

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

BALÁZS A.^{1,@}, VISNOVITZ F.¹, V. SPIESS², FEKETE N.², TÓTH ZS.², HÁMORI Z.³, KUDÓ I.³,
HORVÁTH F.¹

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

²Department of Geosciences, University of Bremen, Klagenfurter str., 28359 Bremen, Germany

³Geomega 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 közeleinek 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 többcsatornás 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 többcsatornás szeizmikus szelvényekkel. Ezek azt mutatják, hogy a Száki, Somlói és Tihanyi Formációk egy progradáló deltarendszer üledékképződési környezetét reprezentálják. 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 Szák, 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.

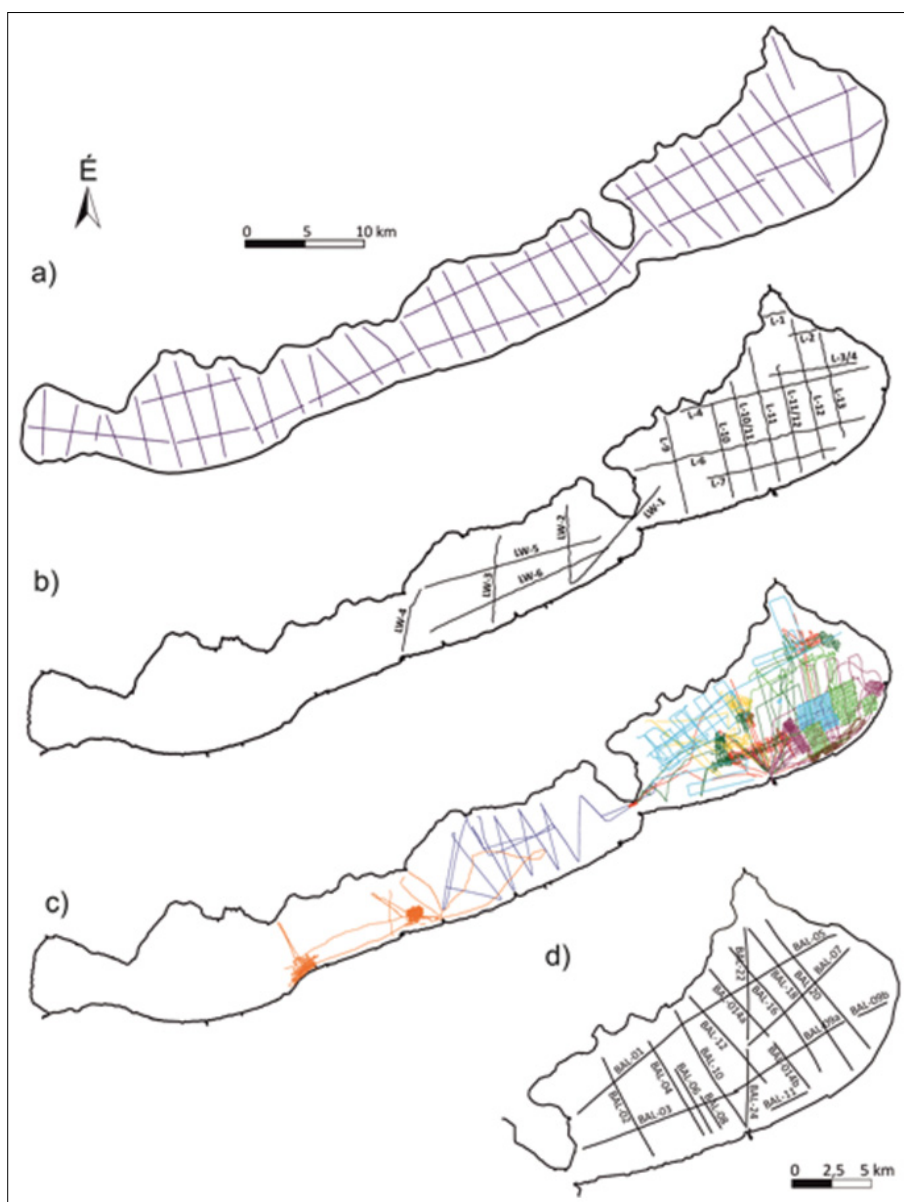
Beérkezett: 2013. július 2.; *elfogadva:* 2013. augusztus 16.

