD konferencia elektronikus kiadványa* (ISBN: 979-963-88433-8-8), 684–693. o.
- Visnovitz F., Horváth F., 2013: Balatonfő line in ultrahigh-resolution: a neotectonic fault zone under Lake Balaton. In: Fodor L., Kövér Sz. (eds.), *Abstract Book of the 11th Meeting of the Central European Tectonic Studies Group* (ISBN: 978-963-671-294-5), pp. 73–74
- Wijbrans J., Németh K., Martin U., Balogh K., 2007:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Geochronology of Neogene phreatomagmatic volcanism in the Western Pannonian Basin, Hungary. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 164, 193–204



# Magyarországi geomágneses adatok és feldolgozások: spektrálanalízis és térképi feldolgozások

KISS J.

Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI), 1143 Budapest, Stefánia út 14.  
E-mail: kiss.janos@mfgi.hu

Egy, a *Magyar Geofizikában* megjelent korábbi cikkben a különböző mélységű gravitációs hatások elkülönítése céljából a gravitációs Bouguer-anomáliákat vizsgáltuk frekvenciatartományban, spektrális mélységmeghatározással, illetve mélység-szeleteléssel (Kiss 2012). Ezeket a feldolgozási eszközöket a mágneses adatokra fejlesztettük ki, de a potenciáltér-módszerek között meglévő analógia miatt hamarosan elterjedtek a gravitációs adatfeldolgozásokban is. Ebben a tanulmányban, kicsit visszalépve a kezdetekhez, új értelmezési eredmények megszerzése céljából a mágneses adatokon alkalmazott feldolgozásokat és eredményeket mutatjuk be.

A mágnesség minden eddigi felgyülemlett tudás és tapasztalat ellenére is tartogat számunkra meglepetéseket, amire 2011-es tanulmányunkban (Kiss et al. 2011) próbáltuk felhívni a figyelmet. Most az adatokból kiindulva, a spektrálanalízis adta lehetőségeket használva fogjuk elemezni az országos térképen jelentkező mágneses anomáliákat, illetve néhány térképi feldolgozási eredményt is bemutatunk. A cél a hatók helyzetének és települési mélységének az objektív meghatározása és – amennyiben lehetséges – földtani azonosítása.

Mínél mélyebb hatásokat kell értelmeznünk a geofizikában, annál bizonytalanabbá válik a besorolás, és a konkrét adatokon nyugvó értelmezés helyébe a háttérinformációk alapján felállított koncepciók lépnek – megkeresni a legkisebb hibát, illetve a legkevesebb ellentmondással járó megoldást. A legmélyebb mágneses hatások esetében mi sem tehetünk mást, általános földtani–geofizikai ismereteink alapján próbáljuk értelmezni a kapott eredményeket.

## Kiss, J.: Hungarian geomagnetic data set and data processing: spectral analysis and grid data processing

In the journal *Hungarian Geophysics*, in a previous article the separation of different depth gravity effects by spectral depth estimation and depth slicing methods of the Bouguer anomaly data were presented (Kiss 2012). These methods were developed first for the magnetic data processing, but they spread soon over the gravity data processing because of the analogy between the potential field methods. In this study, stepping back to the beginnings a little bit, we present the processing applied to the magnetic data and their results for the acquisition of new-sense results.

The magnetism, despite of everything until now accumulated knowledge and experience, has surprises in store for us, for what we tried to call the attention in our 2011 study (Kiss et al. 2011). Starting from the country-size data set, we will analyse the magnetic anomalies using opportunities of spectral analysis and some data processing of grid data. The aim is the objective definition of the location and the depth of magnetic causative bodies and, if it is possible, the identification of the source geological formation.

The deeper the effects to be interpreted are, the more ambiguous the classification will be, and in place of the interpretation based on the actual data the concepts based on background information become reliable in order to look up the smallest mistake, a solution entailing the fewest contradictions concerned.

In the case of the deepest magnetic effects we may not make something else; we try to interpret the received results based on our general geological–geophysical knowledge.

Beérkezett: 2013. július 3.; elfogadva: 2013. szeptember 24.

## Előzmények

A mágneses és gravitációs alaphálózatok kiépítése nagyjából azonos időben történtek Magyarországon (Barta 1952, Facsinay, Szilárd 1956). A mágneses alaphálózati bázis-

pontok kialakításával, a bázispont mérési adatai lehetővé tették az országos normál terek meghatározását (akkoriban még nem volt International Gravity Standardization Net (IGSN) és International Geomagnetic Reference Field (IGRF)). A relatív mérések szempontjából az alaphálózat,

egy egységes, kontrolált viszonyítási szintet jelentett, amelyhez az egyedi méréseket be lehetett kötni (ami persze a gyakorlatban nem mindig történt meg). Így egy egységes adatrendszer jött létre a relatív mérésekből és az abszolút tér meghatározhatóvá vált minden egyes mérési pontban.

A legnagyobb mérési kampány, az 50-es, 60-as években végzett országos mágneses  $\Delta Z$  felmérés volt, aminek eredménye,  $M = 1 : 500\,000$ -es méretarányú térkép formájában, nyomtatásban is megjelent már 1966-ban (Haáz, Komáromy 1966).

A mágneses mérések kezdeti időszakában műszer- és mérés-technikai okok miatt a  $\Delta Z$  (függőleges) mágneses komponenszt mérték, ezek a mérések alkotják az egységes országos adatbázist. Esetenként mérték a  $\Delta H$  (vízszintes) komponenszt is, amelynek iránya a mágneses észak iránya volt, de ez csak egyes részterületeken, korlátozott számban van meg. A  $\Delta T$  összetevő a  $\Delta Z$  és  $\Delta H$  adatokból számítható, mivel a vertikális és a horizontális összetevő esetében az amplitúdó mellett az irány is ismert, így az anomáliavektor teljes egészében ismertnek tekinthető (Kiss 2009). Ez azért fontos, mert a modern, gyors mérést megvalósító magnetométerek mindegyike a  $T$  komponenszt (teljes térerőt) méri. Ezekből a mérésekből viszont nem rendelkezünk országos fedettséggel, és a hiánypótló terepi mérések finanszírozására hosszú évek óta nincs költségvetési fedezet.

A 90-es években a számítógépes adatkezelés céljából az ELGI-ben nagy erőfeszítések történtek, az archív formában (jegyzőkönyvek, táblázatok) meglévő adatok összegyűjtésére és digitális adatbázisok kialakítására (Vértessy 2002). A gravitációs adatokat már több cikk is bemutatta (Szabó 2004, Kiss 2006), a mágneses adatokról azonban eddig talán csak egy rövid összefoglalás jelent meg (Sörös et al. 2002), az évenként megjelenő ELGI belső jelentéseken túlmenően.

A digitális mágneses adatbázis első változata a Haáz–Komáromy-féle alaptérkép mérési adataira alapozva a 90-es évek második felére készült el kb. 45 000 mérési ponttal. Ezt az adatrendszert azóta is folyamatosan bővítjük és fejlesztjük, és a mérési pontok száma ma meghaladja a 74 000-et. A GEOMIND és KINGA projektekhez kapcsolódva (2005–2009) az ELGI adatbázis-fejlesztésekbe kezdett. Ennek köszönhetően készül az egységesített geofizikai adatmodell (Sörös 2011a, 2011b), amely a gravitációs és mágneses adatokat is tartalmazni fogja az INSPIRE irányelveknek megfelelő formában.

A digitális mágneses adatrendszer 2000 óta országos fedettséget biztosít, amelyet  $1 : 500\,000$ -es méretarányú, nyomdai úton sokszorosított térképpel tettünk közzé (Kiss, Gulyás 2006; a térkép az ELGI könyvtárában korlátozott számban elérhető). Ez a digitális adatrendszer, illetve a nyomtatott térkép lehetőséget teremt a különböző adatfeldolgozásokra és komplex értelmezésekre (lásd pl. Kiss 2009, Király, Lenkey 2011, Király 2012). A nyomtatásban megjelent térképnél a térértékek logaritmikus színezése és izovonalazása biztosítja tetszőleges tartományban az érzékenységet és felbontóképességet. A Haáz–Komáromy-féle alaptérkép a Barta által meghatározott normál térrel volt kiszá-

mítva, amit az utólagos elemzések alapján 20 nT-val korrigáltunk. A korrekciónak és a színezési technikának köszönhetően a térképen megjelent az addig rejtett finomszerkezet is, új lehetőségeket adva a földtani értelmezésnek. Egy árnyékolt megjelenítést mutat az *1. ábra*, amelyet 2003-ban készítettünk.

A térképet bizonyára sokan felismerik, hiszen évek óta ez a térkép látható a Magyar Geofizikusok Egyesülete honlapjának bevezető oldalán (<http://www.mageof.hu>).

A mágneses adatrendszert napi szinten alkalmazzuk különböző földtani problémák megoldása során. A komplex értelmezések céljából a mágneses adatrendszeren speciális feldolgozások és képfeldolgozási munkák legalább olyan szinten folytak, mint a gravitációs adatrendszeren, sajnos az eredmények publikációjával kapcsolatban vannak elmaradásaink. Ez részben annak is köszönhető, hogy a magyarországi magmás (vulkáni) képződmények modern átfogó földtani, térinformatikai nyilvántartása még nem áll rendelkezésre, noha már több tanulmányról és próbálkozásról is tudunk, melyek összegyűjtése jó alapot jelenthetne. Ilyenek például: Dank Viktor, Fülöp Géza, Császár Géza, Fodor László, Ravasz Csaba, Zelenka Tibor, Balogh Kadosa, Pécskay Zoltán, Harangi Szabolcs, Karátson Dávid, Ó-Kovács Lajos, Németh Károly, Szabó Csaba, Kovács István és Krassay Zita vulkanitokkal, illetve azok elterjedésével, korával foglalkozó publikációs munkái és háttéranyagai (a sort valószínűleg még folytathatnánk).

A mágneses hatók jelentős része eltemetett helyzetben van. A mélyfúrások által harántolt legfőbb mágneses hatók, a bázikus magmás képződmények ismerete segíthet az anomáliák egy részének azonosításban. A másik érdekes képződménycsoport a bázisos magmás képződményekből képződött metamorfközetek (bazitok, metabazitok, ultrabazitok, szerpentinitek, amfibolitok, zölpalak), amelyek elterjedéséről viszonylag kevés információval rendelkezünk.

Jelen tanulmány kapcsolódik a 68475. számú OTKA pályázat kutatásaihoz, amelyek a Hopkinson-effektus földkéregbeli megjelenését vizsgálták, pl. a regionális geomágneses anomáliák alapján, de a feldolgozások nem csak a regionális anomáliák kijelölésére szorítkoznak. A pályázat során a mágneses anomáliák értelmezése mellett behatóan foglalkoztunk a Curie-hőmérséklettel, a mágneses fázisátalakulással, illetve az egész geomágnesség jelenségével, melynek eredményei ebben a cikkben is megjelennek.

A cikk célja a Közép-Európa Bouguer-anomáliatérképén végzett vizsgálatok kiegészítése, a Kárpát-Pannon Régió lemeztektónikai vonatkozásainak elemzése a mágneses hatók, illetve a mágneses anomáliák alapján – egyelőre csak a magyarországi adatok alapján.

## **Mágneses anomáliák megjelenítése, azonosítása**

A Haáz–Komáromy-féle,  $M = 1 : 500\,000$ -es méretarányú térképen (1966-ban jelent meg) első pillantásra, gyakorlatlan szemmel csak a nagy vulkanikus eredetű hegységeinket



lehetett azonosítani (Velencei-hegység, Pilis, Börzsöny, Cserhát, Mátra és Tokaji-hegység), amelyeket ma már a felszíni földtani térképezés alapján nagyon jól ismerünk. Vulkáni hegységeink megjelenése akkor, az első országos mágneses anomália-térképen, mindenképpen rendkívüli dolognak számított, főleg az eltemetett hatók esetében az újdonság erejével hatott.

A vulkáni területek jellemzője, hogy a felszíni megkutatottság miatt a földtani ismereteink ma már sokkal részletesebbek, mint amit a meglévő geofizikai felmérés ritka ponthálózatú méréseinek feldolgozásából kaphatunk, de a felszíni megfigyelések nem adnak információt a felszínalatti kiterjedésről. Az eltemetett hatók esetében (lásd Posgay 1962, 1966, 1967) nyilvánvalóan új információkat adott az országos mágneses adatrendszer.

Figyelmesebb szemlélőknek az országos térképen kisebb amplitúdójú anomáliák is feltűnhettek, de nem voltak szembevetők – kicsit elvesztek a háttérben, és az ismeretlen mélybeli földtani felépítés okozta bizonytalanságban.

Az új  $M = 1 : 500\,000$ -es méretarányú anomáliatérkép szerkesztésekor elsődleges cél volt a megjelenítés dinamikájának feljavítása: a kis amplitúdójú anomáliák és anomáliavonalatok kiemelése, esetenként a nagy amplitúdójú (ismert eredetű) mágneses anomáliák megjelenítésének a rovasára (ez utóbbi területeket úgyis nagyobb méretarányú, részletesebb térképeken érdemes csak tovább elemezni).

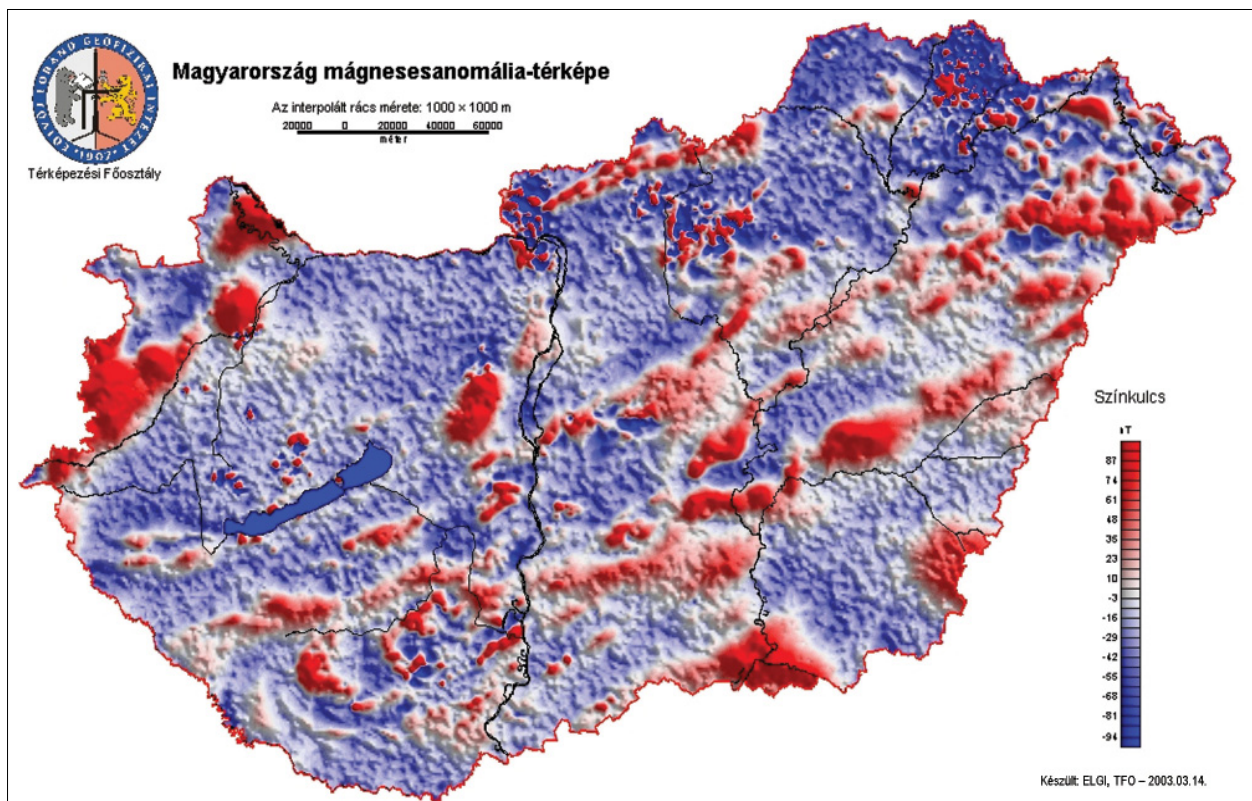
Az új megjelenítés során a logaritmikus skála alkalmazásával és a színek megválasztásával sikerült kiemelni a nagy-

szerkezeti irányokban megjelenő mágneses anomália-vonalatokat, azaz láthatóvá tenni a kis amplitúdóval, nagy hullámhosszal jelentkező anomáliákat (*1. és 2. ábra*), amelyek eredete sokkal kevésbé határozható meg a földtani ismereteink alapján.

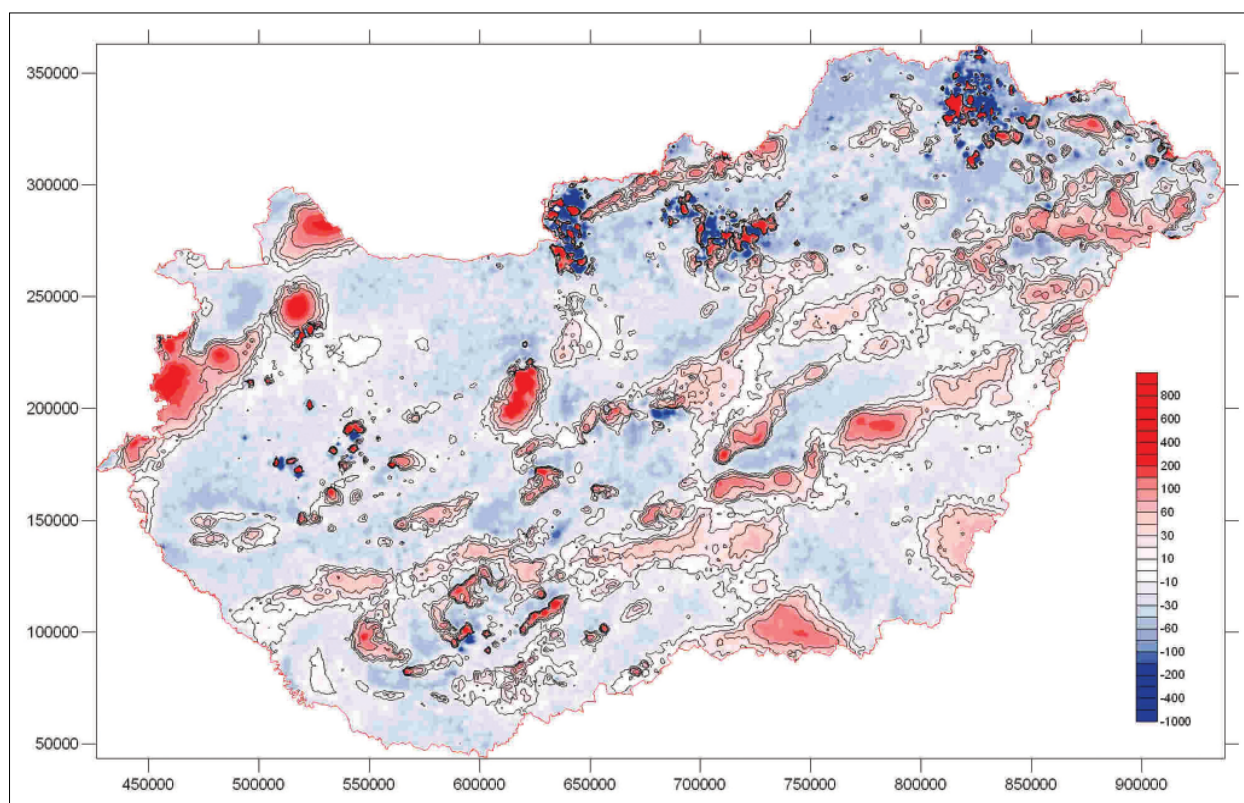
Vannak az országos mágneses anomália-térképen olyan anomáliák, amelyek amplitúdója néhányszor 10 nT, és hosszasan, több száz kilométeren át nyomon követhetők. A 68475. számú OTKA pályázat eredményeiben már feltételeztük, hogy ezek a mágneses anomáliák (*2. ábra*) – spektrális jellegük alapján – kapcsolatban lehetnek a Curie-hőmérséklet mélységében elhelyezkedő mágneses hatókkal. Az anomáliák széles pászták formájában jelentkeznek a magyarországi domináns nagyszerkezeti irányok (NyDNy–KÉK) vonalában.

Azt a nagyfrekvenciás zajt, amely az *1. ábra* szerint még jelen van, az interpolálási rácsméret növelésével sikerült minimalizálni. Amíg az *1. ábra* esetén az 1500 m-es nominális mérési ponttávolságnál kisebb rácshálóra interpoláltuk az adatokat (nagyfrekvenciás ánamáliák megjelenhettek), addig *2. ábra* esetén a rácstávolság a mintavételi távolságnál nagyobb.

Összefüggő maximum anomáliavonalatokat látunk, olyan nyomokat, mint amelyet az eltörött porcelán összeragasztása után a kibugyanó, megkeményedett ragasztó hagy. A hasonlat nem biztos, hogy a legjobb, de a földkéreg törései mentén felnyomuló magmás képződmények hasonló ürkitöltő és rögzítő szerepet játszhatnak a litoszféra esetében.



**1. ábra** | Mágneses  $\Delta Z$  anomáliatérkép a módosított alapszinttel (2003)  
**Figure 1** | Magnetic  $\Delta Z$  anomaly map with the corrected base level (2003)



**2. ábra** | Mágneses  $\Delta Z$  anomáliatérkép, a NyDNy–KÉK irányú hosszán követhető, nagy hullámhosszú anomáliák kiemelésére  
**Figure 2** | Magnetic  $\Delta Z$  anomaly map with the long, WSW–ENE directed, big wavelength anomalies

Erőhatások által okozott törések mentén a magma izzó anyaga felnyomul, a környezetét többé-kevésbé beolvastva rögzíti, és megköti a litoszférát, miközben kihűl (azaz kialakítja a stabil burkot).

Célunk az volt, hogy megtaláljuk és azonosítsuk azokat a hatókat, amelyek ezeket az anomáliákat okozzák, és közben persze a kvalitatív értelmezésből minél inkább a kvantitatív értelmezés irányába mozduljunk el.

Régi hiányossága a magyarországi mágneses adatok feldolgozásnak, hogy ezeket a hosszán nyomon követhető anomáliákat kellő részletességgel nem vizsgálta, és nem lettek bevonva a Pannon-medence kéregszerkezeti földtani értelmezésébe (kivétel talán Balla 1982, Pospisil és Ádám 2006 és Kiss 2012).

### *Mágneses anomáliák értelmezési problémái*

Mágneses anomáliák esetében az inverz feladat megoldása, az ekvivalencia miatt, nem egyértelmű, így a nagy hullámhosszú anomáliák kvantitatív kiértékelése esetén számolni kell azzal, hogy *a ható lehet:*

- Tektonikai, elmozdulási vonalak mentén felnyomuló, de a mélyben megrekedt magma, azaz lemezszerű mágneses ható, vagy dájék (a mélyfűrési adatok alapján csak néhány helyről tudunk ilyen jellegű képződményről).
- Több, a mágneses anomáliák vonalában harántoltak mélyfűrásban *vulkáni piroklasztikumot*. Az ekvivalencia

elvé miatt nem zárható ki, hogy a változó vastagú piroklasztikum összlet okozhat ilyen anomáliát, bár egy 400–500 km hosszúságban nyomon követhető anomália hatójaként vulkáni törmelékre gondolni, a pillanatnyi magyarországi földtani–geofizikai ismeretek alapján talán nem megalapozott. Gondoljunk arra egyrészt, hogy vulkáni hegységeink – kitörési központokhoz kapcsolódva – többnyire izometrikus formákat mutatnak, másrészt arra, hogy a Kárpát-medencei tektonika mennyire bonyolult: az összefüggő, szórt vulkáni anyag elterjedését módosíthatja.

A vulkáni tufák szuszceptibilitása jelentéktelen szokott lenni, rendezetlen mágnesezettségi irányokkal, az egyedi mágneses doménok a kaotikus elhelyezkedésük miatt kioltják egymás hatását. Ráadásul a tufák jelentősen része áthalmozott, aminek a fenti okok miatt mágneses hatása valószínűleg nem is lehet már.

- A hosszán elnyúló mágneses anomáliák esetében feltételezhető, hogy a hatás *tektonikai mozgásoknak köszönhető változás*. Egy rétegszerű (ferromágneses anyagot tartalmazó összlet), vagy egy féltérként jellemezhető modellnek a szerkezeti vonal mentén bekövetkező függőleges irányú leszakadása okozhat ilyen anomáliát. A horizontális (vagy gyengén dőlő) rétegnek csak a pereménél (*törések, leszakadások* mentén) lesznek jól azonosítható, kiugró mágneses anomáliái (a könnyű mágnesezés irányában). A mágneses anomáliavonalat tehát nagyszerkezeti vonalként (a mágneses réteg peremvonalaként), illetve kéreg-

szerkezeti határként (pl. a *gabbró-bazalt összetételű alsó kéreg hirtelen mélységváltozása* miatt) is jelentkezhet.

- Egy másik megoldás a *bázisos eredetű metamorfítok* (ászványi feldúsulások, közettani változások) jelenléte lehet, amelyek a törésvonalak mentén bekövetkező egykori fluidumfeláramlás során, vagy részleges megolvadásnak, esetleg nagy nyomás melletti átkristályosodásnak köszönhetően alakultak ki, s feldúsulhatott bennük a vas, illetve a vastartalmú ferromágneses anyag (pl. az olivin exhumációja, Kiss et al. 2011), különösen egy bázisos összetételű magmás anyagközet esetén.

Bármelyik esetben találhatunk olyan hatót, amelynek hatása a mágneses anomáliát megfelelő pontossággal leírja – és sajnos néhány másikat, teljesen más paraméterekkel, az ekvivalencia miatt. A felszínközeli hatók kivételével gyakorlatilag nincsenek pontos mágneszettségi információink (szuszeptibilitás, remanens mágneszettség mértéke és iránya), és nincs elég adat a hatók formájáról, geometriájáról sem. Az ekvivalencia miatt a mágneses inverz feladat egyértelműen nem oldható meg, főleg ha kizárólag a mágneses mérési adatokat akarjuk használni.

Ami a részletes földtani kutatás esetében jelentős problémának számít, az regionális szinten nem biztos, hogy gondot okoz. Ha a mágneses anomáliákat csak indikátorokként kezeljük (földtani rendellenességet jeleznek), akkor fontos szerkezetföldtani, lemeztectonikai információkhoz juthatunk (a hatások mélységének ismerete ebben az esetben is fontos).

A spektrálanalízis alkalmas eszköze lehet az anomáliák hullámhosszúság szerinti szétválasztásának. A spektrális mélységbecslés az anomáliák hullámhosszúsága alapján vizsgálja a ható mélységét (a módszer sajátosságából adódóan), s noha nem tudja jelezni vagy szétválasztani az esetleges ekvivalens megoldásokat, mégis ad egy legvalószínűbb hatómélységet. A spektrálanalízist tehát el kell végezni, mert megkaphatjuk a mágneses hatók becsült mélységét, amely sokszor akár valódi mélység is lehet.

## A mágneses adatok spektrálanalízise

Analóg mágneses kiértékelési eljárások alapján történtek becslések a 60-as években a mágneses hatók mélységére és szuszeptibilitására (Posgay 1962, 1966, 1967), azóta azonban rengeteg új digitális feldolgozási eljárás látott napvilágot. Posgay Károly mágneses adatfeldolgozási (úttörő) munkájának a folytatásaként, terveztük a digitális feldolgozási eljárások alkalmazását a mágneses hatók lehatárolásában és meghatározásában. Ennek egyik első, mondhatnánk bevezető lépése a térképi (rácsba interpolált) adatokon végzett spektrális mélységmeghatározás.

Az adatok spektrális vizsgálata esetenként megbízhatóbb információkat szolgáltat az anomáliák eredetéről, mint egyetlen zajos vagy esetleg torzult anomáliagörbe részletes elemzése. A mágneses anomáliák statisztikai vizsgálatának eszköze a spektrális mélységmeghatározás, amely pl.

mágneses alaphegység vagy kristályos medencealjzat hullámzó felületének mélységmeghatározására alkalmas. Ilyen felületnek fogható fel a Conrad-határfelület (bázisos alsó kéreg teteje) vagy a Curie-mélység is (ferromágneses–paramágneses átalakulás határfelülete).

Egy nem periodikus függvény végtelen számú szinuszos (eltérő amplitúdójú és fázisú) hullámok szuperpozíciójaként elő lehet állítani. A Fourier-transzformáció során az anomáliákat szinuszos hullámokra bontjuk szét. A Fourier-transzformáció a kétdimenziós függvények spektrális karakterisztikájának meghatározására is használható. Ilyen adatrendszer lehet, pl. a mágneses  $\Delta T(x,y)$  anomáliatér.

A mért mágneses tér a regionális és a lokális mágneses terek eredője, amelyet zaj terhel. Spector és Grant (1970) klasszikus megközelítése szerint az anomáliatér oszlopos hasábmódellek (vertikális, a mélység felé végtelen kiterjedésű prizmák) hatásának szuperpozíciójaként fogható fel, mely egy adott szinten a véletlenszerűen megjelenő mágneses hatók teréből áll elő. Így a mágneses tér és annak frekvenciája a horizontálisan, egymás mellett elhelyezkedő (felületet alkotó) mágneses hatók eredő hatásából származik. A mágneses anomáliák energiaspektrumán megjelenő, egyenlővel közelíthető szegmensek az adott mélységtartományban jelentkező hatók domináns mélységét jellemzik.

Mások a mágneses hatókat nem prizmákkal, hanem ekvivalens rétegekkel vagy féltérrel közelítették (Cordell 1985, Phillips 2001), megint mások mágneses monopólusokat (Syberg 1972) alkalmaztak. Alapvetően nem a forrásnak a pontos geometriája a fontos (bár az nem elhanyagolható), hanem a spektrum jellege, azaz hogy vannak-e rajta jól azonosítható szakaszok, amelyek egy adott mélységtartomány mágneses hatásait tükrözi vissza, vagy pedig nincsenek.

A mágneses anomáliatér Fourier-transzformáltja egy végtelen kiterjedésű egyszerű prizma esetén (Bhattacharyya 1966a, 1966b, Kivior 1996 alapján) a következő:

$$F(u,v) = T(u,v) = 2\pi I_p D(u,v) B(u,v) H(u,v), \quad (1)$$

ahol

- $I_p$  a mágneszettségi vektor nagysága,
- $D(u,v)$  mágneszettségi irányfaktor,
- $B(u,v)$  geometriai faktor,
- $H(u,v)$  mélységfaktor:

$$H(u,v) = e^{-ts} (1 - e^{-s(b-t)}), \quad (2)$$

ahol

- $s = \sqrt{u^2 + v^2}$  kétdimenziós térfrekvencia,
- $t$  a ható felső peremének mélysége,
- $b$  a ható alsó peremének mélysége.

A mágneses tér Fourier-transzformáltja tehát három fő faktortól függ:

- mágneszettségi vektortól való függés: mágneses faktor,
- a ható horizontális és vertikális méreteitől való függés: geometriai faktor,
- a ható felső peremétől és mélységi kiterjedésétől való függés: mélységi faktor.



Az energiaspektrum értéke (Meskó 1993, Blakely 1996) a mágneses tér esetében következőképpen írható le:

$$E(u, v) = \left| \overline{T}(u, v) \right|^2. \quad (3)$$

Az (1) képletet polárkoordináta-rendszerben kifejezve és behelyettesítve a (3) képletbe, az energiaspektrumra a következő kifejezéshez jutunk:

$$E(s, \theta) = 4\pi^2 e^{-2ts} (1 - e^{-s(b-t)})^2 MB(r, \theta)^2 D(\theta)^2, \quad (4)$$

ahol

$$\theta = \arctan(u/v),$$

$e^{-2ts}$  a mélységi függés,

$1 - e^{-s(b-t)}$  vastagsági függés,

$M = 4abI_p$  mágneses momentum, ahol  $a$  és  $b$  a test mérete,

$B(r, \theta)$  horizontális méretfaktor,

$D(\theta)$  mágneszettségi (irány-) függés.

A (4) energiaspektrum az energia olyan kétdimenziós függvénye, amely a térfrekvenciától ( $s$ ) és iránytól ( $\theta$ ) függ (Kivior 1996, Kis K. 2009) a direkt feladat megoldása során. A többi paraméter egy adott modell esetében fixnek tekinthető. A sugarasan (radiálisan) átlagolt energiaspektrum csak a térfrekvencia függvénye, és az adott térfrekvencia-értékekre az irányok szerint meghatározott átlagos energiát adja meg.

A mágneses anomáliák frekvenciatartalma a teljesítményspektrumon keresztül vizsgálható, ami az energiaspektrumnak adott térfrekvencia-tartományokra normált átlagát jelenti (a továbbiakban az  $E$  alatt a teljesítményspektrumot értjük).

Ha az inverz feladat során sikerül kiejteni a mágneszettségi faktort, akkor egy vertikális, végtelen kiterjedésű egyszerű prizma spektruma (4) csak a mélységtől és a ható horizontális méreteitől függ.

A spektrális mélységmeghatározások bizonytalanságát a hatók változó horizontális és függőleges mérete okozza. Egyedi ható esetében ezek a paraméterek elvileg meghatározhatók, a gyakorlatban azonban szinte soha nem egy egyedi mágneses ható anomáliaterével van dolgunk.

A mágneses ható alsó peremének hatása lokális maximumként, azaz csúcsként megjelenhet a spektrumon. Ebben az esetben a spektrumgörbe alapján meghatározható a felső perem mélysége, a spektrum maximuma alapján az alsó perem mélysége, s a két mélységből pedig, a vastagság.

A pólusra redukálással a mágneszettségi faktort tudjuk kiejteni. Az indukált mágneszettség kiszámítható, ha ismert a szuszceptibilitás. Gondot jelent a remanens mágneszettség, amelyről nagyon kevés információnk van. A remanens mágneszettség ismeretének hiánya, illetve változékonysága (a Tokaji-hegységi vulkáni működés idején legalább két normál és három reverz földmágneses időszak állapítható meg) megnehezíti ennek a hatásnak a kiszűrését. Nagy területek térképi adatrendszere esetén a különböző mágneszettségből adódó különbségek a lépték miatt nem jelentkeznek olyan élesen, így a regionális értelmezés szempontjából kisebb problémát jelent.

A remanens mágneszettség a felszínközeli hatások esetén, a mágneses anomáliater nagyszámú részénél jelentős. A remanens mágneszettség szerepe a mélységgel és a hőmérséklet növekedésével arányosan csökken (Dunlop 2007), miközben az indukált mágneszettség szerepe folyamatosan nő.

A Curie-mélységbeli mágneses anomáliákat az indukált mágneszettség okozza egyértelműen, mivel a spontán vagy remanens mágneszettség a Curie-hőmérsékleten eltűnik, viszont a mágneses szuszceptibilitás maximális értéket fog elérni. Ezért a spektrumon a legmélyebb hatást (a kis térfrekvenciás részt) a környezethez képest a legnagyobb szuszceptibilitáskontraszt fogja okozni, amely viszont a Curie-hőmérsékleten jelentkezik, közvetlenül a paramágnessé válás előtt.

A harmonikus jelanalízis során a mágneses hatók vizsgálatához a kutatandó mélységből származó jel szükséges, ezért a vizsgált terület kiterjedése ennek a mélységnek legalább tízszerese kell, hogy legyen (Tanaka, Ishikawa 2005). A 20 km-es kutatási mélység vizsgálatához például legalább  $200 \times 200$  km-es terület kell, míg Maus et al. (1997) vizsgálatai alapján legalább ötvenszer akkora terület kell, azaz  $1000 \times 1000$  km.

### Curie-hőmérsékleti mélység

A Curie-hőmérsékleti mélység meghatározására a mágneses anomáliák alapján végzett spektrális mélységbecslést szokták használni. A Curie-hőmérsékleten a mágneses tulajdonságok megszűnnek, így ez a legnagyobb mélység a földkéregben, ahonnan a földtani képződmények (kőzetek) által okozott anomális mágneses jel származhat, azaz ez a spektrumgörbe legeleje (a legmélyebb hatás, a legkisebb azonosított térfrekvenciák esetén).

A spektrum jellegéből adódóan a legmélyebb hatás vizuálisan történő azonosítása a legbiztosabb (legmeredekebb a görbe és az egyik irányból véges), így szinte a spektrális mélységbecslés megjelenésétől kezdve előszeretettel használják a Curie-hőmérsékleti mélység meghatározására. (Persze fenn áll az a hibalehetőség, hogy a Curie-hőmérséklet mélységében nincs mágnesezhető anyag, s akkor egy másik mágneses szint mélysége lesz meghatározva, amelynek semmi köze a Curie-hőmérséklethez.) A Curie-mélység anyagfüggő (Kiss et al. 2011), de általában a magnetit Curie-hőmérsékleti mélységét szokták tekinteni „etalonnak” (ez annak köszönhető, hogy a mágnesezési görbe leggyakrabban  $600^\circ\text{C}$  körül szokott lenullázódni, de ez csak egy, a közzefizikában elterjedt általánosítás).

A természetben található mágneses anyagok összetétele nem tiszta, hanem magnetitből, maghemitből vagy esetleg titanomagnetitből, titanomaghemitből álló keverék. Sokszor a kezünkben tartott homogénnek tűnő ásvány is több – általában képletekkel közelített (kvantált) egyedi – ásvány keverékből áll. Ebből adódik, hogy megjelenhet a Curie-hőmérsékleti maximum alacsony,  $100\text{--}400^\circ\text{C}$  hőmérsékleten (titanomagnetit esetében), amely rész ennél magasabb hőmérsékleten paramágnessé válik. Ezt követi például a magnetit, amely nem veszti el ferromágnességét még  $400^\circ\text{C}$

főltt sem, és a Curie-hőmérsékleti maximuma 578 °C körüli hőmérsékleten van, majd ez a rész is paramágnesessé válik. Ez után jön a maghemites, hematitos rész, amelynek a Curie-hőmérséklete magasabb, mint a magnetit (580–675 °C közötti). A 675 °C már a hematit Curie-hőmérséklete. Amennyiben nincs más mágneses elegyrész az adott kőzetben vagy ásványban, akkor válik az anyag teljesen paramágnesessé. A vizsgált terület földtani jellege, a kőzetmátrix összetétele, a nyomás-hőmérséklet viszonyok, a redoxifolyamatok és a fluidumok jelenléte együttesen határozzák meg, hogy milyen ferromágneses ásvány van jelen, és hogy milyen a domináns Curie-hőmérséklet (és a Curie-pontmélység).

A Curie-hőmérsékleti Hopkinson-effektus megjelenését egyszerre több hőmérsékleten már számos közzefizikai mérés kimutatta (Miranda et al. 2002, Rüdtt, Baberschke 2004).

A geotermikus anomáliáknak is fontos szerepe lehet a mágneses tulajdonságok megváltozásában, mivel a közzefizikai mérések azt mutatják, hogy az erős felfűtéskor megjelenő Hopkinson-effektus a Curie-hőmérsékletet elérése után, lehűtéskor (paramágneses állapotból visszatérve) már nem illetve másképpen jelenik meg. Ennek oka az, hogy a ferromágneses anyagok a Curie-hőmérsékleten átalakulnak (Kiss et al. 2011, Miranda et al. 2002). A geotermikus viszonyok megváltozásakor, pl. a terület emelkedése vagy süllyedése esetén, földtani időben mérve változhat a terület mágneses anomáliaképe, mivel változik a terület előidéző mágneses ható is (gondoljunk csak Magyarország süllyedő-emelkedő részeire).

A gyanúsán sekély Curie-mélység meghatározások általában a felszínen lévő mágneses összetek felületének (domborzatnak) hullámzásával hozhatók kapcsolatba. A tapasztalatok alapján erős korreláció lesz a felszín hullámzása és a mágneses anomáliák között. A spektrumon ez visszatükröződik.

### A mágneses teljesítményspektrum tulajdonságai

A mágneses adatok teljesítményspektrum-rajzolata elsősorban az anomáliát létrehozó képződmények mélységével, áttételesen a méretével és vastagságával van összefüggésben. Spector és Grant (1970) a teljesítményspektrum formájának vizsgálata során megállapította, hogy az azonos mélységben elhelyezkedő hatók egyenes szakaszokat alkotnak a spektrumon, amelynek dőlése az átlagmélységgel arányos (3. ábra).

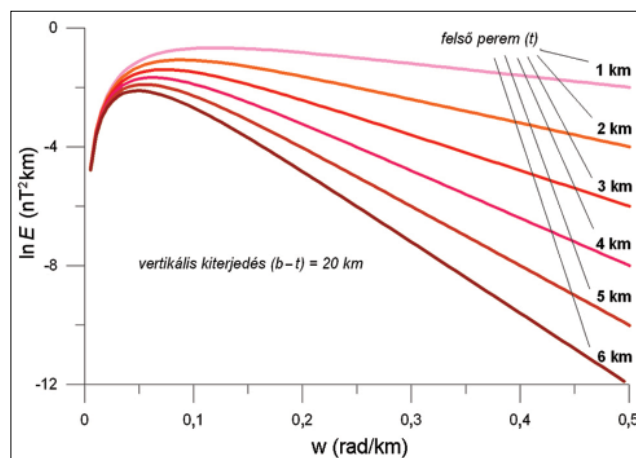
A spektrális mélységbecslés statisztikai jellegű feldolgozás, ezért a kapott adatok nem egy adott helyhez, hanem a feldolgozóskor felhasznált adatrendszerhez kötődnek. Ha ez az adatrendszer egy területet (vagy szelvényt) fed le, akkor ennek a területnek (vagy szelvénynek) a mágneses anomáliáit jellemzi teljes egészében, de az eljárás nem ad közvetlenül lehetőséget a kimutatott spektrális mélység forrásának pontos földrajzi helyzetmeghatározására. A terület szűkítésével lehet ugyan fókuszálni, ez azonban a behatolási mélységet limitálja – minél kisebb a terület, annál kisebb hullámhosszúságú lesz a jel, és annál kisebb az azonosítható ható-mélység.

A mágneses adatokból kapott spektrumon tehát meghatározhatjuk a legmeredekebb, egyenessel közelíthető szakaszt. Ez megadja az adott területen a legmélyebben lévő mágneses hatónak a felső peremét, de:

- Nem biztos, hogy ez a Curie-mélység, mert nem zárható ki annak a lehetősége, hogy a Curie-mélységben nincs olyan ferromágneses anyag, amely anomáliát okozna (a bázisos alsó kéreg mélyebben van, mint a Curie-hőmérséklet mélysége), s így egy a felszínhez közelebb elhelyezkedő (nem Curie-mélységben lévő) ferromágneses anyagot tartalmazó (mágnás vagy metamorf eredetű) képződménytől is származhat a hatás.
- Ha ez a Curie-mélység körüli hatás, akkor többnyire a mágneses hatónak a felső pereme, nem az alja, vagy a közepe. Az alsó perem hatása benne van az anomáliában, de a felső perem hatása ezt többnyire elnyomja, és csak áttételesen (lokális maximum formájában) jelentkezhet a spektrumon (Spector, Grant 1970). A vastagságról tehát semmilyen információnk nincsen, azaz a ferromágneses-paramágneses átmenet valódi mélységét csak szerencsés esetben tudjuk teljesen pontosan meghatározni. (Amennyiben a Hopkinson-effektust elfogadjuk, akkor a legerősebb hatás a mágneses fázisátalakulásnak köszönhető, ami a Curie-mélységben, egy viszonylag szűk sávban fog megjelenni, azaz a kritikus állapotban lévő mágneses anyag tetejének és a talpának mélységbeli eltérése a spektrális mélységmeghatározás pontossági hibahatárán belül lesz.)

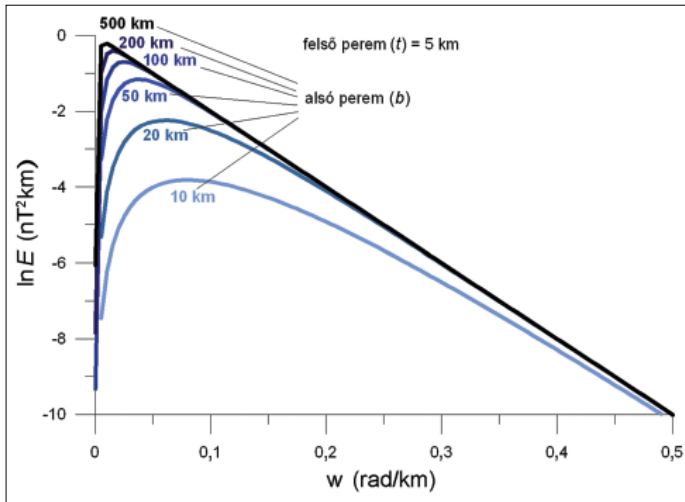
Mindezen bizonytalanságok ellenére számos publikáció foglalkozik a mágneses spektrum alapján végzett Curie-mélység meghatározásával.

Az alsó perem (mélységi kiterjedés) megjelenése a spektrumon egy lokális maximum formájában jelentkezik (4. ábra), de nagyban függ a vizsgált terület nagyságától: kis terület adatai esetén nem látszik a nagy mélységű perem hatása. Minél nagyobb a ható vastagsága, a spektrum maxi-



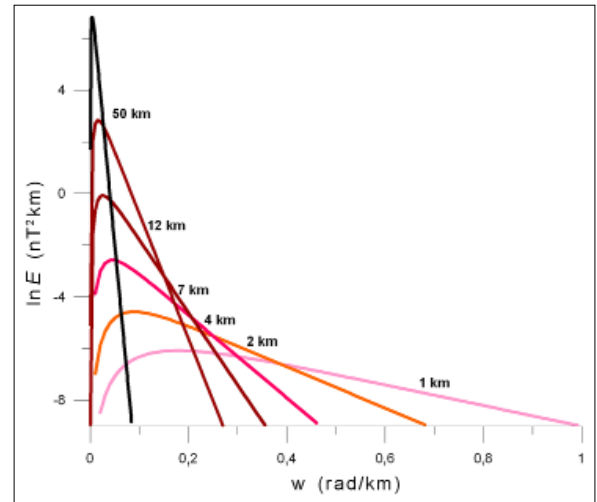
3. ábra A ható felső peremének megjelenése az egyedi spektrumokon (mélységfaktor)

Figure 3 Effects of the tops of the magnetic bodies on the spectrum (factor of the depth)



**4. ábra** A ható alsó peremének megjelenése lokális maximumként a spektrumon (vastagság faktor)

**Figure 4** Effects of the bottoms of the bodies on the spectrum (factor of the thickness)



**5. ábra** Mágneses teljesítményspektrum különböző mélységű egységnyi ható esetén

**Figure 5** Magnetic power spectrum of different depth unique causative bodies

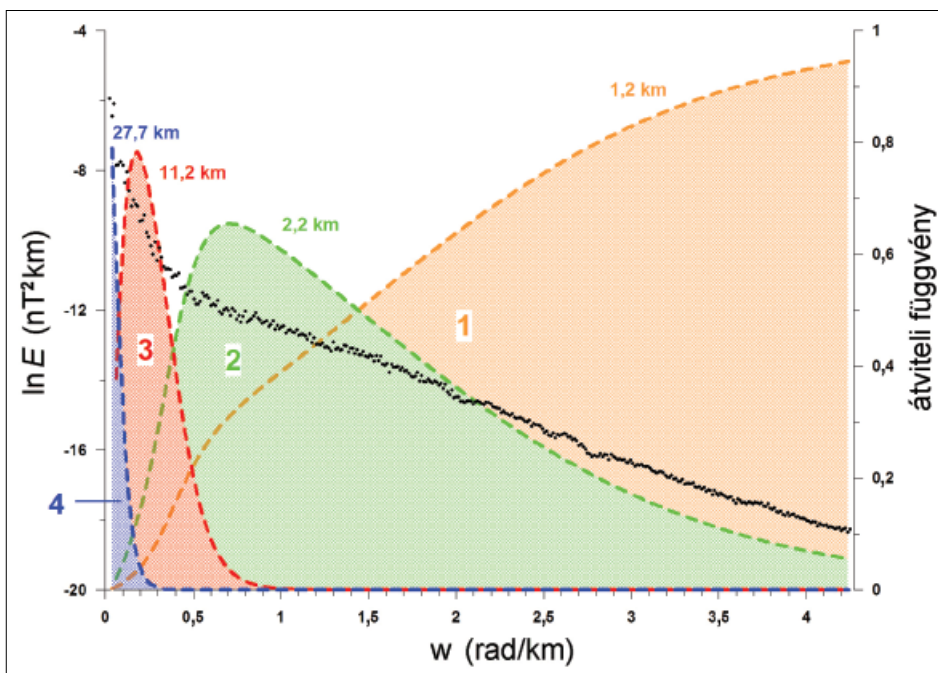
muma annál inkább a kis térfrekvenciájú tartomány felé mozdul el.

Végtelen mélységi kiterjedés esetén a maximum helye a 0 térfrekvenciánál lesz (5. ábra, fekete vonal). A végtelen mélység természetesen relatív fogalom, mindig a kiválasztott terület nagyságától függ, és a ható felső peremének mélységéhez kell viszonyítani.

Összetett mágneses hatás esetén a burkológörbe adja meg a spektrum jellegzetes formáját, amelyet az 5. ábra mutat, ahol különböző mélységű és vastagságú hatók hatását látjuk. Persze a burkológörbe nem egy egyszerű összegzést jelent, hanem minden mélység hatása csak a spektrum egy adott tartományában jelenik meg, és nem a teljes spektrumon. Adott mélységek hatásának arányát mutatja a 6. ábra,

egy valós spektrumillesztés átviteli függvénygörbéivel. Látszik, hogy a különböző hatások nem egyforma súllyal szerepelnek még az átviteli függvény maximum helyein sem, azaz vannak „domináns” hatások és gyengébb, „járulékos” hatások is. A gyakorlat azt mutatja, hogy a spektrum vizsgálatokor (inverzió során) is számolni kell az ekvivalenciával.