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 többsatornás 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

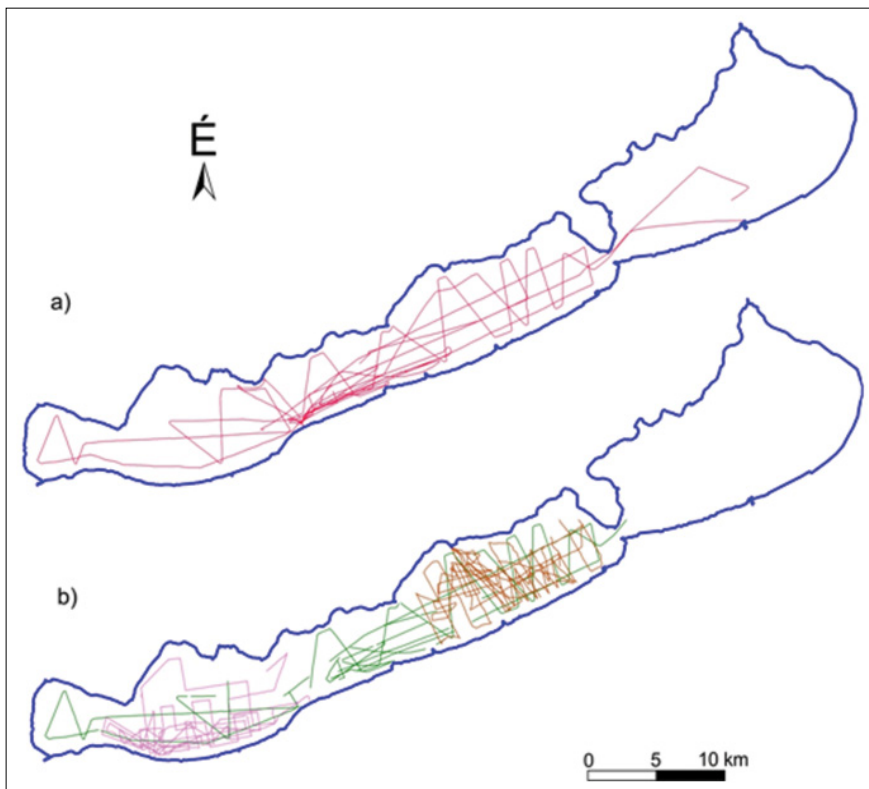
	MÁFI kubai–magyar expedíció	ELTE olasz–magyar mérések	ELTE Seistec™ mérések	ELTE német–magyar többsatornás mérés
Mérés éve	1987–1989	1993	1997–2007	2005
Forrás	sparker és boomer	boomer	boomer	G.I. gun és watergun
Mért szelvényhossz (km)	373	190	700	250
Felbontás (m)	0,5	1	0,1	1–2
Behatolási mélység (ms)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