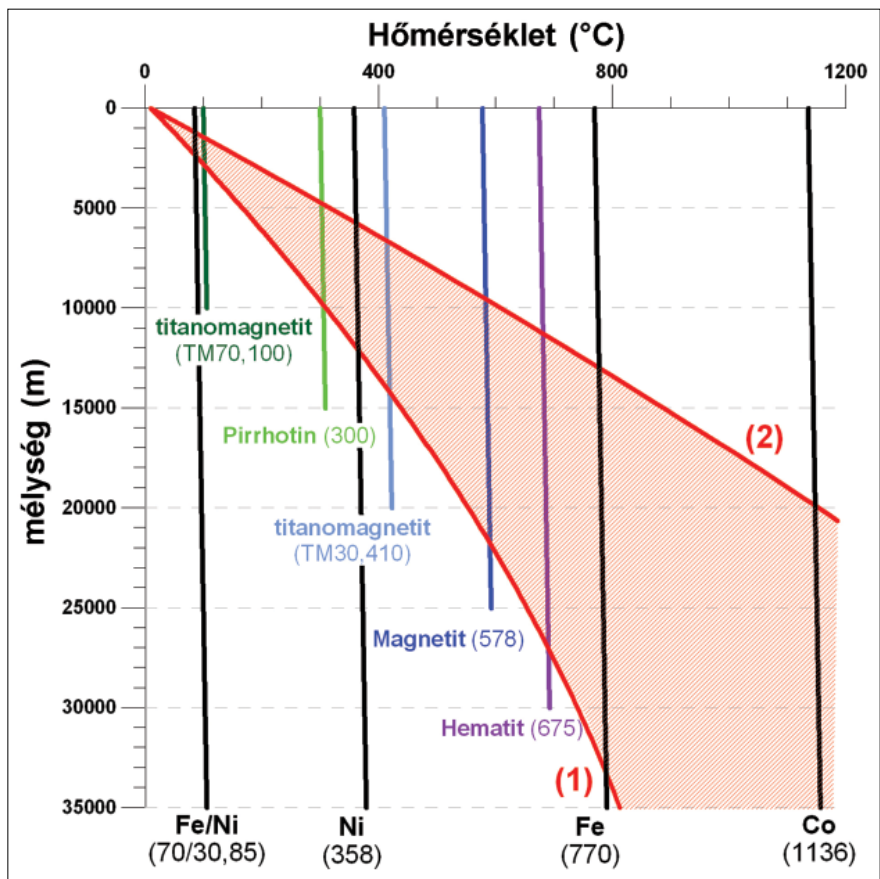
Az átviteli függvények (6. ábra) alapján a mágneses anomália különböző mélységű hatók tereire bontható szét, ami a spektrum alapján történő sávszűréssel oldható meg (ezt mélységi szelektálásnak szokták hívni). Az átviteli függvény azt mutatja meg, hogy a spektrum hányad részét alkotja az adott mélységbeli ható hatása. Elvileg az átviteli függvényeket abszcisszapontonként összegezve a  $k = 1$  eredménygörbét kell megkapnunk, azaz:



**6. ábra** A mágneses spektrumot leíró átviteli függvények (1–4) különböző mélységű hatókra (a spektrumgörbe mélységmeghatározásait lásd később)

**Figure 6** The bandpass filter characteristics (1–4) of different depth causative bodies on the power spectrum (their depth estimation will be presented later)





7. ábra Magyarország hőmérséklet–mélység összefüggése a főbb ferromágneses elemekkel és ásványokkal [Fowler-féle másodfokú összefüggés alapján, 1) minimális (50 W/m<sup>2</sup>) és 2) maximális (130 W/m<sup>2</sup>) hőfluxus esetén]  
 Figure 7 The depth–temperature dependence of Hungary and the possible depth of Curie temperature of different ferromagnetic elements and minerals (minimal (1) and maximal (2) heat flux calculated by Fowler’s quadratic formula)

$$k = \sum f_{\lambda} = f_{\lambda_1} + f_{\lambda_2} + \dots + f_{\lambda_{n-1}} + f_{\lambda_n} = 1. \quad (5)$$

Ehhez a spektrális feldolgozáshoz a későbbiekben, elemezve a magyarországi mágneses anomáliateret, még vizsztatérünk.

Különböző eljárások jelentek meg, amelyek segítségével az alsó perem hatását ki lehet mutatni (pl. Okubo et al. 1985). Ezek bizonyos területeken, adott modellek esetén, úgy tűnik, működnek (pl. ha vannak felhasználható geotermikus kiegészítő adatok), máskor meg ellentmondásos eredményeket kapunk. Az eljárások a Curie-hőmérsékleti hatók mélységét egészen a Moho szintjéig leviszik, kis geotermikus gradiensű területek esetén ez elképzelhető.

A kapott spektrális mélységnek és a geotermikus adottságok alapján számolt mélységnek (7. ábra) összhangban kell lennie. Hiába kapunk Magyarországot területére 40 vagy 50 km-es Curie-mélységet, ha a geotermikus viszonyok (a másodfokú hőmérséklet–mélység összefüggés, 7. ábra) alapján még a hematit Curie-hőmérséklete esetében is a legnagyobb mélység csak 25 km körüli!

Olyan nagy kiterjedésű területeken, ahol a geotermikus gradiens állandó és a Conrad-felület mélysége sem változik, ott a Curie-mélység spektrálisan nem mutatható ki. A spektrális analízis a jel változásain alapuló eljárás, de ha nincs

változás, csak egy konstans szint, akkor a földtani hatás a módszer számára láthatatlan.

### Mélységmeghatározási eljárások

A mágneses tér teljesítményspektruma alapján ki lehet számítani a ható mélységét az ismert eljárások egyikével úm. Spector–Grant-közelítés, spektrummaximum módszer, Okubo-féle eljárás, illesztett sávszűrés Phillips-féle eljárás.

A következőkben a mélységmeghatározási eljárásokat tekintjük át a szakirodalom alapján.

#### Spector–Grant-közelítés (felső perem meghatározása)

Egyenessel való közelítés alapján a mágneses ható felső peremének mélysége meghatározható (Spector, Grant 1970). Regresszióanalízissel megkeressük a kiválasztott pontokra legjobban illeszthető szakaszt, és az egyenes szakasz dőlése (meredeksége) alapján elvégezzük a mélységmeghatározást:

$$t = \frac{\ln E(s_2) - \ln E(s_1)}{2(s_2 - s_1)2\pi}, \quad (6)$$

ahol  
 $s_2, s_1$  a térfrekvencia értéke (a szakasz végén és elején),  
 $E(s)$  a teljesítményspektrum értéke az adott térfrekvencia esetén,  
 $t$  a felső perem mélysége.

Több mágneses szint is kijelölhető, bár a spektrumon a különböző mélységszintek átfedő hatásából adódóan ez tényleg csak közelítés.

#### Spektrummaximum módszer (alsó perem meghatározása)

A prizmaszerű ható potenciáalterének Fourier-transzformációja egy sáv a spektrumon (Spector, Grant 1970), amelynek maximuma (csúcsa) és meredeksége a mélységtől függ (a prizma aljának és tetejének a mélységétől) az amplitúdója a prizma fizikai paraméterétől (azaz mágnesezettségétől). A maximum (csúcs) a következő összefüggésben van a ható paramétereivel:

$$s_{\max} = \frac{\ln(b/t)}{2\pi(b-t)}, \quad (7)$$

ahol  
 $s_{\max}$  a csúcs helyének térfrekvencia értéke,  
 $t$  a felső perem mélysége,  
 $b$  az alsó perem mélysége.

A felső peremet ( $t$ ) ugyanúgy határozzuk meg, mint az alsó perem hatása nélküli esetben (lásd előző alpontban).

Ez a mélységbecslés arra is jó, hogy a spektrum adott térfrekvencia-értékeihez tartozó mélységet megbecsüljük. Ezt a lehetőséget a későbbiekben még fel fogjuk használni.

#### Okubo-féle eljárás (testközépponti mélység meghatározása)

Okubo és munkatársai (Bhattacharyya, Leu 1975, Okubo et al. 1985, Tanaka et al. 1999) arra a következtetésre jutottak, hogy a testhez képest nagyon nagy hullámhosszúságú jelek esetén a spektrum a ható átlagparaméterei által meghatározott spektrumnak felel meg (azaz a felső, illetve alsó perem mélysége helyett a test geometriai középpontjának a mélysége határozza meg a spektrumot). Az alsó perem hatása mindenképpen benne van a spektrumban, csak nem tudjuk elkülöníteni, ha nem jelentkezik a spektrumon maximumként.

Ennek az eljárásnak az ismertetésekor vissza kell menni az eredeti teljesítményspektrumhoz, amelyet a következő képlet ír le:

$$E = A e^{-ts} (1 - e^{-s(b-t)}) \cong A e^{-ts}, \quad (8)$$

ahol  
 $A$  konstans,  
 $t$  a ható felső peremének mélysége,  
 $b$  a ható alsó peremének mélysége,  
 $s = \sqrt{u^2 + v^2}$  kétdimenziós térfrekvencia.

A képlet jelentősen leegyszerűsödik abban az esetben, ha a vastagság nagy, mivel a zárójelben lévő tag értéke 1 lesz.

Ebben az esetben a felső perem mélységét könnyű meghatározni a következő összefüggésből, amely a spektrumon ki-rajzolódó egyenesnek a képlete:

$$\ln E = \ln B - st. \quad (9)$$

A fenti teljesítményspektrum képletét a következőképpen írhatjuk át a testközépponti mélység paramétereinek felhasználásával:

$$\begin{aligned} E &= C \cdot e^{-ks} (e^{-s(t-k)} - e^{-s(b-k)}) \\ &= C \cdot e^{-ks} (e^{-s(-d)} - e^{-s(d)}) \\ &\cong C \cdot e^{-ks} 2sd, \end{aligned} \quad (10)$$

ahol  
 $C$  konstans,  
 $k$  a testközéppont mélysége,  
 $2d$  a mágneses ható vastagsága.

Ebben az esetben a testközépponti mélységet a következő képlet alapján lehet meghatározni:

$$\ln(E/s) = \ln D - sk. \quad (11)$$

Ez utóbbi eljárásnak azért lehet létjogosultsága, mert közvetve a mágneses ható alsó pereméről hordoz mélységi információt, mivel:

$$b = 2k - t, \quad (12)$$

ahol  
 $b$  a mágneses ható alsó pereme (bottom),  
 $t$  a mágneses ható felső pereme (top),  
 $k$  a mágneses ható középmező mélysége.

A szerzők az alsó perem mélységét hozzák összefüggésbe a Curie-hőmérséklet mélységével, amivel tulajdonképpen az összes előző, a Curie-mélység és mágneses anomáliák kapcsolatáról szóló elképzelést bizonyos szinten felrúgják.

Ez az eljárás nagyon tetszetős, de erős kontrollt igényel, mivel a meghatározás a Curie-mélységet gyakran a Moho szintje alá helyezi!

Más probléma is felmerül, mivel a forráscikkek alapján elég önkényesen választják ki a spektrumon az egyenes szakaszok illesztési helyeit – többek közt a felső perem, valamint a középmezőre jellemző spektrumszakaszt (térfrekvencia-tartományt) is.

#### Phillips-féle eljárás (inverzióval illesztett sávszűrés)

A teljesítményspektrum alapján manuális szakaszjelölés mellett határozzuk meg a spektrumgörbe összetevőit, majd inverzió segítségével a startmodellből indulva iterációk sorozatán keresztül érjük el az eredeti és a számolt spektrum legjobb illeszkedését (Phillips 2001). Ekvivalens rétegek vagy féltér hatását számolja, és a spektrumon a réteg vagy a féltér felszínének mélysége jelenik meg.

## A spektrálanalízis adta lehetőségek alkalmazása valós mágneses adatokon

### Mélységmeghatározások

#### Spector-Grant közelítés (Spector, Grant 1970)

Az országos mágneses  $\Delta Z$  adatrendszerből kiszámítottuk a  $\Delta T$  anomáliateret s ennek teljesítményspektruma alapján a Spector-Grant közelítéssel meghatároztuk a legmélyebb mágneses ható mélységét. A feldolgozásból 18,6 km-es maximális mélységet kapunk, amit a 8. ábra mutat. Látszik, hogy a spektrumnak maximum helye van, ami azt jelzi, hogy az alsó perem hatása is jelen lehet a spektrumban és a kapott mélység a ható felső peremének mélysége. Ez lehetőséget ad a spektrum-maximum eljárás alkalmazására is.

#### Spektrummaximum módszer (Spector, Grant 1970)

A maximum értéke  $f_{\max} = 0,0047619$  térfrekvenciánál jelentkezik.

A térfrekvencia, az alsó és a felső peremének mélysége közötti (7) összefüggés alapján – ha ismerjük a felső perem mélységét – az alsó perem mélysége meghatározható. Ebben az esetben az alsó perem mélysége  $b = 54,5$  km mélységnek adódik. Kérdés, hogy ez a mélység Magyarország területén mihez, milyen földtani képződményhez vagy szinthez köthető, és hogy mágneses szempontból értelmezhető-e? Vagy a kapott maximum csak az algoritmus hibájából esetleg a mintavétel miatti pontatlanságból származik?

#### Középmélység-meghatározás (Bhattacharyya, Leu 1975, Okubo et al. 1985)

A normalizált spektrum paraméterei alapján meghatározzuk a mágneses réteg középmélységét ( $k$ ), majd az eredeti spekt-

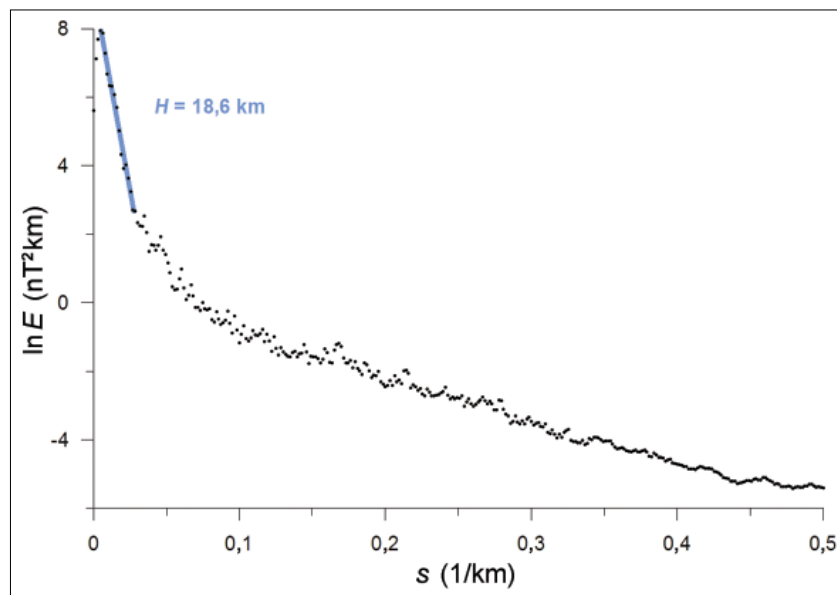
rum alapján a felső perem mélységét ( $t$ ). A 9. ábra mutatja az eredeti és a normalizált spektrumot, egymást követő spektrumtartományok alkalmazása mellett.

Az egyenes szakasz illesztésével meghatároztuk a normalizált spektrum alapján a középmélységet:  $k = 25$  km. Az eredeti spektrum alapján az ezt követő szakasz alapján a felső perem mélységét:  $t = 4,7$  km (ez az érték, mint a mágneses hatók felső pereme, meglehetősen értelmezhetetlen). A  $b = 2k - t$  összefüggés alapján az alsó perem mélysége  $b = 44,3$  km-nek adódik. Ez nagyságrendileg megfelel az előző, spektrum maximum alapján meghatározott alsó perem mélységnek. Ebben az esetben a szakaszokat, az egymást követő spektrumtartományon jelöltük ki, ahogy Tanaka et al. (1999), Chiozzi et al. (2005) és Gabriel et al. (2012) alkalmazta Ázsia keleti részén, Dél-Europában, illetve Németországban a geotermikus kutatások során.

Az elmélet alapján ez hibásnak tűnik, mivel a középmélység levezetése szerintünk szintén a normált spektrumon a legmeredekebb szakaszra, a spektrum elejére vonatkozik, nem a második mélységet jelző szakaszra.

Rozimant et al. (2009) a szlovákiai hasonló vizsgálatok esetében, illetve a törökországi Curie-mélység-meghatározások során (Ates et al. 2005, Bektas et al. 2007) mind a teljesítményspektrumon, mind pedig a normált spektrumon ugyanabban a térfrekvencia-tartományban jelölték ki az egyenes szakaszokat. Ezt a változatot, a hazai adatok esetében a 10. ábra mutatja.

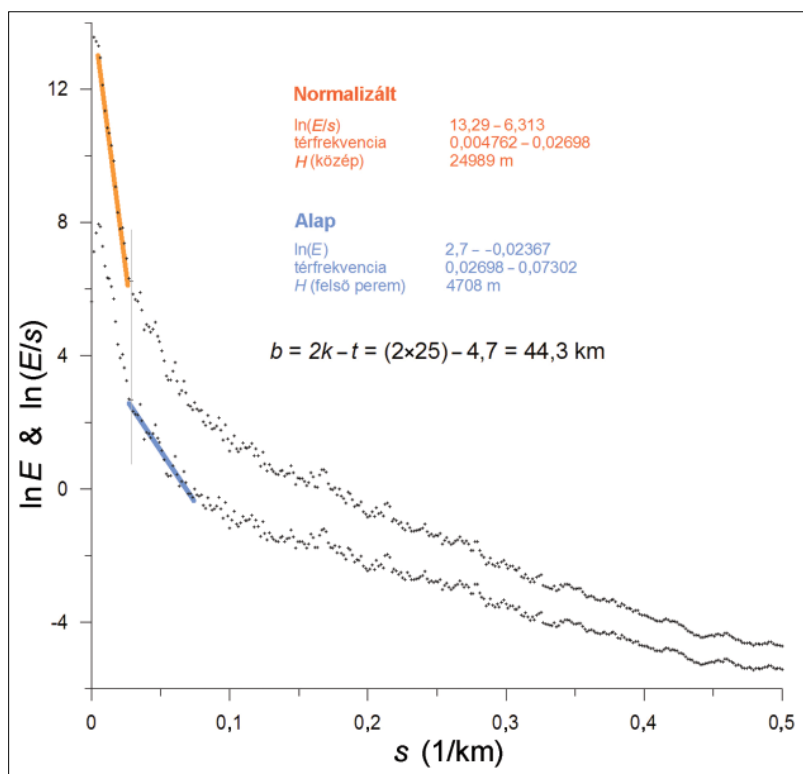
A mágneses réteg alja, ebben az esetben,  $b = 31,4$  km-nek adódik, ami durván a Moho-szint mélysége, azaz az alsó kéreg alja. Megítélésünk szerint ez a változat a helyes. Az alsó perem meghatározása összességében mindkét esetben Moho körüli, vagy az alatti mélységet adott, ami vagy nem a magnetit Curie-hőmérséklete (hanem a hema-



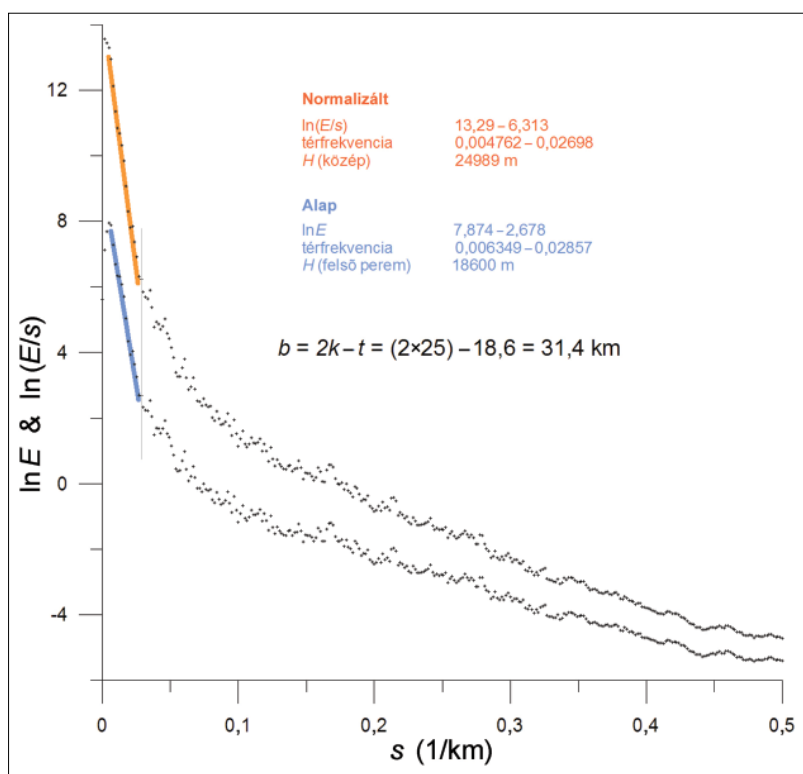
**8. ábra** Az országos mágneses  $\Delta T$  anomáliatérkép teljesítményspektruma, a legnagyobb hatómélységgel (Spector-Grant-közelítés, regressziós egyenessel, a spektrumgörbét Geosoft algoritmus alapján számoltuk)

**Figure 8** Power spectrum of the magnetic  $\Delta T$  map of Hungary with the depth of the deepest magnetic sources (Spector-Grant spectral depth estimation, the spectrum was calculated by Geosoft algorithm)





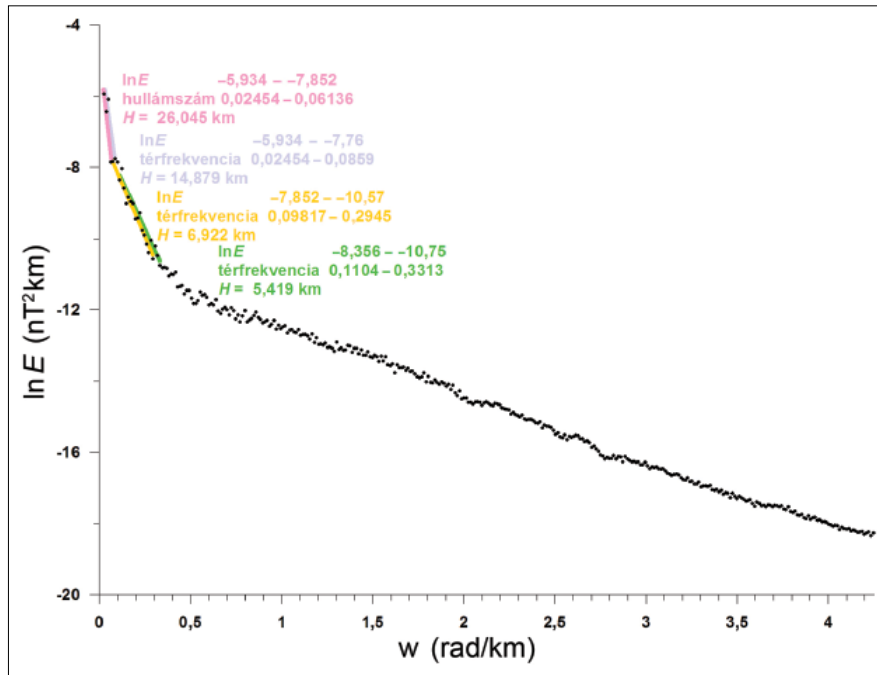
**9. ábra** | Az Okubo-féle eljárás alap- és normalizált spektruma (A verzió, a spektrumgörbe Geosoft algoritmus alapján)  
**Figure 9** | Okubo's method, base and normalized spectrum (version A, the spectrum was calculated by Geosoft algorithm)



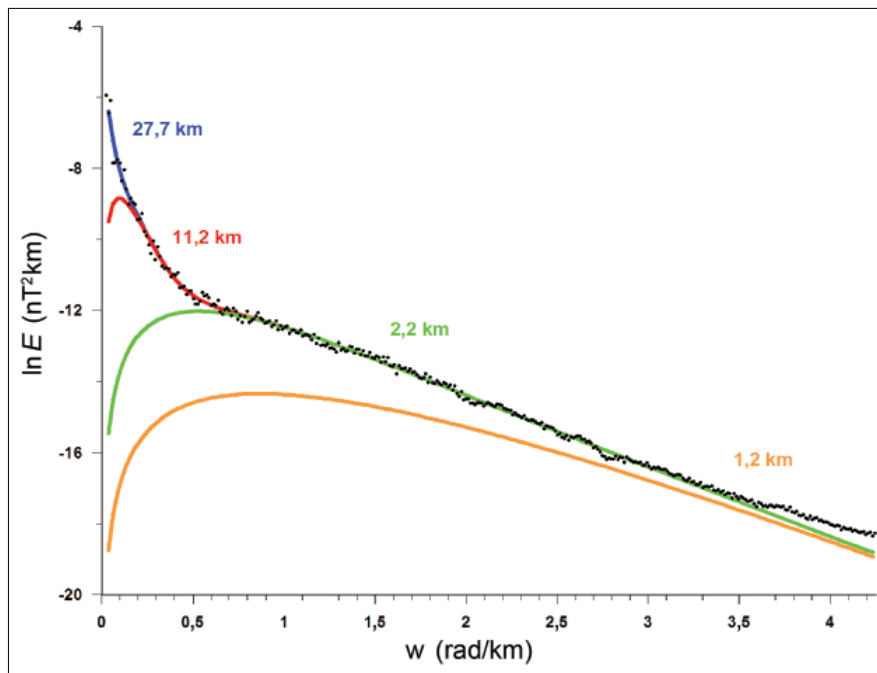
**10. ábra** | Az Okubo-féle eljárás alap- és normalizált spektruma (B verzió, a spektrumgörbe Geosoft algoritmus alapján)  
**Figure 10** | Okubo's method, base and normalized spectrum (version B, the spectrum was calculated by Geosoft algorithm)

tité vagy a szabad vasé, esetleg a szabad kobalté, 7. ábra),  
 vagy a magyarországi geotermikus viszonyok mellett ne-

hezen elfogadható, mivel a 10–22 km-es várt tartományon kívül van.



**11. ábra** | Manuális mélységmeghatározások bizonytalansága (a spektrumgörbét USGS algoritmus alapján számoltuk)  
**Figure 11** | Wobbliness of the manual depth estimations (the spectrum was calculated by USGS algorithm)



**12. ábra** | A mágneses spektrum illesztése különböző mélységű hatók spektrumgörbéivel (a spektrumgörbét USGS algoritmus alapján számoltuk)  
**Figure 12** | Fitting of the magnetic spectrum by spectrum curves of different depth sources (the spectrum was calculated by USGS algorithm)

*Phillips-féle eljárás (Phillips 2001)*

Ebben az eljárásban a spektrum egyes szakaszaira meghatározott mélységekkel elméleti spektrumot számítunk, majd ennek az eredeti spektrumtól való eltéréseit inverzió segítségével közelítjük (ellenőrizzük), meghatározva ezáltal a mágneses ekvivalens rétegek vagy féltér tetejének mélységét. A Phillips-féle eljárásban már a hullámszámértékeket használtuk, a térfrekvencia helyett.

Azeljárás azért jobb a korábbi mélységmeghatározásoknál, mert a kapott eredményeket, a direkt feladat megoldásával rögtön ellenőrizzük is.

A manuálisan kijelölt egyes szakaszok alapján végzett mélységmeghatározások nem veszik figyelembe a rétegek egymásra hatását. Ennek példája látszik ugyanazon teljesítményspektrumon végzett manuális illesztések esetén (11. ábra). Látszik, hogy a görbe többféle egyenessel közelíthető

**1. táblázat** | Különböző mélységtartományok és jellemző mélységek a spektrumon az átviteli függvények metszéspontjai alapján

	$H$ maximum metszéspont	$H$ spektrális mélység	Átviteli függvény- metszéspont	$H$ minimum metszéspont
I. mélységtartomány	$\infty$	27,7	0,075	15,5
II. mélységtartomány	15,5	11,2	0,38	3,1
III. mélységtartomány	11,2	2,2	1,46	1,45
IV. mélységtartomány	2,2	1,2	4,2	0,1

például a 0,0–0,25 hullámszámtartományban, a meghatározott mélységek 5,5 km-től 26,0 km-ig terjedtek. A spektrumon történt egyeneskijelölés és mélységmeghatározás bizonytalansága nyilvánvaló.

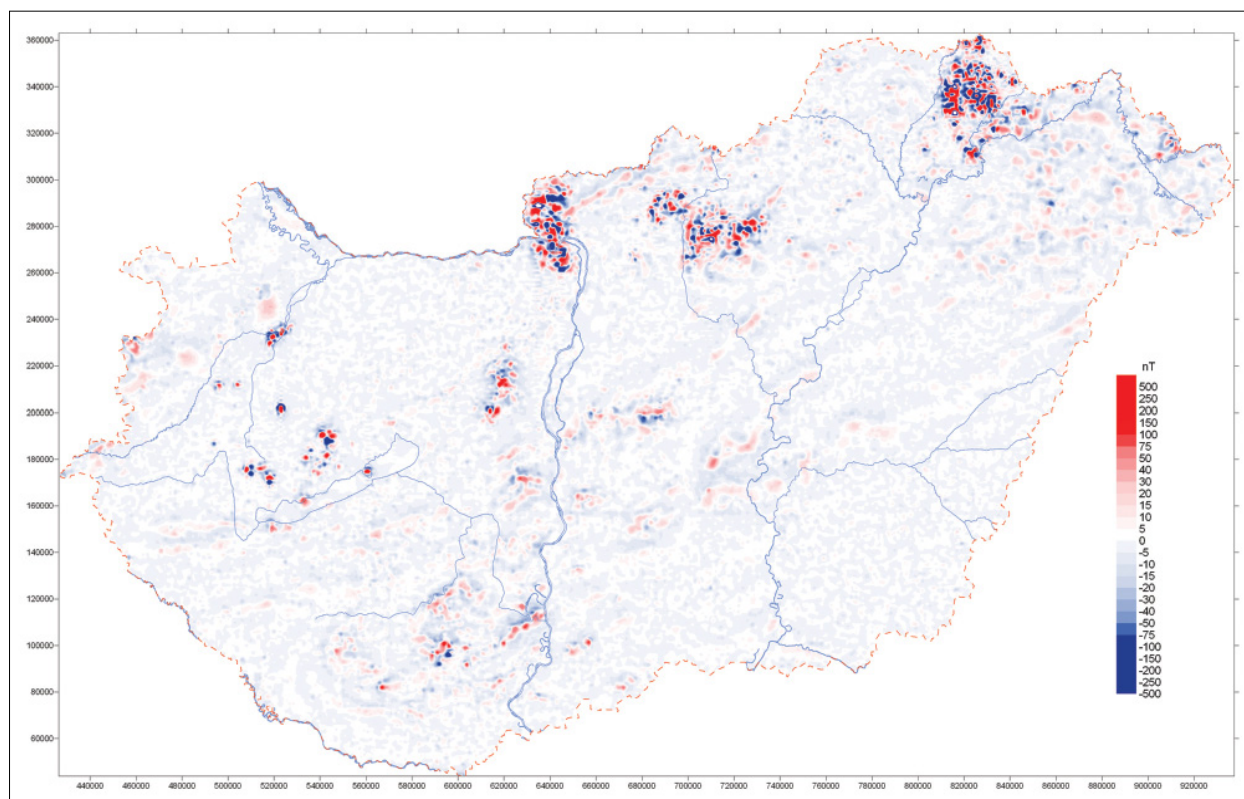
Az inverzió ennél sokkal biztosabb megoldást jelent. A 12. ábra alapján látszik, hogy a spektrum négy különböző mélységű ható terével írható le. Egy 1,2 km körüli mélységű hatóról indul a spektrum, ami szinte nem is látszik a spektrumgörbén (1,45–4,2), de nélküle nem lehet illeszteni a következő mélységet. A második mélység a 2,2 km, amely a 0,38–1,45 közötti tartományban írja le pontosan a spektrumot. A következő ható mélysége 11,2 km, és a 0,075–0,38 közötti tartományt jellemzi. Az utolsó meghatározható mélység a 27,7 km-es, amely a 0–0,075 közötti tartományt fedi le. A teljes spektrumot a négy eltérő mélységű hatás együttesen írja le.

A különböző rétegek szerepe a spektrumban az átviteli függvények alapján jellemezhető. Az átviteli függvényeket

a szaggatott vonalak mutatják (a korábban bemutatott 6. ábra), a jobb oldali tengelyen megjelenő arányszám alapján. Az ábrán látszik, hogy különböző hullámszámtartományokban más és más mélységű mágneses objektum hatása a domináns, miközben a másik ható hatása szinte nincs is jelen az adott spektrális tartományban. Látszik, tehát, hogy a mágneses spektrum különböző mélységű rétegek integrált hatását mutatja, de minden mélység csak egy adott spektrális tartományban jellemző, a többi tartományban elenyésző szerepet játszik.

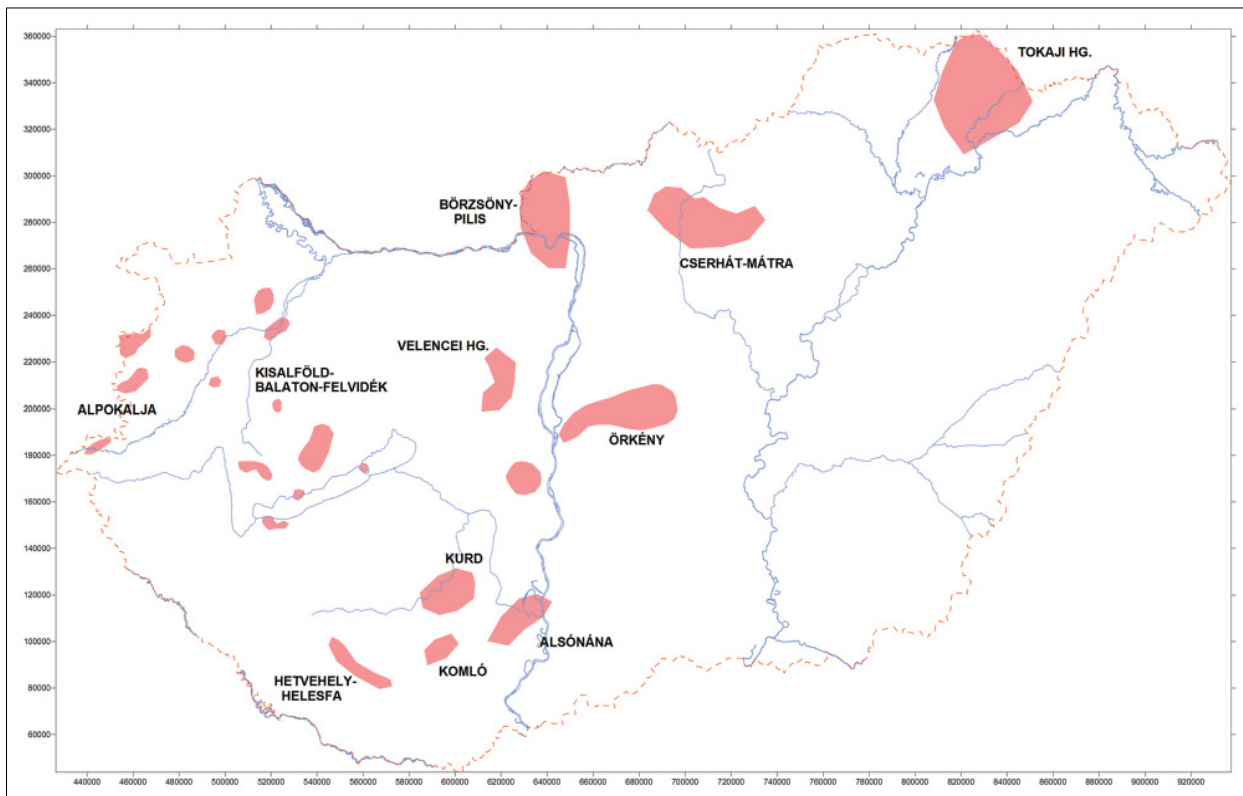
Az átviteli függvények által jelzett domináns mélységtartományokat (hol melyik van legfelül), a mágneses ható alsó peremének kimutatására kidolgozott „hullámszám maximum módszer” alapján közelítőleg kiszámolhatjuk (1. táblázat).

A kapott mélység egy vékony, változó mágnesezettségű ekvivalens rétegnek a mélységét adja meg. A Phillips-féle eljárás lehetővé teszi a spektrum alapján végzett sávszűrést,

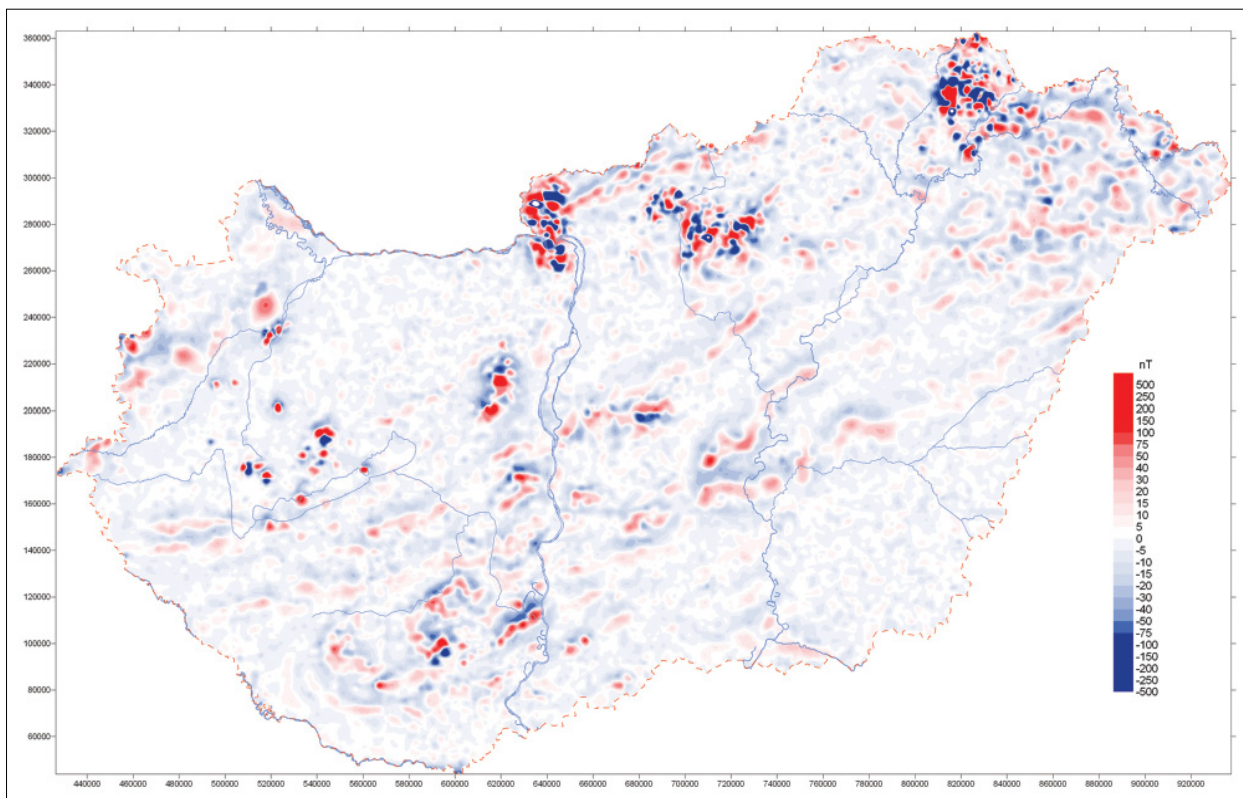


**13. ábra** | Az 1,2 km-es mélység mágnesesanómália-térképe  
**Figure 13** | Magnetic anomaly map of 1,2 km depth sources

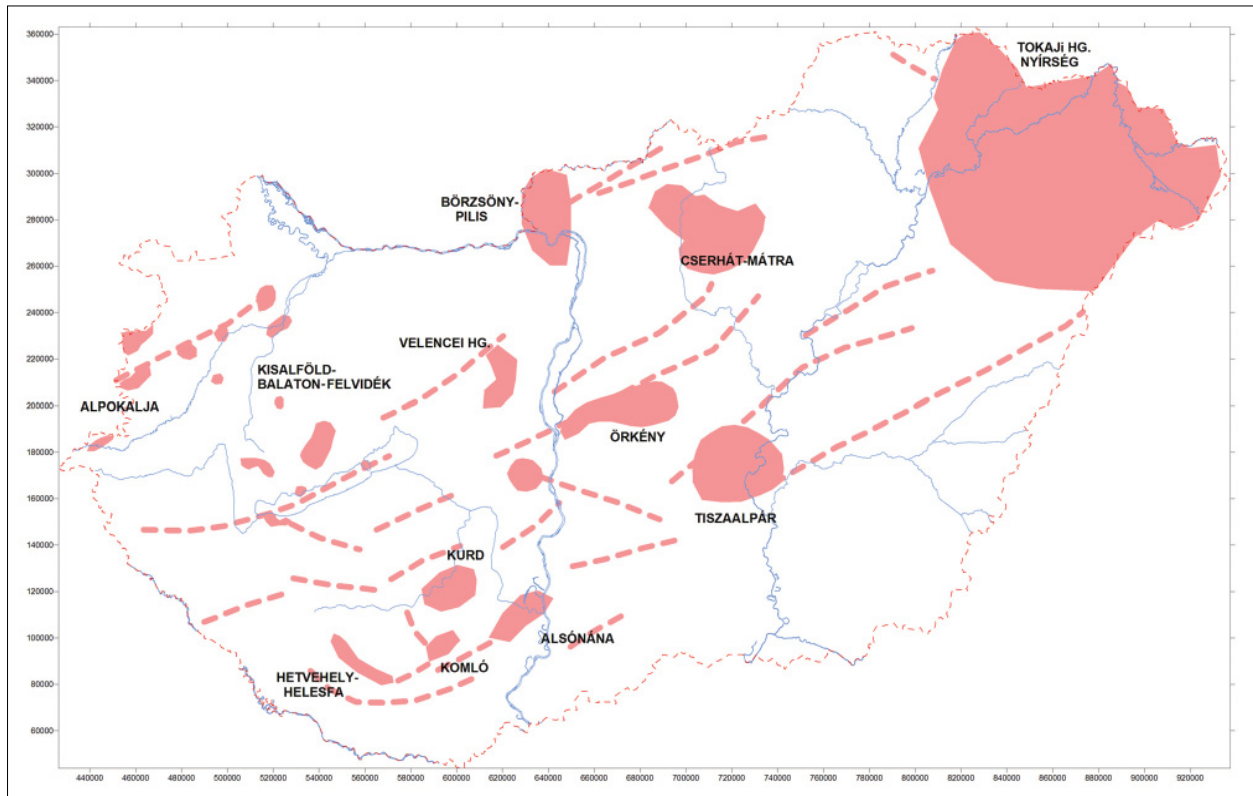




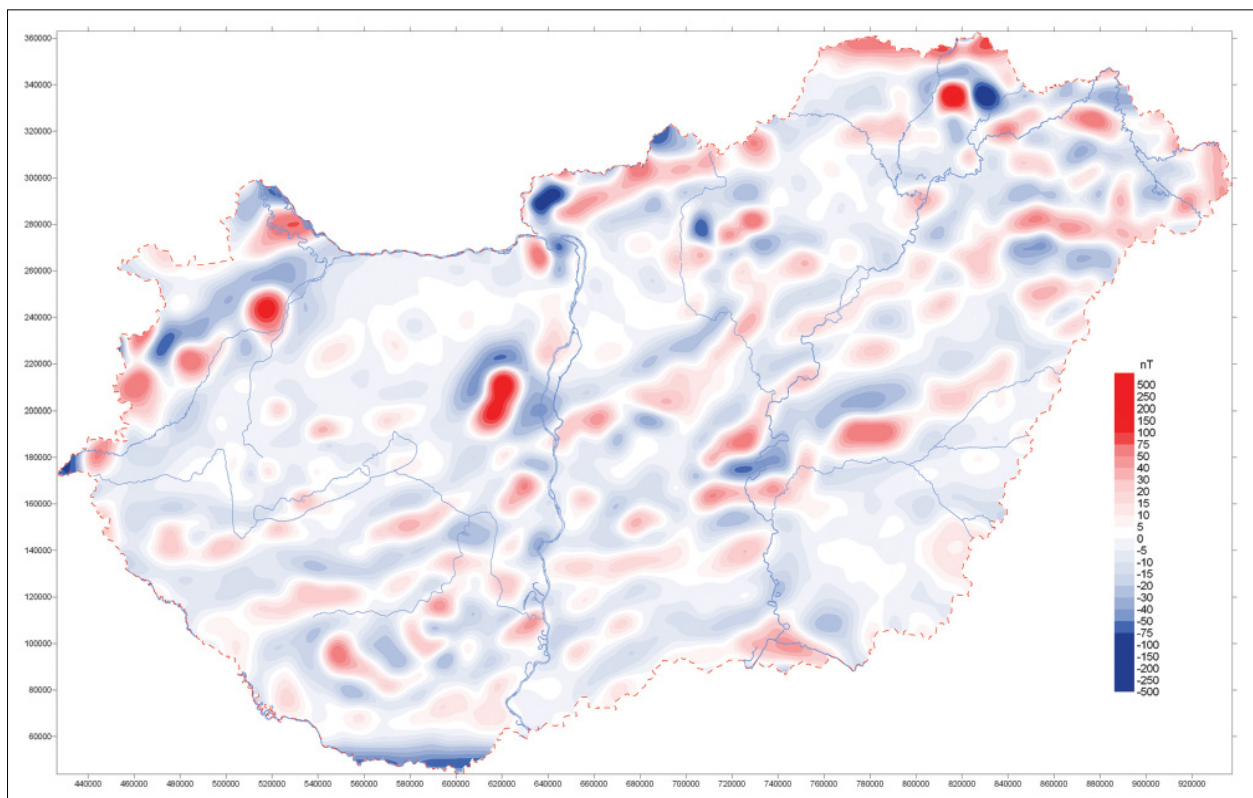
14. ábra | A 0–1,2 km-es mélységtartomány mágneses hatói (vázlatosan)  
 Figure 14 | Schematic map of magnetic causative bodies of 0–1,2 km depth domain



15. ábra | A 2,2 km-es mélység mágnesesanomália-térképe  
 Figure 15 | Magnetic anomaly map of 2,2 km depth sources



**16. ábra** | A 0–2,2 km-es mélység mágneses hatói (vázlatosan)  
**Figure 16** | Schematic map of magnetic causative bodies of 0–2,2 km depth domain



**17. ábra** | A 11,2 km-es mélység mágnesesanómia-térképe  
**Figure 17** | Magnetic anomaly map of 11,2 km depth sources

ami a különböző mélységek jellemző anomáliának kiszűrésére és tanulmányozására ad lehetőséget. Ezt az eljárást a nemzetközi szakirodalomban mélységi szeleltetésnek hívják.

A mélységi szeleltetés (vagy illesztett frekvenciatartománybeli sávszűrés) segítségével a különböző hullámhosszúságú tartományokat – amelyek eltérő mélységű hatásokat tükröznek – el tudjuk különíteni, és a kapott anomáliatérképeket egyenként elemezhetjük.

### A mágneses anomália-térkép sávszűrése

Az első, 1,2 km-es mélység térképe a felszínközeli hatásokat mutatja, kiejtve a nagyobb mélységek hatását (13. ábra). Alapvetően az ismert felszínközeli bázisos képződmények (bazaltok, andezitek, szerpentinitek) hatása azonosítható, mint pl. a Balaton-felvidéki, kislalföldi pannon bazaltok, a velencei, a Börzsönyi, pilisi, cserhádi, mátrai és tokaji miocén–eocén andezitek, valamint a Mecsek környéki felszínközeli kréta-bazaltok, szerpentinitek és egyéb bázikus kőzetek (14. ábra). Az országos térképre jellemző sávós anomáliák ezen a térképen még csak lokálisan figyelhetők meg a Duna-Tisza közén (Örkény és Alpár közelében) és a Nyírségben. Az Alpokalja még csak néhány elkenődött folt formájában jelenik meg, és a diósjenői vonal anomáliái is kezdnek megjelenni.

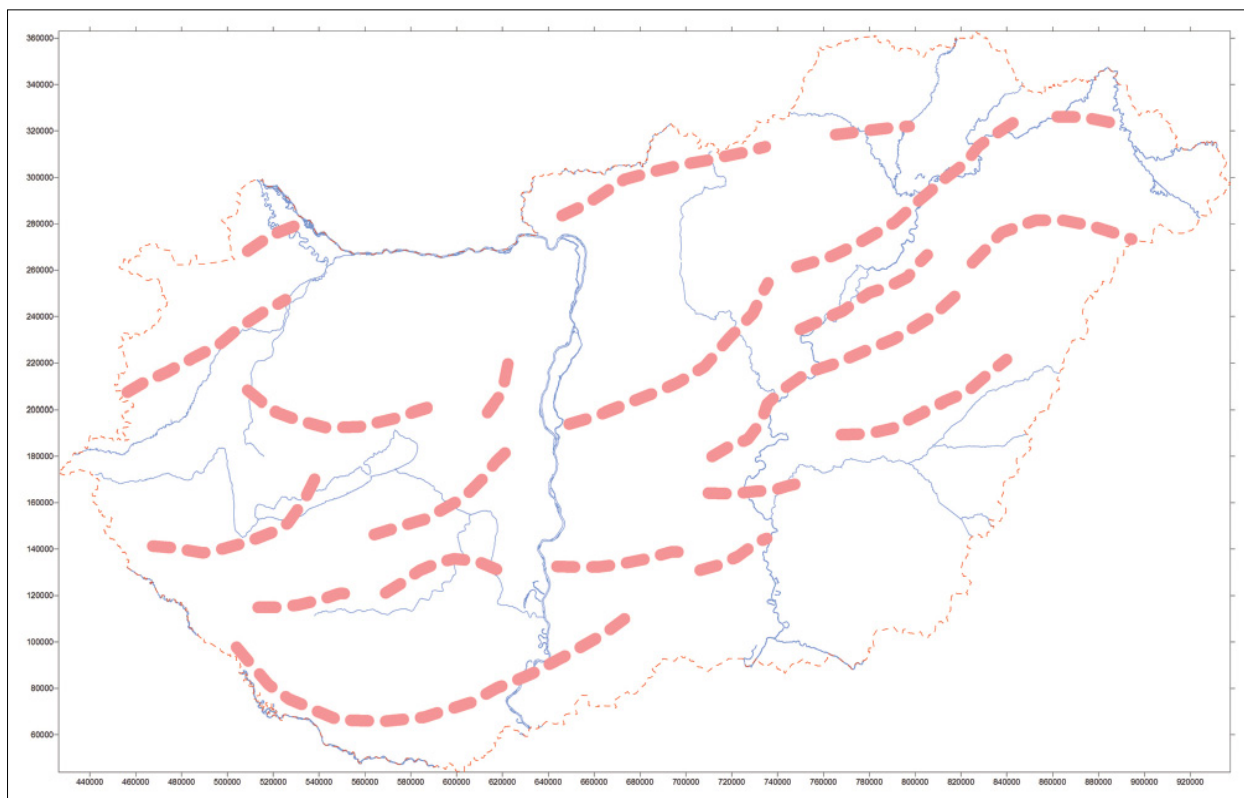
A következő, 2,2 km-es mélység esetén a sávós anomáliák már jól felismerhetők. Helyenként a sávós anomáliák

amplitúdója változik, ami köztetani változást és esetleg eltérő mélységet is jelent (15. ábra).