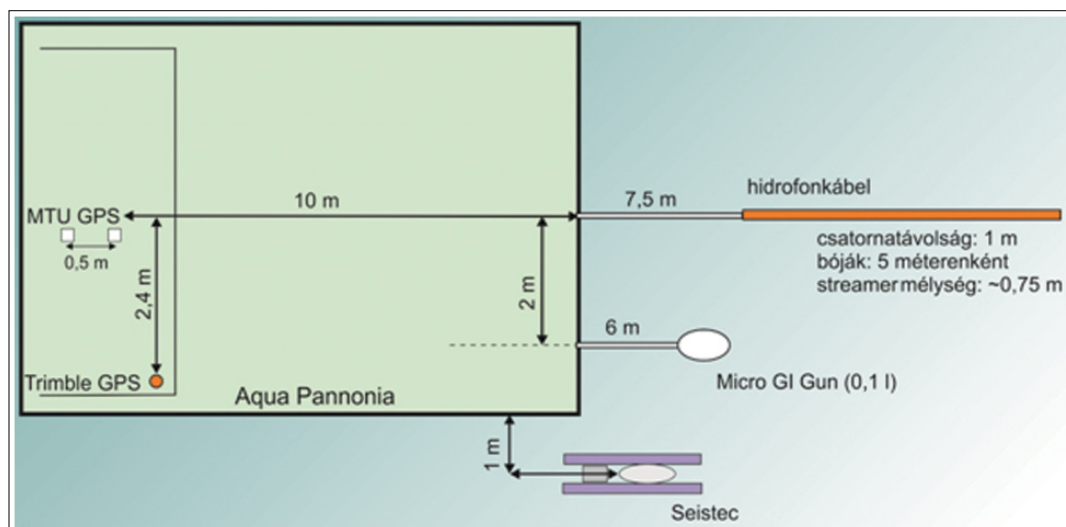
zöme a tó keleti medencéjére terjedt ki, addig az új mérések szinterei a nyugati medencerészek voltak. Az új szeizmikus vonalak helyszínrajza a 2. ábrán látható.

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 többszornás 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 többszornás 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 többcsatornás 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 hidrofonból 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 kisülése generálja. A kisüléskor létrejövő köráram a fémlapban ellentétes irányú örvényáramot hoz létre. Ez az örvényáram a fémlapot hirtelen ellöki a tekercstől, 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).

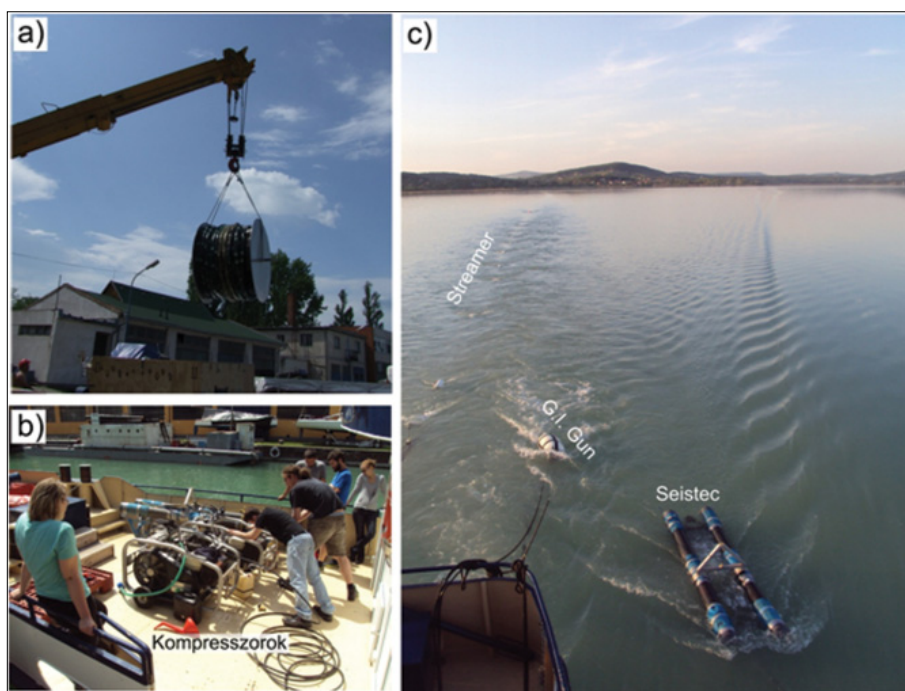
A szeizmikus mérőműszer kisebb mérete miatt a méréseket egy kisebb és könnyen navigálható hajóról végezhattük, amely a regisztrálás folyamán átlagosan 1–2 m/s-os sebességgel haladt. A Seistec™ szelvényeknél 0,01 ms mintavételi közzel 50 ms-os felvételeket készítettünk. A 2012. májusi kampány során az egycsatornás és a többcsatornás 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 többcsatornás lövést és regisztrálást.