A sávok (16. ábra) csoportosíthatók, az egyik az Északi-középhegység ÉNy-i peremén található, a másik a legjelentősebb a Közép-magyarországi Zónában (Igal-Bükki zóna, flis zóna, Száva Egység) jelenik meg. E két csoport anomáliái a nagyszerkezeti NyDNY–KÉK iránynak megfelelően jelennek meg. A harmadik csoport alig azonosítható, mert a Szendrői-hegység, Tokaji-hegység és a Nyírség területén jelentkezik a miocén fedőandezitek elterjedési területén, és irányban a Kárpátok ívével mutat rokonságot. A harmadik csoport a baranyai szigethegységben megjelenő ívek jelentik, e hatók értelmezéséhez délen további, kiterjedtebb terület rész anomáliatérképének tanulmányozására lenne szükség, ami az országhatár miatt nem áll rendelkezésre.

Az 1–2 km-es mélység térképein (13–16. ábra) az összes felszínről is ismert bázisos vulkáni (metamorf) test kirajzolódik (Alpokalja, Kisalföld, Balaton-felvidék, Velence, Kurd, Hetvehely, Helesfa, Komló, Alsónána, Börzsöny, Pilis, Örkény, Tiszaalpár, Cserhát, Mátra, Tokaj, Nyírség).

A hosszan nyomon követhető anomáliák legteljesebben a 11,2 km-es mélység anomáliatérképén jelentkeznek (17. ábra). A felszíni vulkanitok kitörési központjainak, gyökérvonáinak hatása még jelen van, de már csak mély gyökérvonák formájában. A 11,2 km-es mélység mágneses anomália-térképe a Tokaji-hegység, a Velencei-hegység és a Kisalföld–alpokaljai (szombathelyi, sárvári, pásztori és hédervári) anomáliáktól eltekintve csak vonalas anomália rajzolatot



**18. ábra** | A 11,2 km-es mélység vonalas hatói (vázlatosan)  
**Figure 18** | Schematic map of magnetic causative bodies of 11,2 km depth



mutat, amit a hatók vázlatos helyzetével (18. ábra) jellemezhetünk.

A 27,7 km-es mélység mágnesebanomália-térképéről (19. ábra) szinte ugyanez elmondható, annyi különbséggel, hogy itt már a Tokaji-hegység nem látszik, és nyugaton, a szombathelyi és sárvári anomália összeolvad egyetlen anomáliává.

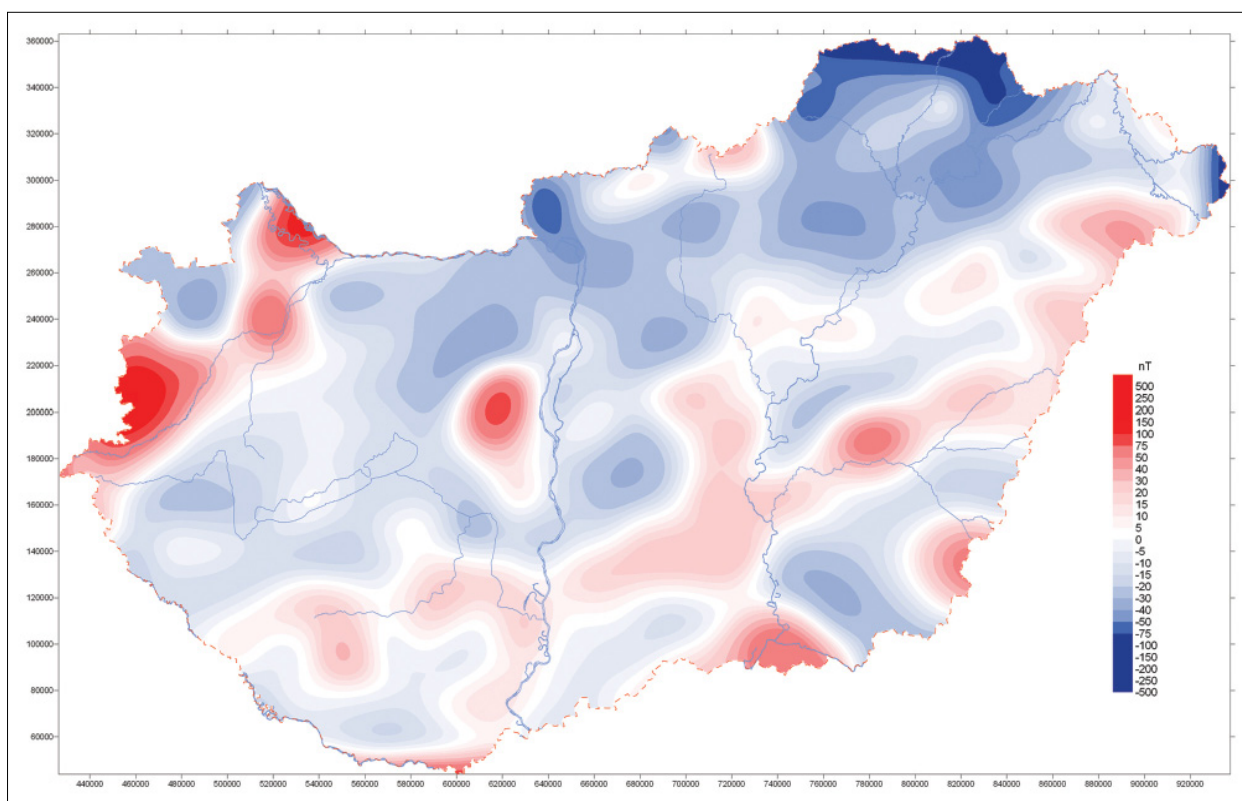
A 11,2–27,7 km-es mélységű vonalas anomáliák a földkéreg töréseit, az azok mentén jelentkező magmaanyagot, illetve metamorfózis hatására másodlagosan kialakuló bázisos kőzeteket jelzik. A 27,7 km-es mélység a mágnesezett-ség alsó határát jelenti (bázisos alsó-kéreg), azaz a legmélyebb hatók alsó peremét.

A szűrt térképek alapján megállapítható egyrészt, hogy a mélység növekedésével romlik a felbontóképesség másrészt, hogy a lokális izomorf anomáliaformák helyett a mélység növekedésével egyre inkább lineáris vonalszerű

formák lesznek mérvadók. Ez földtani szempontból azt jelenti, hogy a kezdeti (értsd felszíni) klasszikus vulkáni formákat a mélység növekedésével egyre inkább a szerkezet-eredetű vonalas hatások váltják fel.

A szűrt térképek statisztikai paraméterei (2. táblázat) megmutatják, hogy mely szinten, milyen hatások vannak. A legerősebb hatások, a szélsőértékek alapján, a felső két (1,2 km és 2,2 km-es) szinten jelentkeznek. Érdekes azonban, hogy a legalsó szint (27,7 km-es) hatása erősebb, mint a felette lévő (11,2 km-es) szint hatása a szélsőértékek alapján.

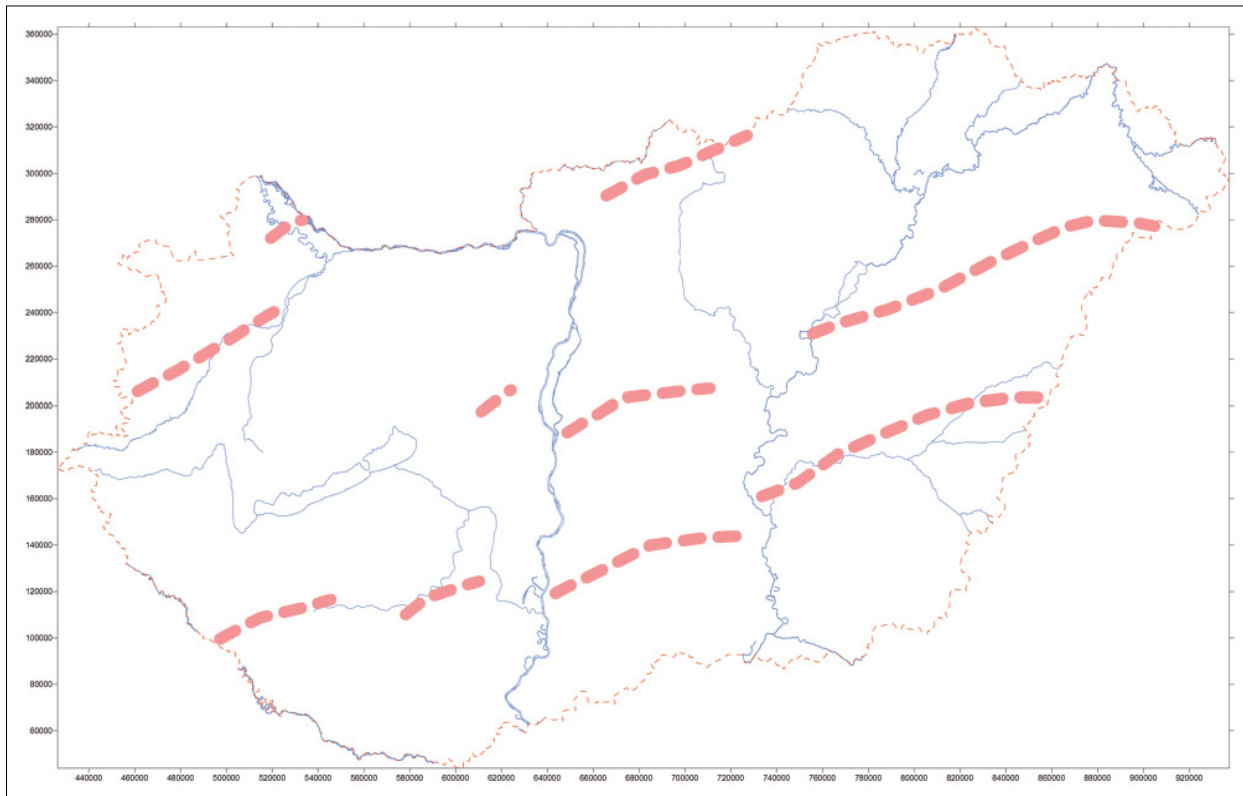
A 25%-os és 75%-os szint azt mutatja meg, hogy az anomáliatérkép értékeinek 50%-a (a fele), milyen értékhatárok közé esik. Az 1,2 km esetén ez a tartomány  $[-2,36 \div 1,96]$ , tehát 0 körüli szűk tartomány, míg a 27,7 km esetén ez a tartomány már  $[-18,18 \div 7,77]$ , egy sokkal szélesebb tartomány. Ebből az olvasható ki, hogy a felszínközeli nagy amplitúdójúak hatások lokálisan, nagyon kis területen je-



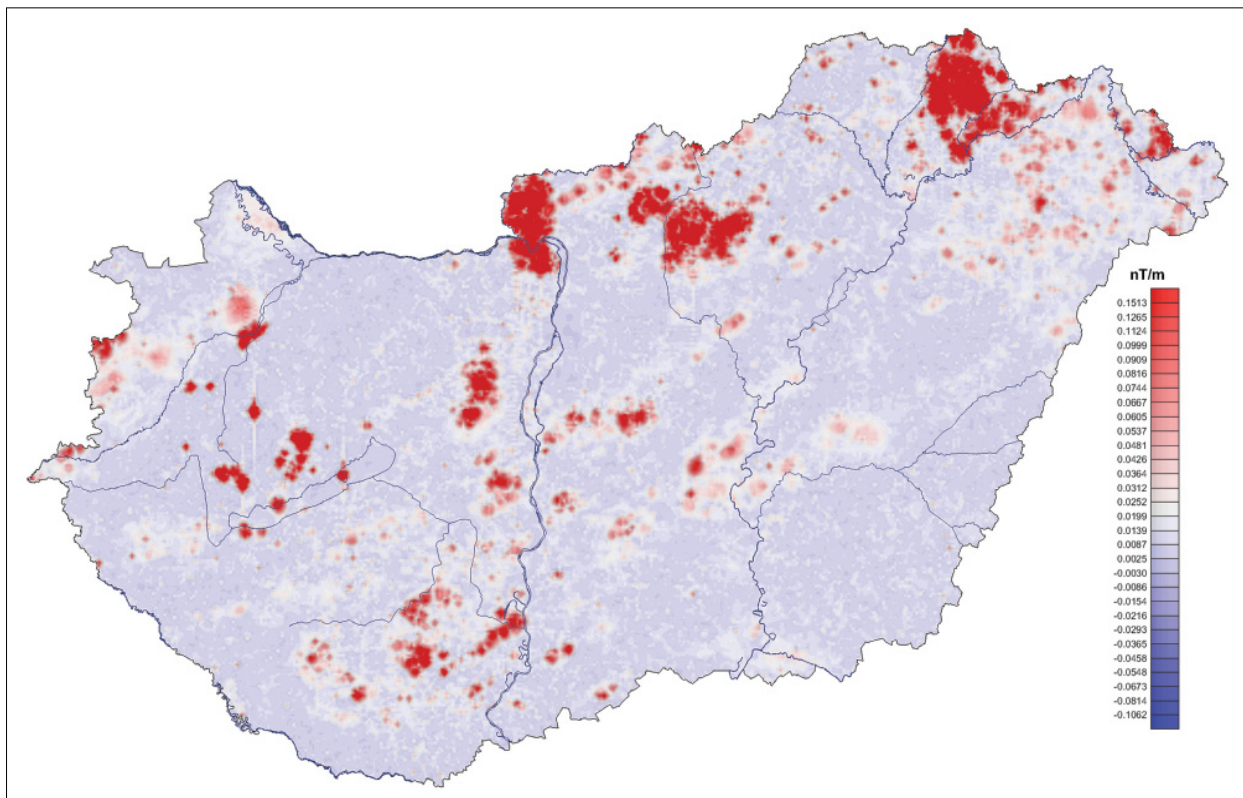
**19. ábra** | A 27,7 km-es mélység mágnesebanomália-térképe  
**Figure 19** | Magnetic anomaly map of 27,7 km depth sources

**2. táblázat** | A különböző szintek anomália térképeinek statisztikája

Hatásmélység	$H = 1,2$ km	$H = 2,2$ km	$H = 11,2$ km	$H = 27,7$ km
Paraméter				
Minimum	-1819,5966	-1466,6200	-127,7121	-220,9734
25%-os szint	-2,3643	-4,6439	-8,2537	-18,1888
Medián	-0,1825	-0,5459	-1,6069	-6,1204
Középérték	0,0020	0,0205	0,0583	-4,4628
75%-os szint	1,9615	3,4708	5,9882	7,7756
Maximum	772,4843	619,8793	204,1555	156,3937



**20. ábra** | A 27,7 km-es mélység vonalas hatói (vázlatosan)  
**Figure 20** | Schematic map of magnetic causative bodies of 27,7 km depth



**21. ábra** | Mágneses térgradienstérkép  
**Figure 21** | Magnetic analytical signal map (total gradient)

lentkeznek, és minél mélyebb a hatás, annál nagyobb az anomália felszíni megjelenése (a hullámhossza).

## Egyéb térképi feldolgozások, megjelenítések

A mágneses anomália térképből különböző származtatott térképeket is készíthetünk, érdemes ezeket is egy részét is megvizsgálni.

### Mágneses térgradienstérkép

A mágneses térgradiens- (vagy analitikus jel) térkép az eredeti mágneses  $\Delta T$  térkép irányderiváltjainak vektoros összeadásából születik. Ennek megfelelően nagyon érzékeny a felszínközeli hatásokra (21. ábra). A térgradiens alkalmazásával az eredeti vektortérnek a mágnesezettségi iránytól függő bonyolult anomália rajzolatát kiküszöbölhetjük.

A térkép vertikális irány szerinti integrálása egy burkoló felületet ad (22. ábra), ami a nagyfrekvenciás zajt némileg csökkenti, és a térképet a gravitációs térképhez teszi hasonlóvá – ahol az anomáliának maximuma van, ott (alatta) van a ható.

Az eredménytérkép behatolási mélysége hasonló a térgradiens térképéhez, de a nagyfrekvenciás jelek integrálása és a szinkulus miatt egy, a felszíntől számított nagyobb mélységtartomány hatása tükröződik vissza (lásd Velencei-

hegység, Alpokalja, Szeged és Turkeve környéke összevetésében).

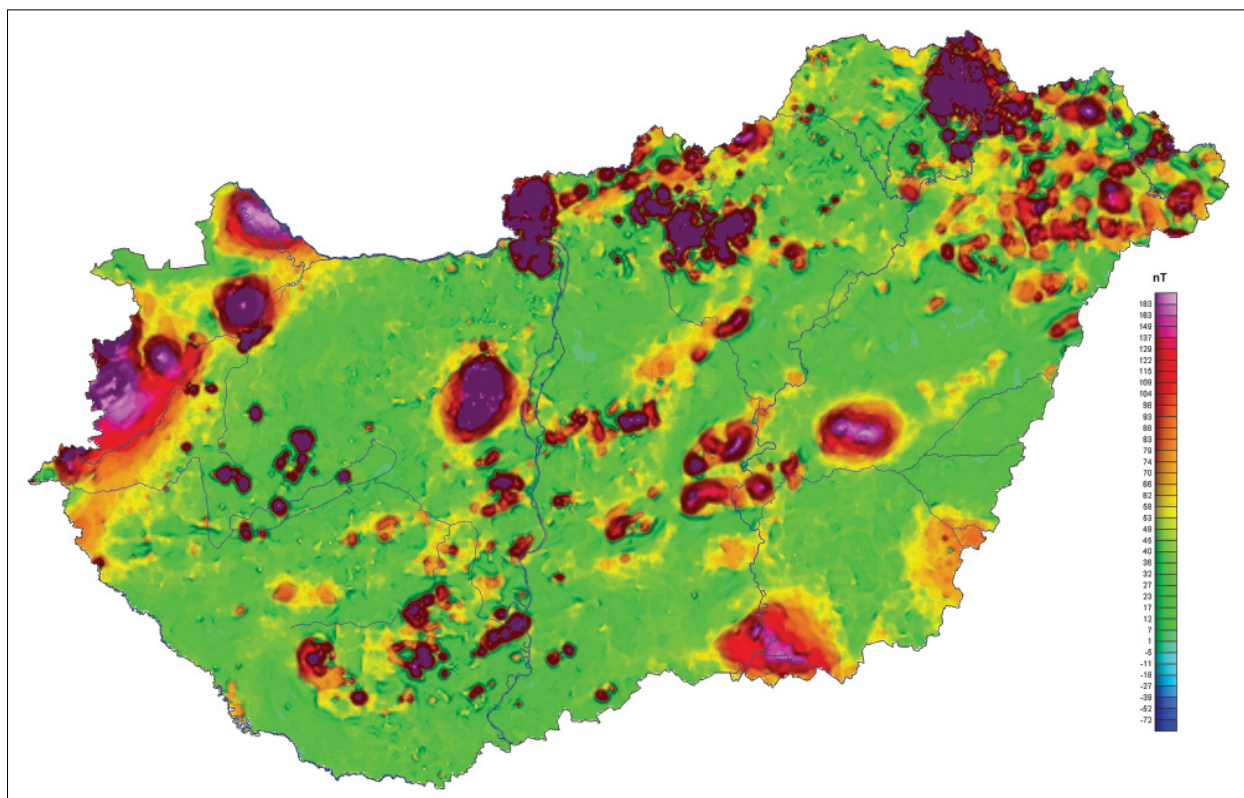
Minden ismert felszínközeli mágneses ható jól azonosíthatóan jelenik meg (pl. vulkáni hegységeink: Börzsöny, Cserhát, Mátra vagy Tokaji-hegység, Balaton-felvidék tanúhegyei), de a nagyobb kiterjedésű eltemetett hatók jelentős része is kirajzolódik (pl. Alpokalja metabazitjai, a Mecsek szerpentinitjei vagy a Nyírség eltemetett vulkáni képződményei).

Az Alföld mágneses vonulatainak egy része, a gyengén mágnesezett képződmények és a mély hatók eltűnnek, egy másik része, a felszínközeli hatók és erősen mágnesezett képződmények azonban jól azonosíthatók.

A mágneses kiértékelés szempontjából ennek a térképnek talán legfontosabb részlete a Nyírségben jelentkezik, ahol a térkép alapján az andezit-elterjedési kontúrja meghatározható.

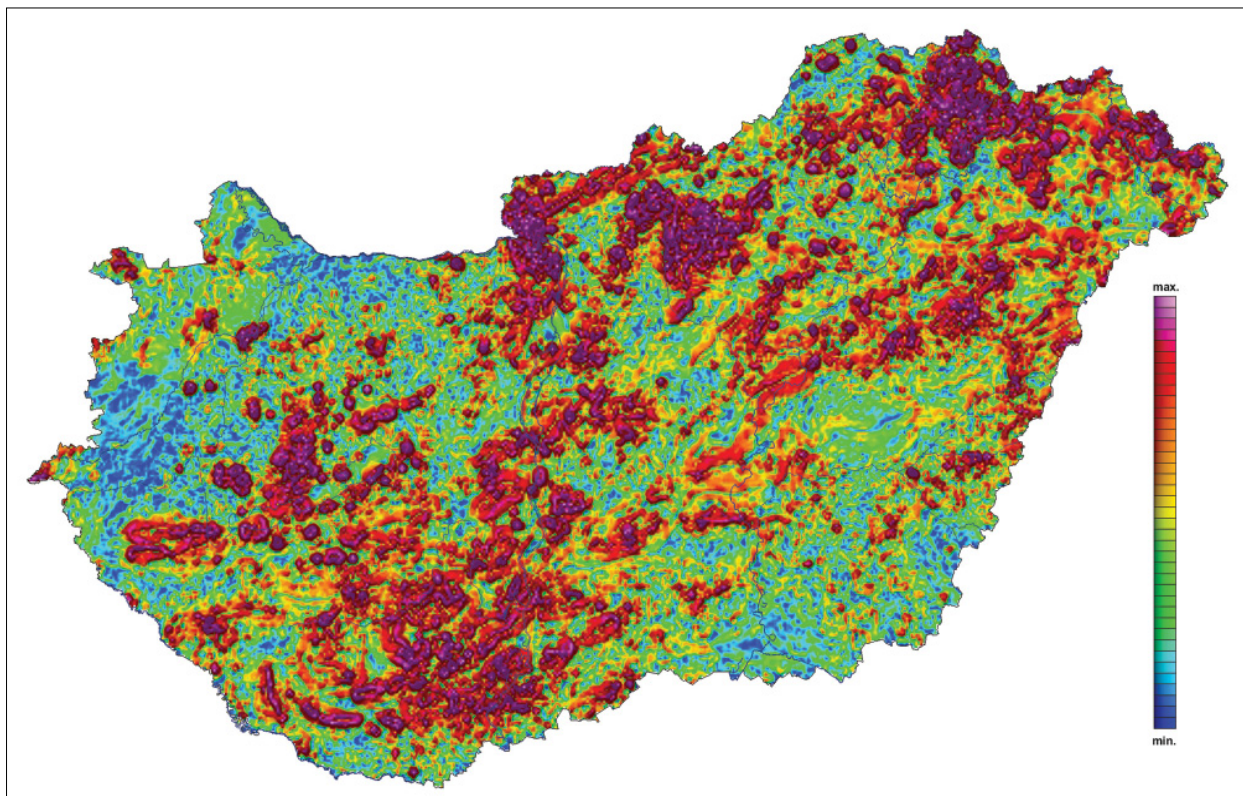
### Hullámszámtérkép

Az eljárás a spektrális vizsgálatokhoz kapcsolható transzformációs eljárás. Az anomáliák térfrekvenciával jellemezhetők, a hullámszám ennek az értéknek a  $2\pi$ -szerese. Az eljárás során minden egyes rácspontra meghatározzuk a hullámszám értékét, és azt jelenítjük meg (23. ábra). A feldolgozás a nagyfrekvenciára érzékeny (sajnos ilyen a mérési zaj is), a kisfrekvenciás, nagy hullámhosszúságú változó-

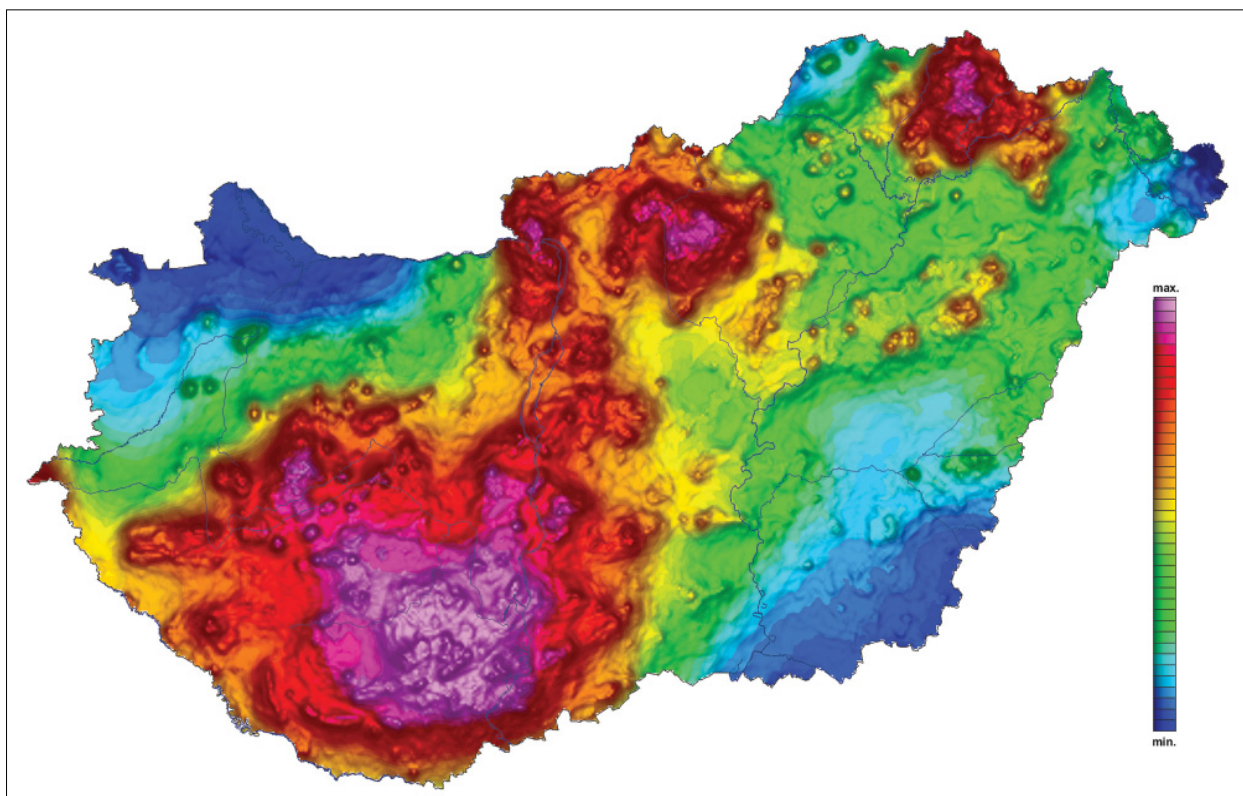


**22. ábra** | Mágneses térgradienstérkép vertikális integrálja – „polaritásmentes” anomáliatérkép  
**Figure 22** | Vertical integral of the analytical signal map – anomalies without „polarity defects”





**23. ábra** | A mágnesesanómália-térképből számított „hullámszám”-térkép – derivált jellegű térkép  
**Figure 23** | The „local wavenumber” map calculated from the magnetic anomaly map – derivative type map



**24. ábra** | A hullámszámtérkép vertikális integrálja  
**Figure 24** | Vertical integral of “local wavenumber” map

sokra nem érzékeny, azokat szinte nem is látja (a nagyfrekvenciás jel elnyomja a kisfrekvenciás, kisebb amplitúdójú jelet).