A többcsatornás 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 robbanásszerű 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.

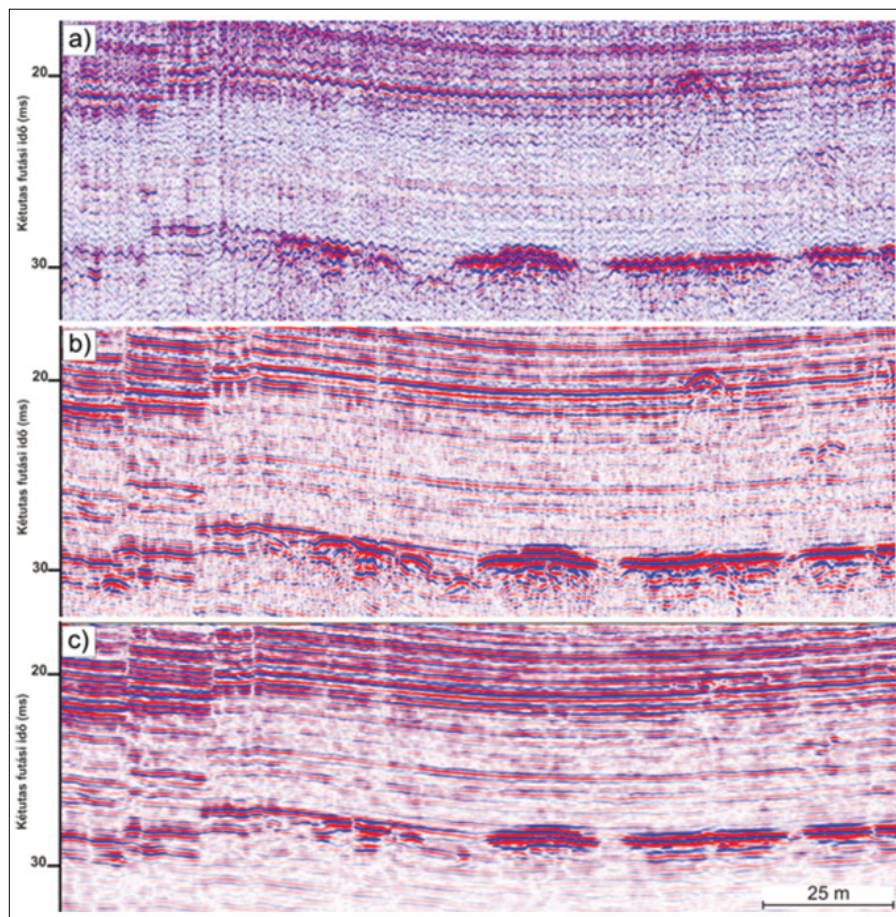
A mért adatokat a mérési kampány ideje alatt a Vista feldolgozó szoftverrel, majd a végleges feldolgozást a ProMAX programmal hajtottuk végre. Az egycsatornás felvételek feldolgozása néhány egyszerű lépéssel kivitelezhető (Balázs 2011). A nyers szelvényeken amplitúdókorrekciókat, sávszűrést, esetenként 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 többcsatornás 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