Érdekes rajzolatok látszanak a térképen, a Nagykanizsától É-ra megjelenő közel Ny–K-i irányú kettős anomáliavonulatok, amelyek körülbelül a Balatonig követhetők, ott keresztezik egymást. A Balatontól az É-i vonulat mintha D-i irányban folytatódna, Tamási és Szekszárd irányában, a kezdetben D-en lévő ág (iránya KÉK) viszont megszakad a pannon bazaltok által okozott ÉÉK-i irányú anomáliasornál (Badacsony–Kabhegy vonulat) és csak Veszprémtől látszik egy hasonló irányú anomáliavonulat (Litéri-törés), amely egészen a Velencei-hegységig követhető.

Innen a Budai-hegység–Pilis–Börzsöny vonulat (iránya a pannon bazaltos sávval azonos) szakítja meg ismét ennek az iránynak a menetét, hogy a diósjenői vonal mentén ismét megjelenjen a kezdeti KÉK-i irányítottság.

Az ilyen módon kirajzolódó vonal adja meg a határvonalat, a tanúhegyeket nem számítva az anomáliamentes Kisalföld–Dunántúli-középhegység területre és az anomáliákkal terhelt Dél-Dunántúl–Északi-középhegység–Észak-Alföld területre között. Dél-Alföld szintén anomáliamentes.

Ezek a jellegzetességek még jobban látszanak a hullámszám vertikális integráljának térképi megjelenítésén (24. ábra). Az integrálás egyfajta burkolófelületet ad, összegezve a felszínközeli hatások által okozott változásokat. Dél-Dunántúl meglehetősen érdekes képet mutat ezen a térképen,

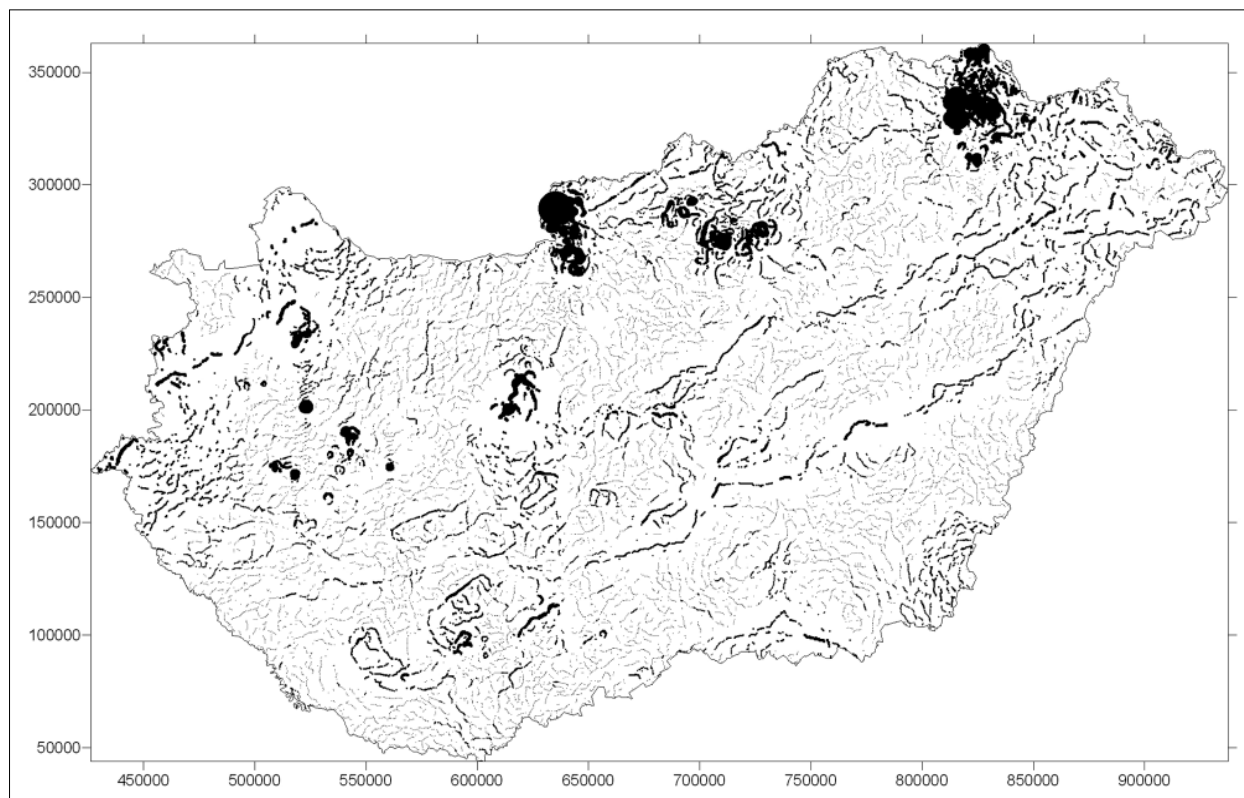
jelezve a miocén, kréta vulkanitok és a metamorfitek együttes elterjedését.

Kisalföld és a Nagyalföld D-i része anomáliamentes, az ott lévő, mélyen található mágneses anomáliákat a hullámszám-érték alapján már nem lehet azonosítani (ilyenek az Alpokalja metabazitjai és a Békési-medence bazaltos kőpeny diapírja).

### *Pseudogravitációs térkép és hatóperemek*

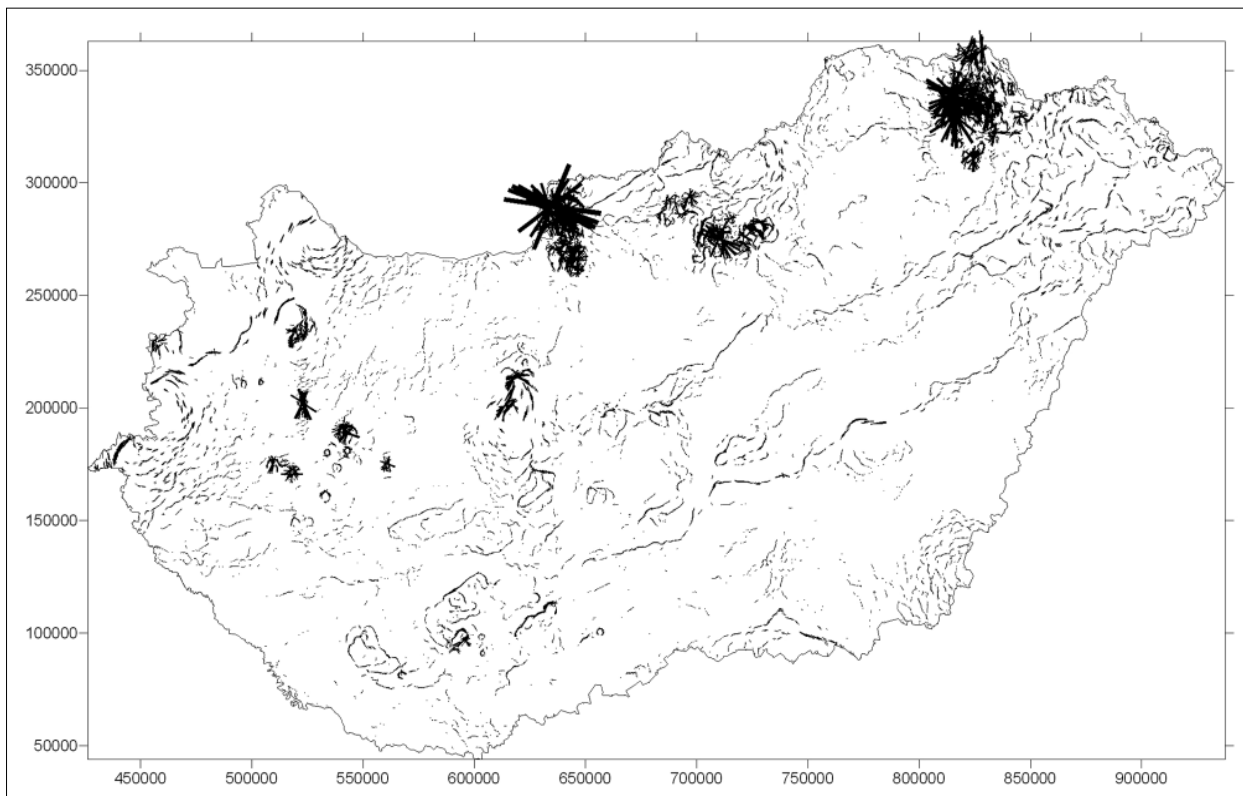
Az indukáló tér paraméterei alapján a mágneses  $\Delta T$  térképből pólusra redukáláson keresztül kiszámíthatjuk a pszeudogravitációs térképet (Eötvös–Poisson-összefüggés). Ezt úgy kell elképzelni, mintha a mágneses rendellenességet mutató képződmények gravitációs terét határoznánk meg a mágneses szuszceptibilitásból származtatott sűrűségparaméter alapján (mivel a nagy szuszceptibilitású ásványok sűrűsége is nagy). A kapott térkép egy gravitációs térkép (elvileg), a térkép alapján megjelenő maximumok erősen mágneses anyagot, mágneses hatót jeleznek (27. ábra).

A remanens mágnesezettség megjelenése rendkívüli módon megváltoztathatja ezt az ideálisnak mondható képet, mivel a reverz mágnesezettség hatására a maximális mágnesezettség pszeudogravitációs minimum formájában is megjelenhet, a pólusra redukáláskor használt hibás indukált mágnesezettségi irány miatt (Kiss 2009). Amikor a remanens és az indukált mágnesezettség összemérhető, akkor

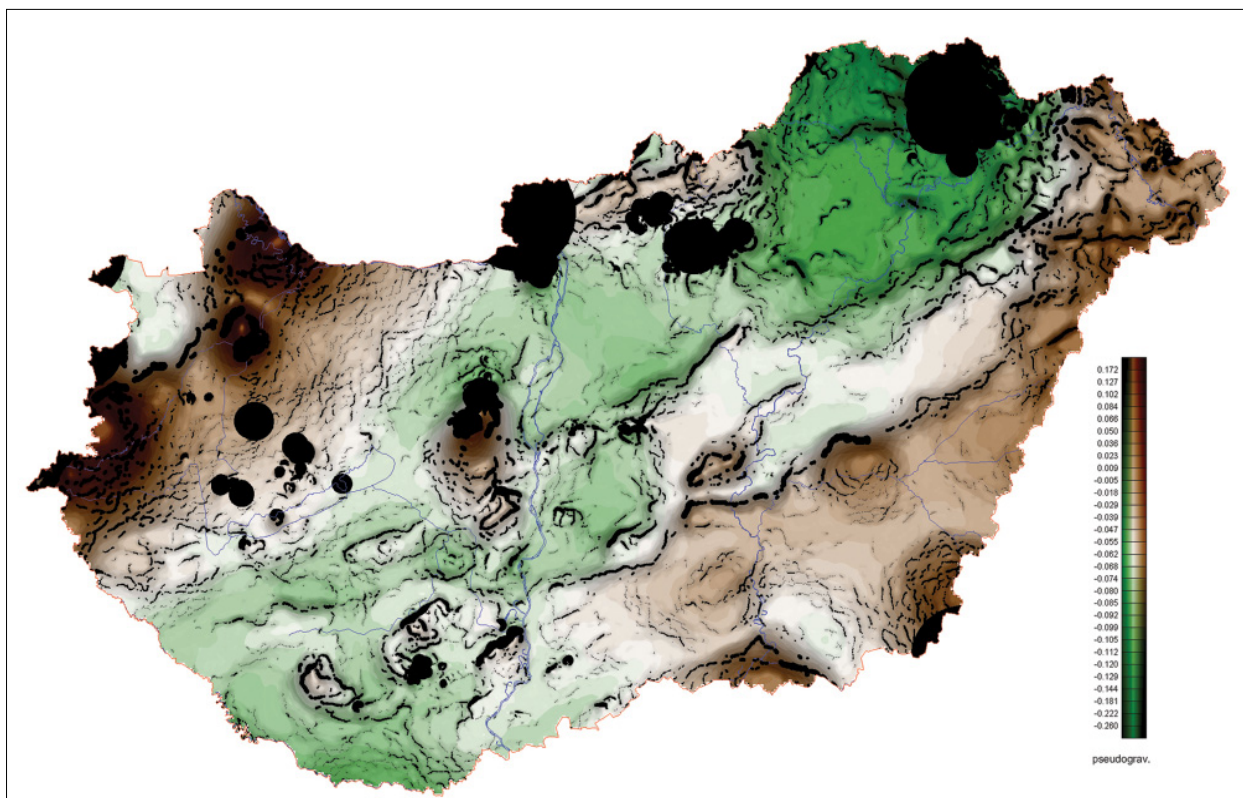


**25. ábra** | Mágneses hatóperem-kijelölés (pontoszerű megjelenítés)  
**Figure 25** | Magnetic boundary detection (point style presentation)



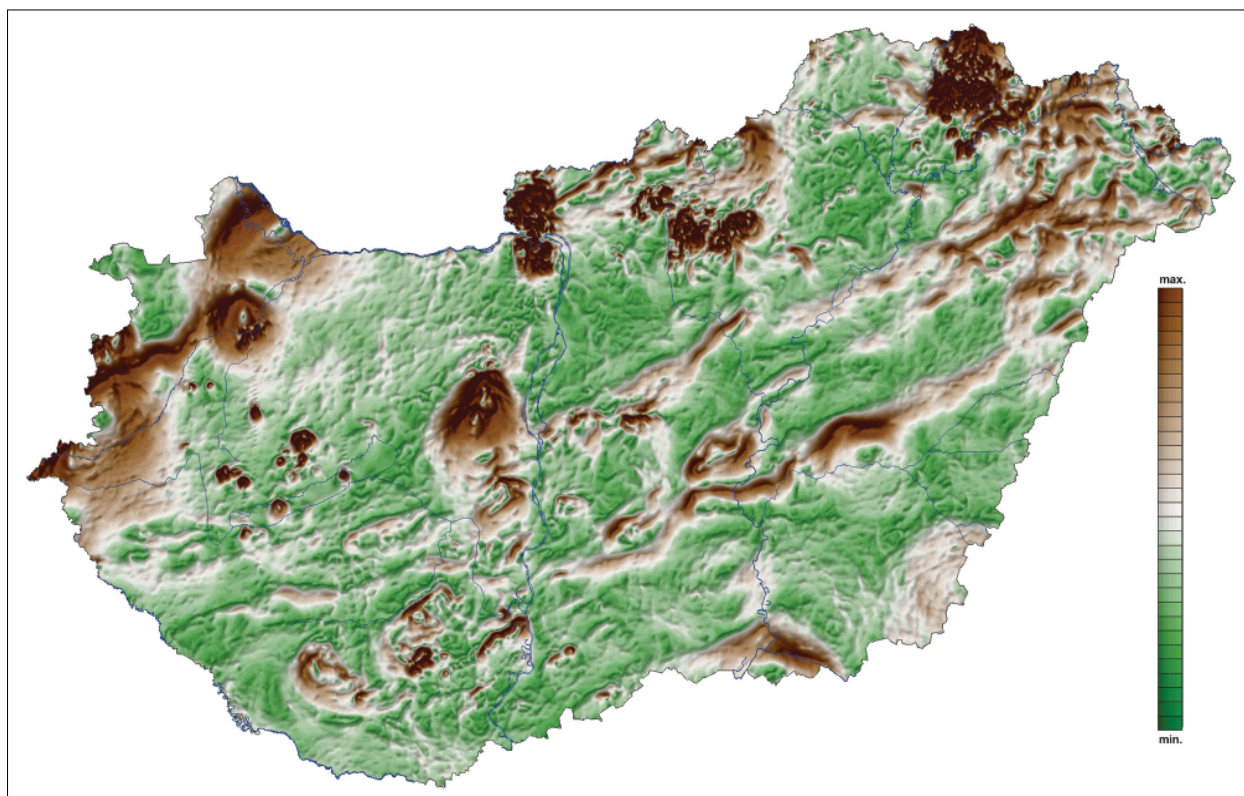


26. ábra | Mágneses hatóperem-kijelölés (vonalas megjelenítés)  
Figure 26 | Magnetic boundary detection (line style presentation)



27. ábra | Pseudogravitációs térkép a mágneses hatóperemekkel  
Figure 27 | Pseudogravity map with the symbols of magnetic boundary detections





**28. ábra** | A pszeudogravitációs térkép horizontális gradiense  
**Figure 28** | Horizontal gradient of pseudogravity

csak a mágnesezettségek pontos ismerete (eredő mágnesezettség) mellett érhető el jó pszeudogravitációs térkép.

A pszeudogravitációs térkép azért fontos, mert ez az alapja a digitális mágneses hatóperem kijelölésének. A hatóperem kijelölésénél kapott eredményeket megjeleníthetjük pontszerűen, ahol a pszeudogravitációs térkép horizontális gradiensmaximumai vannak amplitúdó szerint megjelenítve (minél nagyobb a gradiens, annál nagyobb a szimbólum, 25. ábra). A másik lehetőség, amikor a horizontális gradiens irányát is figyelembe véve, az amplitúdóval arányos hosszúságú pálcika van megjelenítve, amelynek az iránya a horizontális gradienssel derékszöget zár be, azaz nem a szerkezet (ható) dőlésiránya, hanem a csapásirány van megjelenítve (26. ábra). A vonalas megjelenítés szépen mutatja vulkáni területeken, pl. a Börzsöny- vagy a Tokaji-hegység területén a mágneses hatók „kaotikus” csillagszerű megjelenését.

A hatóperemek megjelenítése a pszeudogravitációs térképen jelzi a blokkhatárokat, míg a térkép színezése az összetartozó blokkokra utal (27. ábra).

A pszeudogravitációs térkép horizontális gradiensmaximumai látványosan jelzik a mágneses hatók helyzetét a lokális testek esetén, vagy azok peremét a kiterjedt, nagy méretű testek esetén (28. ábra).

A ráctávolság viszonylag nagy értékéből és a feldolgozási algoritmus érzékenységéből adódóan ez a térkép (28. ábra) az utolsó spektrális mélységtartomány hatóin kívül az összes mágneses ható megjelenik.

A Közép-magyarországi Zóna mindkét oldalán a pszeudogravitációs térkép horizontális gradiensének maximumvonalata húzódik (28. ábra), ami K-en a flis zóna határvonalát jelenti. Ennek a vonulatnak köszönhetően lehet a flis zóna lehetséges szerkezeti folytatását Ny-i irányban nyomon követni, kijelölni.

## Összefoglalás

Ebben a magyarországi mágneses adatok feldolgozásáról szóló első cikkünkben az anomáliateret vizsgáltuk, és spektrálanalízis segítségével az eltérő hullámhosszúságú anomáliákat szeparáltuk. A feldolgozás célja az eltérő hullámhosszúságú s ezért eltérő mélységű hatók és hatások elkülönítése volt: a jellemző hatómélységek kimutatása – és amennyiben lehetséges –, a hatások előzetes földtani beazonosítása.

A feldolgozások alapján négy mélységtartományt sikerült kijelölni. Az első és második mélységtartomány a felszíni és felszínközeli (max. 2 km mély) hatásokat jelzi: üledéktakarón áttörő vulkanitokat és medencealjzatként viselkedő metabazitokat. A harmadik és negyedik mélységtartomány anomáliái már kéregbeli mélyhatók, amelyek elsősorban szerkezeti jellegzetességet mutatnak.

Az első mélységtartományhoz (kb. 1 km-es mélység) tartozó hatások elsősorban lokális mágneses hatók. A 2 km-es mélységtartományban már a szerkezetekhez kapcsolódó vo-

nalas anomáliák is megjelennek, de még nem dominánsak. A 11 km körüli mélységben a hatások szinte mindegyike egy kitüntetett irányhoz tartozó vonalas jellegű anomália, amely vagy szerkezethez, vagy egy nagyobb blokk pereméhez köthető. Az anomáliák hatói már a kristályos medencealjzatban vannak. Ezeknek a kéregbeli hatóknak a helyzetük geodinamikai szempontból lehet fontos. Az utolsó mélységtartomány a 27 km körüli, ez már a Moho-mélységhez közeli érték, a bázisos alsó kéreg alsó szintje lehet. A kéreg felépítésétől és a geotermikus adottságoktól függő anomáliakép rajzolódik ki, elsősorban az ország DK-i, és ÉNy-i részén. Mivel anomáliákat csak a bázisos magmatitok és az azokból képződött átalakult metamorf kőzetek mutatnak, így a szubdukcióhoz kapcsolódó alkáli, mészkalkáli magmás tevékenység azonosítása a mágneses anomáliákon keresztül kulcs lehet a Kárpát-Pannon Régió kialakulásának és fejlődésének megértésében.

A spektrális vizsgálatok paraméterei a térképi feldolgozásokban is megjelenhetnek (pl. hullámszámtérkép), tovább bővítve az ismert térképi mágneses adatfeldolgozás lehetőségeit. A hatóperem-kijelölés – ahogy a gravitációs adatok esetében – a mágneses adatok esetében is látványos eredményt ad, de nem szabad elfelejteni a mágneszettségi paraméter bizonytalanságából származó hiba lehetőségét.

Ebben a tanulmányban (mágneses feldolgozási fázisban) még nem foglalkoztunk a hatások pontos közzétani beazonosításával, mert a hatások mélységi szétválasztása volt az elsődleges cél (persze néhány, elsősorban felszíni képződés esetén az azonosítás egyértelmű). A mélyfúrás adatok behatolási mélységük miatt csak az első, esetleg második mélységtartományt fedik le, tehát azoknak az anomáliáknak a földtani magyarázatát adhatják meg. Következő feladatunk a mágneses és mélyfúrás adatok összevetése alapján végzett értelmezés lesz.