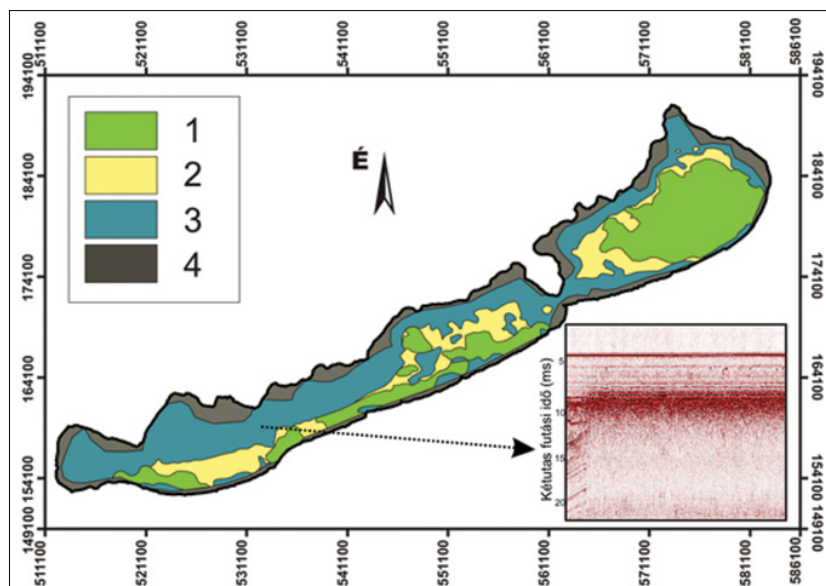


5. ábra Hullámozó vízben regisztrált SeistecTM szelvény részlete a), a feldolgozott és a hullámlás hatásának eltávolítása után kapott szelvény b), a szelvény migrált változata c)

Figure 5 Raw SeistecTM 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 = mérsékelt gáz 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

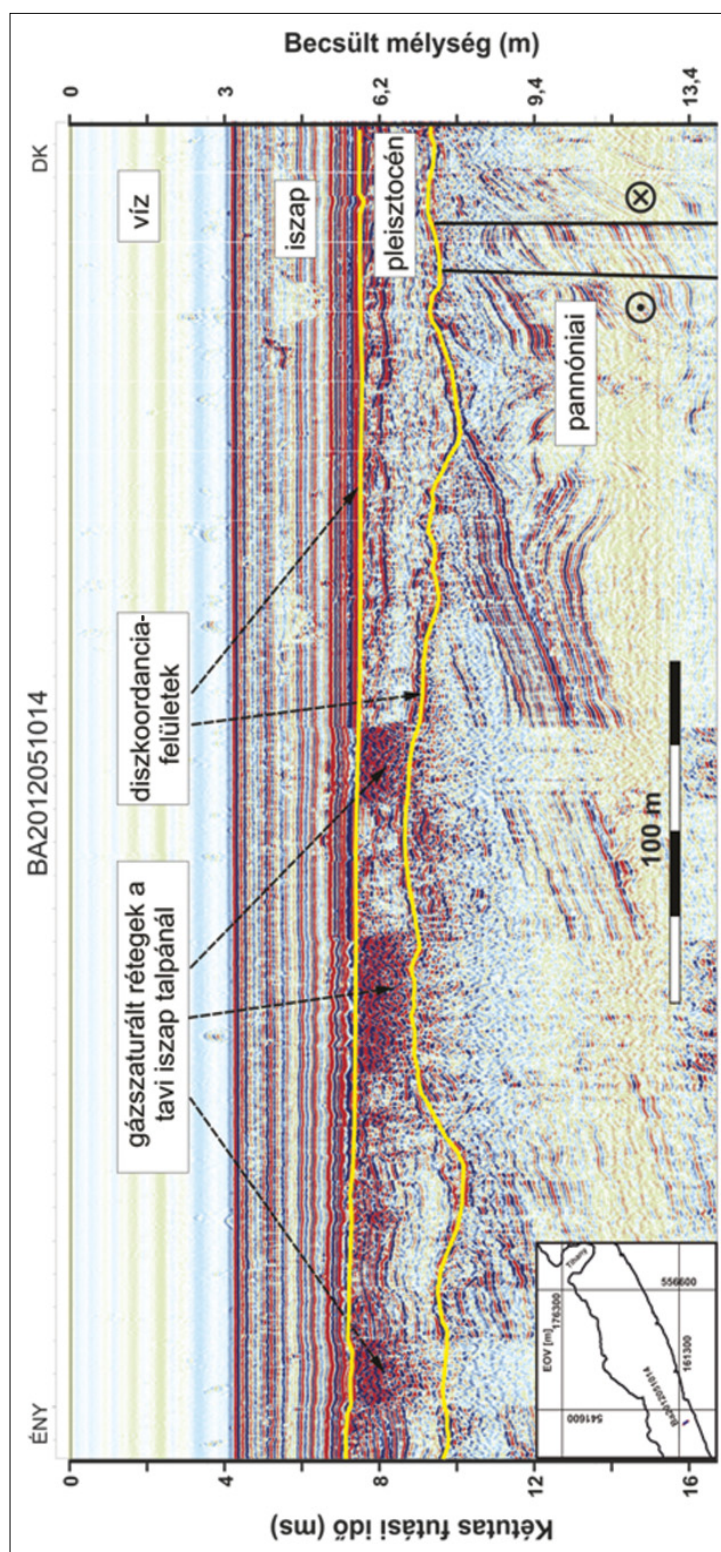
nagyságú keresési sávokat kell definiálni. A művelet során az egyes binek középponti koordinátáját rendeljük a definiált nagyságú területre eső minden CMP-hez. Ennek megfelelően ahány csatorna esett az adott binbe, akkora lett a fedésszám. Ezt követően amplitúdókorrekciókat, sávszűrést és prediktív dekonvolúciót 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 tő 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 közetekben 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