A nagyobb mélységek földtani értelmezése esetén pedig – közvetlen földtani adatok hiánya miatt – maradnak a közvetett információkon alapuló következtetések.

## Köszönetnyilvánítás

Köszönet az OTKA-68475. sz. „Mágneses fázisátalakulás a földkéregben és geofizikai következményei” projektnek, amelynek keretében a mágnesség jelenségét vizsgáltuk részletesen és az OTKA-043100. sz. „Magyarország gravitációs lineamentstérképe” című projektnek, amelynek keretében a képfeldolgozási eljárásokat és a hatóperem-kijelölési eljárásokat vizsgáltuk, hatókijelölések céljából. Ezeket az eljárásokat alkalmaztuk és egészítettük ki a spektrálanalízissel ebben a cikkben is.

Az adatok az ELGI (az MFGI) mágneses adatbázisából származnak, a módszertani kutatások és fejlesztések az intézetünkben évek óta tartó erőtér-geofizikai módszertani munkáknak köszönhetőek, amelyek során felhasználtuk GEOSOFT programrendszert, valamint az Amerikai Geológiai Szolgálat (USGS) módszertani fejlesztéseit és nyílt kódú szoftvereit.

## A tanulmány szerzője

Kiss János

## Hivatkozások

- Ates A., Bilim F., Büyüksarac A., 2005: Curie point depth of Central Anatolia, Turkey. *Pure and Applied Geophysics* 162, 357–371
- Balla Z., 1982: Development of the Pannonian Basin basement through the Cretaceous-Cenozoic collision: a new synthesis. *Tectonophysics* 88, 61–102
- Barta Gy., 1952: Jelentés az országos mágneses mérés feldolgozásának eredményeiről. Kézirat, ELGI adattár
- Bhattacharyya B. K., 1966a: A method for computing the total magnetization vector and dimensions of rectangular block-shaped body from magnetic anomalies. *Geophysics* 31, 74–96
- Bhattacharyya B. K., 1966b: Continues spectrum of the total magnetic field anomaly due to rectangular prismatic body. *Geophysics* 31, 96–121
- Bektas Ö., Ravat D., Büyüksarac A., Bilim F., 2007: Regional geothermal characterisations of East Antalya from aeromagnetic, heat flow and gravity data. *Pure and Applied Geophysics* 164, 975–998
- Bhattacharyya B. K., Leu L. K., 1975a: Spectral analysis of gravity and magnetic anomalies due two-dimensionel structures. *Geophysics* 40, 993–1013
- Bhattacharyya B. K., Leu L. K., 1975b: Analysis of magnetic anomalies over Yellowstone National Park: Mapping and Curie point isothermal surface for Geothermal Reconnaissance, *Journal Geophysical Res.* 80, 4461–4465
- Blakely R. J., 1996: *Potential Theory in Gravity & Magnetic Applications*. Cambridge University Press
- Chiozzi P., Matsushima J., Okubo Y., Pasquale V., Verdoya M., 2005: Curie-point depth from spectral analysis of magnetic data in central-southern Europe. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 152, 267–276
- Cordell L., 1985: A stripping filter for potential field data. 55th Annual International Meeting, SEG, Expanded abstract, pp. 217–218
- Dunlop, D. J., 2007: *Rockmagnetism*. TOGP 5, 312
- Facsinay L., Szilárd J., 1956: A Magyar Országos Gravitációs Alaphálózat. *Geofizikai Közlemények* 2.
- Fowler C. M. R., 2005: *The Solid Earth*. 2nd Edition, Cambridge University Press
- Gabriel G., Dressel I., Vogel D., Krawczyk C. M., 2012: Depths to the bottom of magnetic sources and geothermal prospectivity in southern Germany. *First Break* 30, 39–47
- Haáz I., Komáromy I., 1966: Magyarország földmágneses térképe, a függőleges térerősség anomáliái. 500000-es nyomtatott térkép, ELGI kiadvány
- Király Á., Lenkey L., 2011: New Interpretation of the Old  $\Delta Z$  Anomaly Map of Hungary, 6th Congress of Balkan Geophysical Society, Budapest, October 3–6, 2011 (szóbeli előadás)
- Király Á., 2012: New Interpretation of the Old  $\Delta Z$  Anomaly Map of Hungary. *Magyar Földtudományi Szakemberek XI. Világtalálkozója (HUNGEO)*, Eger, 2012. augusztus 20–25. (szóbeli előadás)
- Kiss J., 2006: Magyarország gravitációs Bouguer-anomália térképe. *Geophysical Transactions* 45/2, 99–104
- Kis K., 2009: *Magnetic methods of applied geophysics*. Eötvös University Press, pp. 203–214
- Kiss J., 2009: Gravitációs és mágneses feldolgozások és modellezések a földtani környezet megismerése céljából, doktori (PhD) értekezés, NyME Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron

- Kiss J., 2012: A Kárpát-Pannon Régió Bouguer-anomáliatérképének frekvenciatartománybeli vizsgálata és értelmezése, *Magyar Geofizika* 53/4, 236–257
- Kiss J., Gulyás Á., 2006: Magyarország mágneses DZ-anomália térképe. M = 1:500 000-es nyomtatott térkép. ELGI kiadvány
- Kiss J., Szarka L., Prácer E., 2005: Second order magnetic phase transition in the Earth. *Geophysical Research Letters* 32, L24310, doi:10.1029/2005GL024199
- Kiss J., Zilahi Sebess L., Szarka L., 2011: A mágnesség jelensége és a Hopkinson-effektus, *Magyar Geofizika* 52/3, 151–169
- Kivior I., 1996: Theoretical aspects of the energy spectrum analysis method. In: *A Geophysical Study of the Structure and Crustal Environment of the Poldia Rift, South Australia*. Theses for degree of doctor philosophy, The University of Adelaide, Department of Geology and Geophysics, Australia
- Maus S., Gordon D., Fairhead D., 1997: Curie temperature depth estimation using a self similar magnetization model. *Geophysical Journal International* 129, 163–168
- Meskó A., 1983: A frekvenciatartomány felhasználása gravitációs és mágneses térképek lineáris szűrésében, *Magyar Geofizika* 24/2, 43–75
- Miranda J. M., Sila P. F., Lourenco N., Henry B., Costa R. & the Salandha Team, 2002: Study of the Salandha Massif (MAR, 36°34' N): Constrains from rock magnetic and geophysical data. *Marine Geophysical Researches* 23, 299–318
- Okubo Y., Graf R. J., Hansen R. O., Ogawa K., Tsu H., 1985: Curie point depth of the Island of Kyushu and surrounding areas, Japan. *Geophysics* 53/3, 481–494
- Phillips J. D., 2001: Designing matched bandpass and azimuthal filters for the separation of potential field anomalies. ASEG 15th Geophysical Conference and Exhibition, Brisbane
- Posgay K., 1962: A magyarországi mágneses hatók áttekintő térképe és értelmezése. *Geofizikai Közlemények* 11/1–4, 77–99
- Posgay K., 1966: A magyarországi földmágneses hatók áttekintő vizsgálata. Kandidátusi értekezés
- Posgay K., 1967: A comprehensive survey of geomagnetic masses in Hungary. *Geophysical Transactions* 16/4, 1–118
- Pospíšil L., Ádám A., 2006: Review of the Crust-Lithosphere Research in the Carpathians. In: J. Golonka and F. J. Picha (eds.), *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources*. AAPG Memoir 84, pp. 635–649
- Rozimant K., Büyüksarac A., Bektas Ö., 2009: Interpretation of magnetic anomalies and estimation of depth of magnetic crust in Slovakia. *Pure Applied Geophysics* 166, 471–484
- Rüdt C., Baberschke K., 2004: Sfb290 TP A2 UP II: ac-susceptibility in UHV, <http://www.physik.fu-berlin.de/~agbaberschke/sfb290/TPA2up2.html>
- Spector A., Grant F., 1970: Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics* 35/2, 293–302
- Sörös L., 2011a: General Geophysical Data Model, Basis for an Open Standard Geophysical Language. *Computers & Geosciences* (megjelenés alatt)
- Sörös L., 2011b: Geofizikai adatrendszerek szabványosítása, egységes geofizikai leírnyelv és adatbázis nagytömegű adatrendszerek kezeléséhez, doktori (PhD) értekezés, ME, Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola, Miskolc
- Sörös L., Kiss J., Fancsik T., Jánváriné Kántor I., Varga G., Madarasi A., Lendvay P., Detzky G., 2002: Az ELGI gondozásában lévő adatbázisok tételes ismertetése – Gravitációs és mágneses adatbázisok. *Földtani Kutatás XXXIX/3*
- Szabó Z., 2004: A gravitációs és földmágneses kutatások története Magyarországon. *Magyar Geofizika* 45/különszám, 3–21
- Syberg F. J. R., 1972: A Fourier method for regional-residual problem of potential fields. *Geophysical Prospecting* 20, 47–75
- Tanaka A., Okubo Y., Matsubayasi O., 1999: Curie point depth based on spectrum analysis of the magnetic anomaly data in East and Southeast Asia. *Tectonophysics* 306, 461–470
- Tanaka A., Ishikawa Y., 2005: Crustal thermal regime inferred from magnetic anomaly data and its relationship to seismogenic layer thickness: The Japanese islands case study. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 152, 257–266
- Vértesy L., 2002: Geofizikai adatbázisok az ELGI-ben, *Földtani Kutatás XXXIX/3*, 22–24



## Agocs-díj 2013

A díjat alapító Dr. William B. Agocs professzor szándéka szerint az Eötvös Loránd Tudományegyetem geofizika szakán megvédett, kiemelkedő színvonalú MSc, illetve PhD

dolgozatot lehet jutalmazni. Az Agocs-díj kuratóriuma egy PhD és két MSc dolgozatot talált jutalmazásra érdemesnek 2013-ben. A díjazott dolgozatok:

*Dr. Dombrádi Endre:* A pannon litoszféra deformációja és a hozzákapcsolódó tektonikus topográfia  
Témavezetők: *Prof. Dr. Sierd Cloetingh, Prof. Dr. Dimitrios Sokoutis*  
Társ-témavezetők: *Dr. Liviu Matenco, Dr. Bada Gábor*

*Tóth Ádám Zoltán:* Geofizikai méréseken alapuló hidrogeológiai modellezés a Tihanyi-félszigeten  
Témavezetők: *Dr. Galsa Attila, Mádlné Dr. Szőnyi Judit*  
Konzulens: *Dr. Simon Szilvia*

*Szegedi Nándor:* Áramlások termelés-geofizikai célú modellezése  
Témavezető: *Dr. Balázs László*  
Konzulens: *Dr. Galsa Attila*



Mezey Barna professzor, az ELTE rektora átnyújtja az Agocs-díjat dr. Dombrádi Endrének

A díjakat ünnepélyes keretek között a kuratórium elnöke, Dr. Mezey Barna professzor, az Eötvös Loránd Tudományegyetem rektora nyújtotta át a jutalmazottaknak 2013. szeptember 13-án. Az ünnepi alkalmon jelen voltak a kuratórium tagjai és a jutalmazottak által meghívott vendégek.

*Kis Károly*



Mezey Barna professzor, az ELTE rektora átnyújtja az Agocs-díjat Szegedi Nándornak



Mezey Barna professzor, az ELTE rektora átnyújtja az Agocs-díjat Tóth Ádám Zoltánnak

## In Memoriam Geofizikai Szolgáltató Kft. (1952 – 2013)

Mindnyájunkat megráz a hír, hogy a Geofizikai Szolgáltató Kft., közismert nevén GES végelszámolásra jutott. A hír még akkor is megdöbbentő, ha sokan tudtuk, hogy a vég nagy valószínűséggel elkerülhetetlen volt.

Sokan vannak közöttünk, még többen, akik már nincsenek közöttünk, akiknek a GES, illetve jogelődjei, a GKV és a GKÜ jóval több volt, mint a megélhetést biztosító munkahely. A GES a magyar alkalmazott geofizika fellegetvára, Eötvös Loránd hagyatéka, a szakmai tudás megszerzésének és kibontakoztatásának műhelye, a terepi helytállás lehetősége és végül, de nem utolsó sorban, szép emberi kapcsolatok kialakulásának színtere volt. Aki ezeket a szavakat emocionális túlzásnak tartja, menjen el a vállalat immáron üresen tátongó székházába, és nézze meg a folyosók falain talán még ott lógó fényképeket.

Manapság olyan időket élünk, amikor a vállalatok megszűnésének híre igazából már nem is hír. Egy vállalat megszűnésére mindig adódik legalább egy felszínes magyarázat. Némelykor „felelősök” is néven neveztetnek. A felelősök keresgélése a GES megszűnése miatt is folyik. Az egykori menedzsment, a tulajdonos, az állásukat veszítő munkavállalók egymásra mutogatnak. Érzelmi alapú megnyilatko-

zások és racionálisnak mondható önvédekezések keverednek, melyek eredőjeként a magyar olajiparhoz méltatlan események is megtörténtek.

Én, aki a GES utolsó másfél évtizedének történetét közelről, egy rövid időre belülről láttam, azt mondom, hogy a tragédiának felelősei nincsenek. Mind a három, most egymásra mutogató szereplő tette a dolgát legjobb tudása és szándéka mellett. Más kérdés, hogy mindnyájan, így együtt, végül elbuktunk. A GES tulajdonosa, menedzsmentje és munkavállalói nem vették észre, hogy a vállalatot körülvevő világ megváltozott. A megváltozott világ olyan kihívások elé állított bennünket, amelyeknek – együtt, mindhárman – nem tudunk megfelelni. Nézetem szerint a felelősök önmegmentető keresgélése helyett inkább a tanulságok levonása lenne célravezetőbb.

Volt itt egy vállalat. A mienk volt. Hozzájárult a magyar olajipar naggyá válásához, megállta a helyét határainkon kívül, Európában, Tunéziában, Irakban, Ománban, Törökországban is. Jöjjön el most az idő, amikor közös harcainkat „békévé oldja az emlékezés”!

Jó szerencsét!

*Szilágyi Imre*

A GES Felügyelőbizottságának elnöke (2000–2005)

A GES ügyvezető igazgatója (2010–2011)

## Emlékezzünk Dr. Barlai Zoltán szakmai életútjára!

Barlai Zoltán 1926. október 1-én született Lentiben.

Nagyapja Barlai Béla, Selmecebányán végzett kohómérnök, majd ugyanott főiskolai tanár volt. Édesapja, Barlai Ervin, Sopronban kapott erdészmérnöki oklevelet. Barlai Ervint mint neves szakembert az erdészek és faipari szakemberek még mindig számon tartják és ápolják emlékét. Ezt fejezi ki a 2008-ban leleplezett emléktábla is [1].

Az elemi iskola I–IV. osztályát Lentiben végezte, középiskolai tanulmányait a budapesti evangélikus (fasori) gimnáziumban kezdte (I–V. osztály), majd édesapja Munkácsra helyezése után a munkácsi Árpád fejedelem gimnáziumban fejezte be, ahol 1944-ben kitüntetéssel érettségizett. Itt orosz nyelvet is tanult, ami később nyilván megkönnyítette a kandidátusi orosz nyelvvizsga letételét.

Még ugyanazon évben felvették a József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem gépészmérnöki karára. Jelen minősítésű oklevelét 1950 júniusában kapta meg, ezután azonnal a Dunántúli Ásványolajipari Központ irányítása alatt álló kutatóvállalatnál helyezkedett el Nagykanizsán.

Itt, engedve tudásvágyának, valamint felhasználva a kínáló alkalmat [2], olajmérnöképzésben vett részt, amelynek eredményeként 1952-ben Sopronban jelesen képzett oklevelű olajmérnöknek nyilvánította a Nehézipari Műszaki Egyetem.

Munkába állásától kezdve érdekelte a mélyfúrás geofizika, a karotázsmérések elméleti háttere, technikája és kiértékelése. Már 1953-ban nagy volumenű átfogó tudományos közleménnyel jelentkezett, összefoglalva ebben az akkor ismert idevágó eredményeket, felvázolva a további lehetőségeket és központi témává téve a permeabilitás meghatározásának kezdetektől fogva bonyolult kérdéskörét.

Tehetségét látva az olajipar akkori főgeofizikusa, Dr. Scheffer Viktor kérésére Budapestre helyezik, ahol a mélyfúrás geofizika irányítója lett. Beosztását nagy felelősséggel fogta fel, erről tanúskodik 1957-ben megjelent, hosszabb lélegzetű összefoglaló jellegű munkája [4].

Ebben az időben már meghívott előadó volt Sopronban. Logikusan felépített és didaktikailag könnyen érthető, a figyelmet nagymértékben lekötő karotázis előadásai [5] oly lebilincselők voltak, hogy több hallgató pályaválasztását egész életükre kihatóan befolyásolták [6]. Ragyogó szakmai és pedagógiai képességeit felismerve őt küldte ki az olajipar vezetősége 1959-ben, hogy többhetes tanfolyamon oktassa az NDK későbbi interpretátorait. A kiképzés kompletten átfogta a kőzetek elektromos és tárolótulajdonságait, valamint azok fűrőlyukmérésekkel történő meghatározását [7].

Ugyanakkor részt vett a geofizikai szakmunkások képzésében is. Társszerzője volt „A mélyfúrás geofizikai szakmunkás” című oktatási jegyzetnek, amelyet Jesch Aladár szerkesztett, és amelyet mintegy 20 év múlva egy munkaközösség, melynek Barlai Zoltán ismét tagja volt, az olajipari és más geofizikai szakterületeken mutakozó érdeklődés ki-elégítésére is átdolgozva és kibővítve ismételtelen megjelentetett [8]. Egyetemi kéziratok közül kiemelendő a többször is kiadott értelmezési jegyzet [9].

Oktatói, tudományos rendszerező tevékenységének további bizonyítéka az 1971-ben megjelent kétkötetes monografikus jellegű munkája [36].

Barlai Zoltánt ezekben az években a következő nagy problémák foglalkoztatták:

- A mai szemmel nézve nagyon hézagos műszerpark miatt a porozitás meghatározása elsősorban az ellenállásmérésekre és az Archie-képletre támaszkodott. Törekedni kellett tehát az érintetlen kőzet ellenállásának minél pontosabb meghatározására, a fűrőlyuk, az iszap, az infiltrált zóna befolyásának csökkentésére.
- Archie 1942-ben még nem vezető (kvarc) szemcsékből álló és ezek pórusát kitöltő, elektromosan vezető (réteg-) vízből álló kőzetmodellel számolt. Az elképzelés finomításán számos geofizikus dolgozott. Barlai figyelme fokozatosan kiterjedt a szilárd kőzetváz ásványi összetételére, a szemcseméret eloszlására, a pórusvizek ionösszetételére és -tartalmára. E vonatkozásban számos közleménye jelent meg [10–12].
- Az ellenállásmérésben, különösen a nagy ellenállású tárolókban, jelentős előrelépést lehetett remélni az automatikusan fókuszált árammal dolgozó laterolog eljárástól, amelyet H. G. Doll 1950-ben javasolt. Barlai Zoltán munkatársaival néhány éven belül teljesen önállóan, alapjában új laterolog műszert fejlesztett ki, amelyre több szabadalmat is kapott [13, 14]. A laterolog szondacsatlád rövidesen a mérési választék állandó tagja lett. A laterolog műszereket az OGIL, a Gamma Művek, a Műszerkutató Intézet és az ELGI is gyártotta.
- Megemlítendő, hogy módszereket dolgozott ki egyes, az ellenállásmérések kiértékelésében fontos paraméterek (rétegvíz-ellenállás, formációfaktor, stb.) laboratóriumi meghatározására, és egy kis mérőrészeletet szervezett, amely hosszú évekig sok-sok adattal segítette az interpretációt.

A magyar olajipar vezetésében beálló változások miatt Dr. Scheffer Viktor Lipcsébe ment egyetemi oktatónak,



Barlai Zoltán pedig az OKGT Laboratóriumi Főosztályára került. Így az OKGT mint középírányító szerv hosszabb időre szeizmikus, geomágneses és gravitációs szakember nélkül maradt, a karotázs-műszerépítésben és kiértékelésben legtapasztaltabb szakteknitely pedig az operatív irányításon kívül rekedt.

Egyes javaslatait mégis elfogadták. Nagy gyakorlati előrelépés volt a tárolóretegek kategorizálása I-től IV-ig, amely tömör, de a kutatás más szakterületein dolgozók számára is gyors és biztos képet adott azok értékéről. (Pl. I. kategória: biztosan szénhidrogén-tároló, tárolási paraméterei – hasznos porozitás, telítettség stb. – meghatározhatóak, II. kategória: valószínűleg szénhidrogén-tároló, egyes rezervoármechanikai jellemzői nem vagy csak nagyobb hibával határozhatók meg, és így tovább<sup>15</sup>).

Rendeteg energiát fordított az ellenállásmérések modellezési feltételeinek megteremtésére, azonban nagy tervét, az „elektrointegrátort” anyagi eszközök híján nem tudta megépíteni [16, 32]. Másik nagy vállalkozását azonban siker koronázta. Fölsz Atilla matematikussal együtt kidolgozta a teljes laterolog eltérési görbesereget a Nehézipari Minisztérium kutatóközpontjában 1962-ben üzembeállított Elliot-803-as számítógépen. Sajnos ezek nyomdai kiadását ismét anyagi nehézségek gátolták, pedig ezt a segédletet az akkor már meginduló laterolog műszerexport feltétlenül igényelte volna.

Rendszeresen részt vett fejlesztési terepi kipróbálásában és ellenőrzésében. Jelen sorok szerzője, akkor a mérőcsoport vezetőként, több ízben segédkezett neki kísérleti szelvényezésekben, és profitált szakmai kommentárjaiból.

Közben gondot fordított a karbonátos összletek értelmezési problémáira is. Sokat foglalkozott az 50–60-as években feltárt új délnyugat-dunántúli mezőkkel [17]. E kérdéskörre, különösen a nyitott és zárt hasadékok kimutatására a későbbi években is többször visszatért [33, 34].

Aktív tagja volt a Magyar Geofizikusok Egyesületének. 1964–1966 között titkára, majd 1966–1978 között elnöke volt a mélyfúrás-geofizikai szakosztálynak.

1966-ben védte meg a műszaki tudományok kandidátusi értekezését [18], 1967-ben a Nehézipari Műszaki Egyetem Bányamérnöki Kara műszaki doktorrá avatja. 1974-ben akadémiai doktori fokozatot nyert [19].

Ezekben az években tudatosan törekedett arra, hogy munkássága a Magyar Tudományos Akadémia fórumain is megjelenjen, bár tudta, hogy szűkebb szakterülete ott kisebb érdeklődésre talál [10, 20, 21]. Részben ez utóbbi körülmény, részben teljesen apolitikus magatartása lehetett az oka annak, hogy bár tudományát elismerten és különösen magas színvonalon, alkotó módon művelte, nem lett akadémikus. Munkáját bizonyos fokig azért elismerték. 1976-ban a MTA Geofizikai Tudományos Bizottság elnökévé választották.

Az OGIL 1967-ben alakult meg az OKGT vállalataként. A Kútgeofizikai Osztályt Dr. Barlai Zoltán vezette, ez két részlegből állt: elméleti és értelmezési, valamint műszerfejlesztési csoportból.

Az elméleti és értelmező tevékenység három, egymással szoros kapcsolatban álló területre terjedt ki:

- elméleti, módszertani és alkalmazási kérdések,
- a tárolók legfontosabb közetfizikai jellemzői és a szelvényekkel mért paraméterek közötti kapcsolat,
- a szelvényértelmezés algoritmusai és annak gépi megvalósítása.

Az interpretáció mindig gyakorlatorientált volt és a hazai legfontosabb szénhidrogén-tárolókra (elsősorban az algyői telepekre) irányult.

Az összetett litológiájú tárolók értelmezésének kidolgozását többéves elméleti munka alapozta meg. A komplex karotázsértelmezés során az optimális, pszeudo- és mikrolaterolog szelvényekből a valódi ellenállást, valamint több porozitáskövető szelvény felhasználásával az effektív porozitást meghatározva szolgáltatották a rezervoárgeológia és a műveléstervezés számára a készletszámításhoz szükséges tárolóparamétereket.

A szelvényértelmezés fejlesztése kezdetben Hewlett-Packard gépeken folyt. Számos program készült egyes részfeladatok megoldására:

- szelvénykorrekciók,
- transzformációk,
- ellenállászámítás LL-szelvényekből,
- effektív porozitás, mészkőtárolóknál repedéses porozitás meghatározása,
- izovolparaméterek számítása.

Ezeket a munkákat TPA-70 számítógépre is átvitték. A programok a készülő interaktív karotázsértelmező rendszer (KER) előkészítését képezték. Megkezdték a mélyfúrás geofizikai adattár összeállítását is.

A műszerfejlesztési csoport legfontosabb eredményei ebben az időben:

- nagy nyomás- és hőtűrűsű szondafej és -csatlakozó,
- modern laterolog műszercsalád, kis érszámú és kétcsatornás laterolog műszertípus,
- nyitható-zárható karos szondarendszerek,
- akusztikus műszerek terén a cementlog szonda és felszíni mérő egység.

Ambiciózan dolgozott eredményeinek külföldi megismertetésén. Rendkívüli szaktudását mérlegelve az olajipar felsőbb vezetői több ízben lehetővé tették azt, hogy nagy nemzetközi rendezvényeken előadhasson, ill. részt vehessen [22–32]. Nevét a nemzetközi szaktudomány is fokozatosan megismerte, és eredményeit elismerte. Ezt igazolja, hogy önálló szerzője lett Crain, E.R. globális petrofizikai és mélyfúrás-geofizikai műve több fejezetének, más fejezetek összeállításában pedig közreműködött [35]. Közleményeire nemzetközi publikációkban is sokan hivatkoztak, a valóságot messzemenően megközelítő és földtani, rezervoármérnöki szempontból nagy hűséggel leíró közetmodellje az USA szakkörökben feltűnést keltett [47].

Barlai Zoltán karrierjét egy, a korra jellemző eset döntő módon befolyásolta: 1974 szeptemberében a Lengyelországban tartott geofizikai szimpózium fogadása után Barlai megszólta az OKGT egyik pártvezetőjét, aki ittas állapotban fel-

tűnést keltett. Az eset következménye az lett, hogy Budapesten az illetékes kerületi pártbizottság és a Külügyminisztérium összefogásával eljárást akartak indítani ellene, miszerint ő az Egyesült Államok ügynöke, aki kémtevékenységet folytat.

Bár a vádak bizonyíthatatlanok voltak, néhány hónapon belül leváltották osztályvezetői beosztásából, és egyre több nehézséggel kellett szembenéznie [56]. Ebben a szituációban Bese Vilmos, az OKGT volt vezérigazgatója – aki tudomással bírt a zaklatásokról – felajánlotta, hogy a Tesco külkereskedelmi vállalat révén líbiai álláshoz juttatja. Így került Tripoliba, ahol kezdetben az El Fateh Egyetemen a FORTRAN számítógépes programozási nyelvre oktatta a hallgatókat. Később szűkebb szakmájában elméleti munkát végezhetett, majd ugyanitt megalapította az olajipari tanszék (Faculty of Petroleum Engineering) szelvényértelmezési részlegét, mely azóta is működik [37]. Tovább művelte szűkebb szakterületét, munkájáról a legkompetensebb fórumokon számolt be [30–32, 38].

1982-ben visszajött Magyarországra, munkahelye most már a békásmegyeri SZKFI-ben volt, azonban itt nem érezte jól magát, így rövidesen az ELGI-ben állt munkába mint tudományos tanácsadó.

Itt kezdetben abban reménykedett, hogy a már korábban kiérlelt új műszerelképzeléseit megvalósíthatja, pl. az anizotrópiaszondát [34]. Sajnos erre nem került sor [51]. Az ELGI karotázserőtelmezési munkáinál rendkívüli szaktudását és olajipari tapasztalatait a lehetségesnél kisebb mértékben hasznosították. Kivétel persze akadt [52].

1984–1988 között előadásokat tartott az ELTE-n a mélyfúrási geofizika egyes speciális kérdésköreiről és az új eredményekről.

Külföldi hallgatóknak graduális és posztgraduális képzés keretében 1986–1990 között angol nyelven adott elő. Aspiránsvezető is volt, a jelölt sikeresen megvédte kandidátusi értekezését.

Szakmai tudása, kedves, de határozott fellépése tekintélyt vívott ki a hallgatók körében. Különösen a külföldi hallgatók között volt népszerű, sokszor az előadások után is hosszan beszélgetett velük, szivarfüstjének jellegzetes illata bejárta a tanszéket (nem mindenki öröme).

Szakmai kapcsolatot épített ki a tanszék kollégáival, új módszerek, eszközök kifejlesztésére közös kutatásokat kezdeményezett. Értő módon ismerte a legújabb eredményeket, kedvet csinált a közös munkához.

Magas szintű oktatói tevékenysége elismeréseként a művelődési miniszter 1986-ban címzetes egyetemi tanárrá nevezte ki. Ennek a megbecsülésnek nagyon örült, ugyanakkor egyéb (állami, munkahelyi) kitüntetéseit nem tartotta számon.

Nagyrészt az ő ösztönzésére és tevékeny közreműködésével alakult meg 1988 novemberében a Society of Petrophysicists and Well Log Analysts (SPWLA) Budapest Chapter, melynek első elnöke lett [39]. A Budapest Chapter két év múlva már megrendezhette a 13. Európai Mélyfúrási Geofizikai Szimpóziumát és Műszerkiállítását is, amelyen 17 országból 247 résztvevő 47 előadást hallhatott. Barlai természetesen mindkét alkalommal előadó volt [40, 42]. A világszervezet magyar részlege azóta is aktívan működik.

1991-ben kéri nyugdíjazását. Indokai, mint írja: „életkorom, 65 év, és Intézetünk nehéz gazdasági helyzete”. Ugyanakkor felajánlja, hogy: „a nyugdíjaztatás folyamán és utána is igyekszem segíteni Intézetünket és szakembereinket külföldi munkalehetőségek megteremtésével”.

Ezt követően, 1992 márciusától, kihasználva a szabad külföldi munkavállalás lehetőségét, korábbi aspiránsa, B. A. Belgasem segítségével, Barlai Zoltán négy munkatársával már Tripoliban, a Petroleum Research Centre-ben (PRC) dolgozott. A PRC-beli magyar csoport feladata volt egy, a geofizikai méréseken alapuló számítógépes értelmezési rendszer kidolgozása és alkalmazásba vétele, az elért eredmények átadása a PRC szakembereinek, hogy azok az értelmezési rendszert használni tudják [37].

Az elkészült FlexInLog programrendszert a PRC vezetője és Barlai Zoltán 2000-ben mutatta be a Tripoliban első ízben megrendezett szelvényértelmezési szimpóziumon. A rendezvényen 30 előadásból négyet a Barlai-csoport tagjai tartottak. A több részegységből álló program a karotázsméréseket egy rendszer egészének tekinti, amelynek lényeges komponense maga a megismerni kívánt közettér. A közös alkotó, a közettér miatt a mérésfajták nem függetlenek egymástól, tehát a *rendszerdinamika* matematikai algoritmus előnyösen alkalmazható. A jó eredmények eléréséhez alapos geológiai, geofizikai tudásra van szükség.

A FlexInLog software *flexibilis*, mert alkalmazkodik a ténylegesen mért szelvényekhez, ezért régebbi adatok feldolgozása is lehetséges, valamint *integrált*, mivel az értelmezési eljárást magokon mért adatokkal, rétegvizsgálati eredményekkel és leművelési információkkal állandóan finomítják. Az algoritmus statisztikai és valószínűségi alapon túlhatározott, sztochasztikus jellegű, ami lehetőséget ad a számított eredmények pontosságának fokozására, az output eredmények pedig meghaladják az elsődleges feladatként determinált paramétereket.

Barlai Zoltán és a magyar csoport 2002. március 31-én fejezte be líbiai munkáját. A helyi jogszabályok szerint ugyanis Líbiában külföldi munkavállalókat csak 70 éves korukig foglalkoztathattak. Ekkor ő már 75 éves volt.

Budapesten saját otthonában is aktívan dolgozott, és állandó munkakapcsolatot tartott líbiai és magyar kollégáival egészen haláláig. Ennek keretében több bonyolult értelmezési feladatot oldott meg. Tevékenységének folytatásáról egy késői szabadalmi bejelentése is tanúskodik [44].

Utolsó éveiben egy nagy összefoglaló művön dolgozott, amelyben a szelvényértelmezést már teljesen probalisztiikus szemlélettel építi fel. E könyv iránt az SPWLA (USA) vezetősége is nagy érdeklődést mutatott, ezért munkatársai vizsgálják a könyv kiadhatóságát [48].

A FlexInLog rendszert is állandóan továbbfejleszti, számos új mérést (Sonic Array Tool, Microimages, Nuclear Magnetic Resonance, Dual Dipmeter Tool, etc.) vonva be az input adatokba [45, 46].

Dr. Barlai Zoltán 2013. május 28-án hunyt el.

Dr. Deres János  
E-mail: jderes@deresconsult.hu

*A szerző megjegyzése:* Dr. Barlai Zoltán gazdag szakmai életútjának fenti rövid összefoglalására az iránta érzett tiszteleten túl számos kollégájának biztatása és támogatása sarkallt. Ajánlom a fiatalabb geofizikus nemzedékeknek, hogy tanulmányozzák, hasznosítsák komplex szemléletét, mélyen szántó problémafelfogását, becsüljék meg eredményeit. Meggyőződésem, hogy nevének említése nélkül nem beszélhetünk vagy írhatunk a magyar mélyfúrás geofizika történetéről, de hiányos az a tankönyv vagy disszertáció is, amelyik e tárgykörben munkáját mellőzi.

A szakmai összefoglalót záró hivatkozás- és irodalomjegyzék korántsem teljes, mélyebb érdeklődés esetén bővíthető.

Munkámat számos szóbeli és írásos információ segítette. Ezek közül ki is kell emelnem Ribiczei Péter támogatását, aki azt is lehetővé tette, hogy Dr. Barlai Zoltán személyes, hivatalos irataiba is betekinthessek.

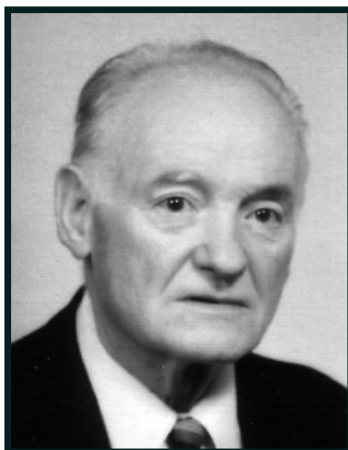
## Hivatkozások

- [1] Erdészeti Lapok CXLV. évf. 1. szám (2010. január)
- [2] Bánya- és Energiaügyi Minisztérium 5500/1950 Nip. M. sz. rendelet
- [3] Barlai Zoltán: Olajtároló kőzetek permeabilitásának meghatározása az elektromos szelvényekből. I–II–III. Megjelent a Bányászati Lapok 86., 1953. évfolyamának három egymást követő számában (7–8–9)
- [4] Barlai Zoltán: A mélyfúrás geofizika jelenlegi helyzete és fejlesztésének szempontjai a hazai kőolajbányászat területén. In: Szurovy Géza (szerk.): A kőolajkutató és feltárás módszerei Magyarországon. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1957, pp. 104–153
- [5] Barlai Zoltán: Olajkutató furások elektromos szelvényeinek kiértékelési problémái. Felsőokt. Jegyzetell. Váll. 1954
- [6] Suba Sándor szíves közlése
- [7] K. Lehnert, S. Fricke, D. Steinbrecher: Chronik der Bohrlochmessung im Osten Deutschlands. Gommern 2007
- [8] Jesch Aladár (szerk.): Alapfokú mélyfúrás geofizikai ismeretek. Magyar Geofizikusok Egyesülete kiadványa. 1968, 1978
- [9] Barlai Zoltán: Mérés adatok feldolgozása és értelmezése a szénhidrogén-kutatás és termelés mélyfúrás geofizikai vizsgálatainál. Nehézipari Műszaki Egyetem, Bányamérnöki Kar (Miskolc) 1966
- [10] Barlai Zoltán: A mélyfúrás geofizika jelenlegi helyzete és fejlesztésének szempontjai a hazai kőolajbányászat területén. In: Szurovy Géza (szerk.): A kőolajkutató és feltárás módszerei Magyarországon. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1957, pp. 104–153
- [11] Barlai Zoltán: On Some Error Sources of Electrical Well Logging. In: Acta Technica Academiae Scientiarum Hungaricae, Tomus XXX, fasciculi 1–2. Budapest, MTA 1960, pp. 169–206. (Series Geodaetica at Geophysica, Tomus 2, Fasciculi 1–2)
- [12] Barlai Zoltán: A homokból, homoklisztből és agyagból összetett szénhidrogén-tároló homokkővek geofizikai jellemzői. Magyar Geofizika 1969, 10/2–3–4, 122–127
- [13] Barlai Zoltán, Márkösi Gábor, Kubina István: Method and apparatus for logging boreholes. GB930073 (Nagy-Britannia)
- [14] Barlai Zoltán, Márkösi Gábor, Kubina István: Improvements in well logging apparatus. GB939757 (Nagy-Britannia)
- [15] Markó László és Suba Sándor szíves közlése
- [16] Barlai Zoltán: Ekvivalens műföld-hálózatok elmélete és alkalmazása az elektromos karotázs műszerkutatókban; az ekvivalencia mátrix jelentősége. Magyar Geofizika 1963, 4/1–2, 63–69
- [17] Barlai Zoltán: Karbonátos szénhidrogén-tárolók karotázs vizsgálatának módszerei. Bányászati és Kohászati Lapok 1965, 5, 335–354
- [18] Barlai Zoltán: Szénhidrogéntároló agyagos homokkőrétegek mélyfúrás geofizikai vizsgálatának fejlesztése az elektromos szelvényezés módszereivel. Kandidátusi értekezés, 1965
- [19] Barlai Zoltán: A kőolaj és földgáztároló homokkővek karotázs paramétereinek és interpretációjának általános elmélete. Doktori értekezés, 1971
- [20] Barlai Zoltán: A mélyfúrás geofizika hozzájárulása, lehetőségei a geofizikai–geokémiai megfigyelő hálózathoz. In: MTA X. Osztályának Közleményei, No. 2. Magyar Tudományos Akadémia, 1968, 56–59
- [21] Barlai Zoltán: A nagy kőzetliszttartalmú neogén homokkővek mélyfúrás geofizikai paramétereinek. In: MTA X. Osztályának Közleményei, No. 2–4. MTA, 1971, 243–260
- [22] Barlai Zoltán: New methods for the evaluation of quantitative well-logging of sandstone and shaly-sandstone layers taking reference layers into consideration. In: VII. World Petroleum Congress, Proceedings, V. 2. Mexico City, Mexico, 1967. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, New York, pp. 765–775
- [23] Barlai Zoltán: Well logging parameters of hydrocarbon-bearing sandstone composed of sand, silt and shale: Evaluation of water saturation, porosity and grain-size distribution. In: SPWLA 10th Annual Symposium, Transactions, 1969. Megjelent még: Log Analyst 11/2, 3–22
- [24] Barlai Zoltán: Well logging parameters of hydrocarbon-bearing sandstones composed of sand, silt and shale: Evaluation of water saturation, porosity and grain-size distribution. Log Analyst 1970, 11/2, 3–22
- [25] Barlai Zoltán: Some principal questions of well-logging evaluation of hydrocarbon bearing sandstones with a high silt (and clay) content: Experience gained by the field application of a new method. SPWLA 11th Annual Symposium, Transactions 1970, 1–64
- [26] Barlai Zoltán: Some principal questions of well logging evaluation of hydrocarbon-bearing sandstones with a high silt and clay content: Experience acquired by the field application of a new method. SPWLA 12th Annual Symposium, Log Analyst 1971, 12/3, 7–30
- [27] Barlai Zoltán: A new theory of the well logging characteristics of hydrocarbon-bearing sandstones. In: SPWLA 13th Annual Logging Symposium, 1972, Tulsa, pp. 1–61
- [28] Barlai Zoltán: A review of the status of the basic well logging and interpretation methods applied in Hungary. In: SPWLA 14th Annual Logging Symposium, 1973, Lafayette, pp. 1–28
- [29] Barlai Zoltán: Effects of fine grains and shale laminate of well log evaluation of the hydrocarbon-bearing neogene sandstones in Hungary. In: 3rd European Formation Evaluation Symposium of the SPWLA, 1974, London, pp. 1–46.
- [30] Barlai Zoltán: Determination of permeability and specific surface area of the pore channels from well logs in fine grained sandstones. In: 17th Annual SPWLA Symposium, Denver, 1976, pp. 1–46



- [31] Barlai Zoltán, Mawla Reda A., Sadoon Faleh Al: A study of the relationship between two intrinsic reservoir parameters, the lithological influence factor and the pore geometrical factor. In: 19th Annual SPWLA Symposium, El Paso, New Mexico, 1978
- [32] Barlai Zoltán: Theory of equivalent artificial earth networks and their application in electric well logging. In: SPE (Society of Petroleum Engineers), 53rd SPE Symposium, Houston, 1978, pp. 1–6.
- [33] Barlai Zoltán, Dorcsi Géza, Réz Ferenc, Ribiczey Péter, Vámos Attila: Method of and apparatus for carrying out measurements on open and closed fractures in a hard rock formation pierced by a borehole, EP 0343744 A3
- [34] Zoltan Barlai, Geza Dorcsi, Ferenc Rez, Attila Vamos: Method of and apparatus for microelectric measuring of inhomogeneities on the walls of boreholes for use in well logging, US 4931736 A
- [35] Zoltan Barlai: 1. Lithology from Principal Components Analysis, 2. Calculating Lithology by Statistical Models. 3. Lithology / Mineralogy from Probabilistic Models (Guest Chapters). In: Crain's Petrophysical Handbook
- [36] Barlai Zoltán: Fűrőlyukban végzett geofizikai vizsgálatok speciális problémái. I–II. kötet. NIM Műszaki Dokumentációs és Fordító Iroda, 1971
- [37] Ribiczey Péter és Kelemen Zoltán szíves közlése
- [38] Zoltan Barlai: Some theoretical aspects of how to correlate well log-evaluated data to core-determined reservoir properties. SPWLA 20th Annual Logging Symposium, 1979
- [39] Budapest Chapter Opened. The Log Analyst 1989. ápr.–máj. pp. 112–113
- [40] Barlai Zoltán, Réz F., Vámos A.: Determination of fracture permeability log vs depth from the MicroLambda fracture log. In: Transactions of the Thirteenth European Formation Evaluation Symposium: Budapest Chapter of the Society of Professional Well Log Analysts. Budapest, 1990.10.22–1990.10.26.
- [41] Barlai, Z., Rez, F., and Vamos, A., 1990, Analysis of fractured reservoirs by the COMWELL-B.R. system aided by the Microlambda fracture-finder technique, paper G. In: International well logging symposium transactions: Society of Professional Well Log Analysts, Beijing Chapter, 54 p.
- [42] Belgasem, B.A., Barlai, Z., and Rez, F., Interpretation of well logs in the oil-bearing reservoir, Nafoora-Augila Field, Libya, paper OO, in 13th European formation evaluation symposium transactions: Society of Professional Well Log Analysts, Budapest Chapter, 23 p.
- [43] First Symposium on Well Log Analysis & Formation Evaluation. 29–31 Oct. 2000, Tripoli–Lybia
- [44] Barlai Zoltán, Csontos Péter: Eljárás és szoftver heterogén olaj/gáz tároló mezők szénhidrogén-tartalmának a fűrőlyukszelvényben vagy a kútban mért új multikomponens porozitás meghatározáson alapuló jobb becslésére. P 08 00336 szám, 2008
- [45] Barlai Zoltán: New petrophysical models in the FlexInLog well log analysis system to evaluate reservoir characteristics, Sw, So, K. Introduction of Fuzzy Logic functions in the model setup. In: Proceedings of the 7th mediterranean Petroleum Conference, Tripoli, Libya, 2002.
- [46] Barlai Zoltán, Kelemen Zoltán: A FlexInLog kútszelvényértelmező rendszer matematikai-kőzetfizikai alapelvei. In: Magyarhoni Földtani Társaság, Geomatematikai Szakosztály Symposiuma, Szeged, 2003 május.
- [47] Fertl, W. H. szóbeli közlése
- [48] Csontos Péter szíves közlése. A kézirat eddig nem került elő.
- [49] Szarka László: Geofizika az Akadémián 1949–2005. Magyar Geofizika 46/3, 127–135
- [50] Z. Barlai, N. A. Berruin, R. A. Mawla: Determination of capillary displacement pressure and representative average capillary pressure vs. depth in shally sandstones from well logs. Essential Technical Papers, 1927–1984 SPWLA
- [51] Vincze János szíves közlése
- [52] Barlai Zoltán, Zilahi-Sebess László, Szigeti Gábor: Porozitás és áteresztőképesség, akusztikus és sűrűség paraméterekkel való összefüggésének vizsgálata a Szeghalom-31-es mélyfúrás kúdgeofizikai adatai alapján. Kézirat, 1991, ELGI
- [53] Az OGIL-ban folyó munkák leírása Bessenyei Irén szíves közlésén alapul
- [54] Oktatói tevékenysége leírásánál dr. Drahos Dezső segített
- [55] FlexInLog. User Requirements Document. Technica Overseas Ltd. Sept. 2002 Calgary
- [56] Markó László és Vámos Attila szíves közlése

**Dr. Siposs Zoltán,**  
**a Magyar Geofizikusok Egyesületének tagja**  
**1926–2013**



**Dr. Siposs Zoltán**  
**1926–2013**

Dr. Siposs Zoltán a Magyar Geofizikusok Egyesületének szenior tagja 2013. július 12-én elhunyt.

Nyugodjék békében!

*Szerkesztőség*

**Dr. Egerer Frigyes,**  
**a Magyar Geofizikusok Egyesületének tagja**  
**1936–2013**

Egerer Frigyes 1936. augusztus 9-én Miskolcon született. Itt végezte iskoláit, és itt is érettségizett 1956-ban a Kilián György Gimnáziumban. Érettségi után a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen tanult tovább, és az egyetem Bányamérnöki Karán okleveles bányageológus mérnökként szerzett diplomát, amelyet később iparjogvédelmi szakvizsgával egészített ki.

Tanulmányainak befejezése után, 1961-ben az Észak-magyarországi Földtani Kutató-Fúró Vállalatnál helyez-

kedett el, majd 1962-től 1964-ig Miskolcon a Borsod-megyei Tanácsi Tervező Vállalat talajmechanikusaként dolgozott. 1964-től az MTA Bányászati Munkaközösségének tudományos munkatársa, később főmunkatársa. 1970-től a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem (majd a Miskolci Egyetem) Ásvány- és Kőzettani Tanszékének óraadó tanára, 1972-től docense, 1997-től egyetemi tanára és 1987-től nyugdíjba vonulásáig tanszékvezető egyetemi tanára.

1971-ben megszerezte a földtudomány kandidátusa fokozatot.

Főbb kutatási területei az ásványok szerkezeti és fizikai tulajdonságaihoz, a kőzet szennyezettséghez és a víz–kőzet kölcsönhatáshoz kapcsolódó témák voltak. Széles nemzetközi kapcsolatai az USA-tól Grúziáig terjedtek.

Szakkönyvek, tankönyvek sorát írta, publikációinak száma meghaladta a 80-at, ezeknek több mint harmada külföldön jelent meg.

Tevékenységét többször is kitüntetéssel ismerték el, így pl. megkapta a Földtani Kutatás Kiváló Dolgozója, illetve a Munka



**Dr. Egerer Frigyes**  
1936–2013

Érdemrend Bronz Fokozata kitüntetését.

Több szakmai szervezet tagja volt, illetve számos szakmai bizottságban tevékenykedett (pl. az MTA Geokémiai, Ásvány- és Kőzettani Tudományos Bizottságában vagy az MTA Miskolci Területi Bizottságában).

Prof. Dr. Egerer Frigyes bányageológus mérnök, nyugalmazott egyetemi tanár 2013. szeptember 4-én hunyt el.

Nyugodjon békében!

*Szerkesztőség*



# Rendezvénynaptár

2013. október		
2013. okt. 7–10.	BGS2013 – a Balkán Geofizikai Egyesület 7. kongresszusa (www.eage.org; mailto: eage@eage.org)	Tirana, Albánia
2013. okt. 16.	Új Utak 2013 – Geotermikus potenciálfelmérés, modellezés, hasznosítás	MFGI konferenciaterem, Budapest, Stefánia út
2013. okt. 29.	<i>Komlósi Zsolt</i> : Mit keres egy közgazdász az olajiparban? – a BOK rendezésében	MBFH előadóterem, Budapest, Columbus u.
2013. november		
2013. nov. 5.	„Régészeti geofizika” – konferencia a térképező geofizikai módszerek régészeti alkalmazásáról	MFGI díszterem, Budapest, Stefánia út
2013. nov. 7.	„Régészet: pillantás a múltba” – AGS Herbstkolloquium (www.geophysik.at)	Bécs, Ausztria
2013. nov. 8–9.	VII. Országos Középiskolai Földtudományi Diákkonferencia – a Miskolci Egyetem, az MBFH és az MFT rendezvénye (fold1.ftt.uni-miskolc.hu)	Miskolci Egyetem Miskolc
2013. nov. 26–28.	International Workshop on Geomechanics & Energy (www.eage.org)	Lausanne, Svájc
2014. február		
2014. febr. 25–27.	Európai nem hagyományos készletek – SPE/EAGE konferencia és kiállítás (www.eage.org)	Bécs, Ausztria
2014. március		
2014. márc. 10–13.	DGG – a Német Geofizikai Társulat 74. évi közgyűlése	Karlsruhe, Németország
2014. április		
2014. ápr. 21–25.	Mérnökgeofizika 2014 (www.eage.org)	Gelendzsik, Oroszország
2014. ápr. 23–25.	Fourth EAGE CO2 Geological Storage Workshop (www.eage.org)	Stavanger, Norvégia
2014. június		
2014. jún. 16–19.	76th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2014 – az EAGE éves kongresszusa és műszerkiállítása (www.eage.org)	Amszterdam, Hollandia

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

Kakas Kristóf





## Magyar geofizikai kutatások Kínában (1956–1961) Felfedezték a ma is legnagyobb kínai olajmezőt