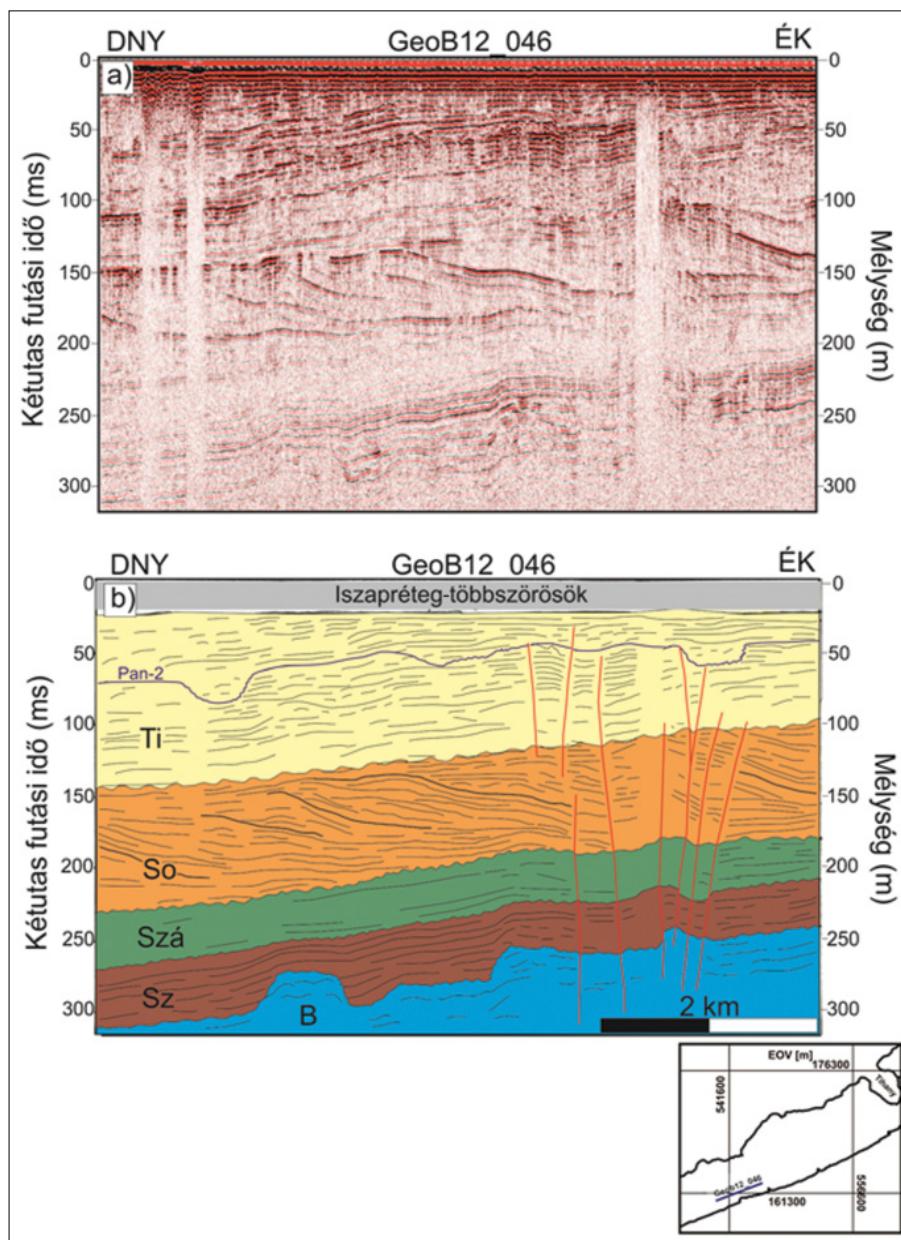
7. ábra Egyecsatornás (Seistec™) szelvény Fonyódliget előteréből. Az ultranagy felbontású szelvényeken jól követhető diszkordanciafelületek határolják a balatoni iszapot, a pleisztocén korú üledékeket és a pannóniai összletet

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 többcsatornás 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 találhatók. 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 többcsatornás szelvényeken a vékony iszap- és a pleisztocén rétegek a kisebb felbontás miatt nehezen követhetőek



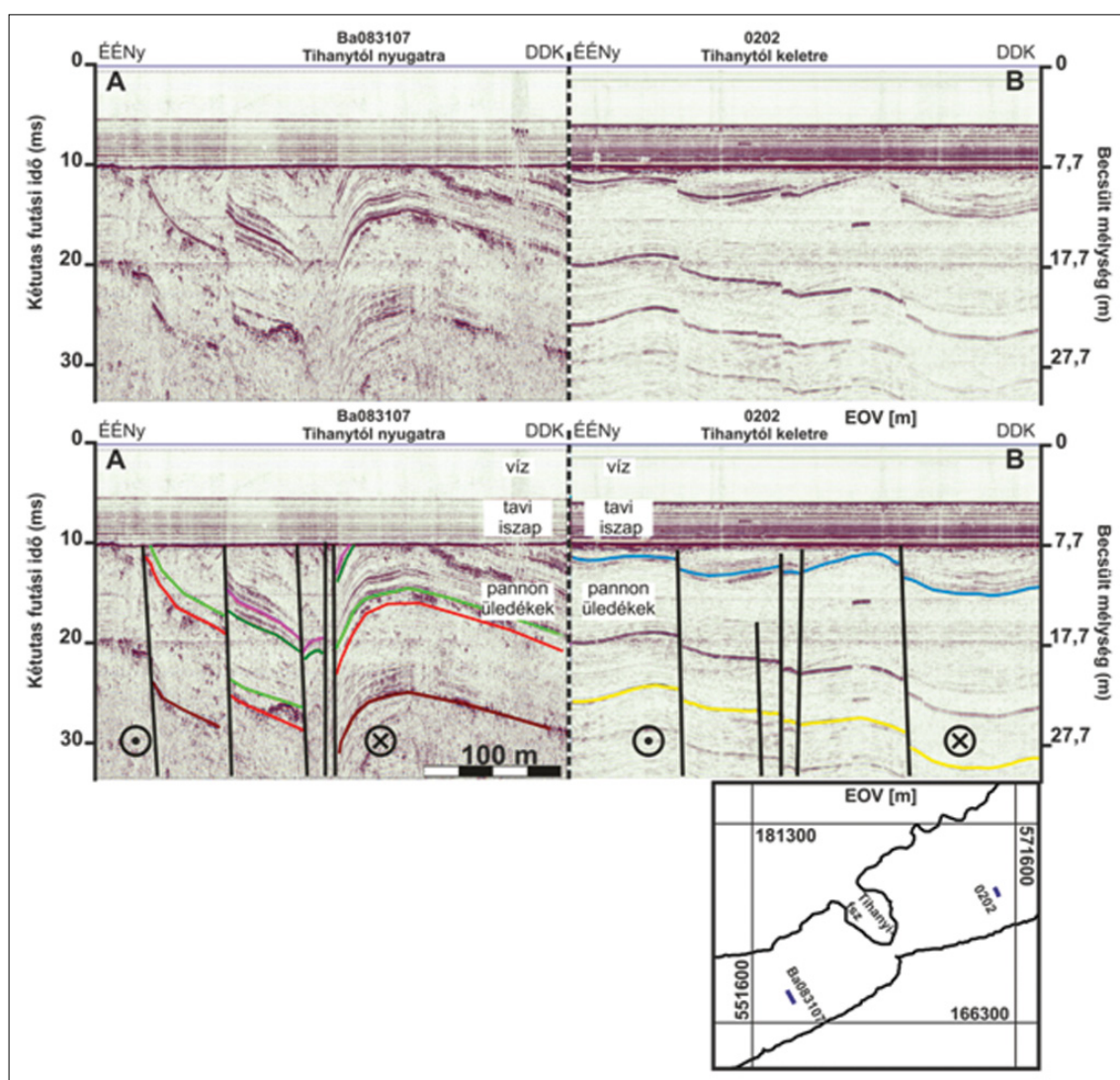
8. ábra Többcsatornás szelvény Balatonboglár előterében: a) feldolgozott szelvény, b) a szelvény vonalas rétegtani értelmezése. Vegyük észre, hogy a Somló Formáció vastagsága alapján a progradáció mintegy 80 m-es vízmélységben történt. Értelmezésünk szerint a Tihanyi Formációban több száz méter széles, 10–20 m mély mederbeágódások vannak. *Jelkulcs:* B = bádeni agyagmárga és biogén mészkő; Sz = szarmata agyagmárga és biogén mészkő; Szá = Szák Formáció, szublitorális agyagmárga; So = Somló 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 mészkővekig 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 legelején félszigetként 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, szublitórális környezetben (Cziczér et al. 2009). A Kisalföld feltöltődésével azonban új helyzet állt elő, mert a beszállított törmelékes anyag zöme a mély Zalai-medencerész irányába fordult (selfperemi deltaépülés), míg a Dunántúli-középhegység felett sekélyvízi (selfen épülő) deltarendszerek alakultak ki.

A Balaton déli peremén található fúrások segítségével értelmezett többcsatornás 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 egycsatornás vízi szeizmikus szelvényeken azonosított vetőrendszer a Tihanyi-félszigettől nyugatra (A) és keletre (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 az azal 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 erőző 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 valószínűsíthető 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 selfen 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 szakszerű 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, Hátori 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 Közöny* 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., Hátori Z., 2010: A Kállai Kavics települési helyzete a Tapolcai-medencében geoelektromos szelvények és fűrási adatok tükrében. *Földtani Közöny* 140, 183–196
- Horváth F., Sacchi M., Dombrádi E., 2010: A Pannon-medence üledékeinek szeizmikus sztratifráiai és tektonikai vizsgálata a Dél-Dunántúlon és a Balaton területén. *Földtani Közöny* 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 Közöny* 124/4, 341–365
- Lóczy L., 1913: A Balaton környékének geológiai képződményei és ezeknek vidékek szerinti telepődése. 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 Közöny* 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., Magyari 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., Magyari 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: típusszelvény, 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