

Szeizmikus kutatások a Balatonon

TÓTH Zsuzsanna¹, TÓTH Tamás², SZAFIÁN Péter³, HORVÁTH Anita³, HÁMORI Zoltán², DOMBRÁDI Endre^{4,5}, FEKETE Noémi¹, Volkhard SPIESS¹, HORVÁTH Ferenc^{2,4}

¹Department of Geosciences, University of Bremen, Klagenfurter str., 28359 Bremen, Germany, email: zstoth@uni-bremen.de

²Omega Kft., 1095 Budapest, Mester u. 4.

³TXM Olaj- és Gázkutató Kft., 1011 Budapest, Közraktár u. 30–32.

⁴ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c

⁵Netherlands Research Centre for Integrated Solid Earth Science (ISES), VU University, De Boelelaan 1085, 1081HV Amsterdam, The Netherlands

Seismic investigations of Lake Balaton

Abstract

The research efforts that took place after the outstanding Balaton project (1891–1918) of Lajos LÓCZY never led to any consensus on the origin and evolution of the lake. However, the application of modern palaeontological and geochemical methods in the framework of the Balaton investigations of the Hungarian Geological Institute (1981–2004) have settled a few critical issues and the first seismic survey of the lake was also performed in 1987.

In the period of 1993 to 2007 the Geophysical Department of the Eötvös Loránd University (Budapest) regularly carried out seismic profiling on the lake in association with the summer fieldwork of the university's students. In 1993 Italian and in 2005 German experts took part in the surveys using their marine seismic acquisition technology. The most frequently applied instrument during the university research programmes has been a special Canadian device (IKB-Seistec™). This can generate a seismic signal in the 1 to 10 kHz frequency range and thus offers shallow penetration (20–40 m) and ultra-high resolution (10–20 cm).

After a summary of the main results of earlier research, this paper outlines the basic principles and techniques of the seismic method. Then a compilation of the applied instrumentation and data processing is given to assist in understanding the interpretation of the seismic sections of Lake Balaton in the following set of papers in this volume.

Keywords: Balaton research, water seismic methods, high resolution seismic data

Összefoglalás

LÓCZY nagyszabású vállalkozását követően a Balaton kutatása tovább folytatódott, de a tó eredetének és fejlődésének a kérdésében még néhány évtizeddel ezelőtt is élesen ellentétes vélemények léteztek. Számos kérdést lezárt a MÁFI tudományos kampánya, amelynek keretében született meg a tó első vízi szeizmikus felmérése is.

1993 és 2007 között az ELTE Geofizikai Tanszéke évente visszatért a tóra szeizmikus mérések céljából hallgatói terepgyakorlatokhoz kapcsolódóan. 1993-ban olasz, 2005-ben pedig német szakemberek vettek részt a mérésekben saját tengerkutató eszközeiket felhasználva. A legtöbbet alkalmazott egyetemi eszköz egy kanadai fejlesztésű műszer (IKB-Seistec™), amely 1–10 kHz frekvenciatartományú jelével sekély behatolást (20–40 m) és ultranagy felbontást (10–20 cm) biztosít.

A cikk áttekinti a szeizmikus rétegtani kutatás alapfogalmait és módszereit. Majd összefoglalja az alkalmazott adatátviteli technikák fő műszaki paramétereit és adatfeldolgozási műveleteit a kötet további cikkeiben szereplő szeizmikus értelmezések jobb megértése érdekében.

Tárgyszavak: balatoni kutatások, vízi szeizmika, nagyfelbontású szeizmikus adatok

Bevezetés

Egy nagy tófelület ideális lehetőséget nyújt a kutató geofizikus számára, hogy szárazföldi területen tengeri minőségű szeizmikus szelvényeket készítsen az ipari adatfelvételhez képest egyszerű és kevésbé költséges technikával. A Balaton egy olyan ablak, amely egyedülálló a Pannon-medencében, hiszen a néhány méteres tavi iszap-

réteg alatt diszkordánsan települő pannóniai rétegek nagyfelbontású akusztikus leképezése megvalósítható az 594 km² tófelület nagy részén. A tó azonban nemcsak egy jó mérés-technikai lehetőséget biztosító terület, hanem a földtudományi ismeretek gazdag tárháza, amelynek kincseit LÓCZY Lajos nagyszabású munkáját követően újra meg újra felfedezik és gazdagítják a kutatók.

Ebben a munkában először röviden áttekintjük a balatoni

földtudományi kutatások történetét, főbb eredményeit és megoldatlan kérdéseit. Ezután utalva az első szeizmikus szelvényezésre (CSERNY & CORRADA 1989, 1990), annak az 1993-ban elkezdődött tudományegyetemi szeizmikus mérési sorozatnak a méréstechnikai és adatfeldolgozási összefoglalását adjuk, amelynek értelmezései e kötet további cikkeiben találhatóak. Ezek megértését elősegítendő dióhéjban áttekintjük a szeizmikus módszer alapelveit, mérési és feldolgozási technikáit.

Kutatástörténeti előzmények

A Balaton széleskörű, tervszerű és rendszeres kutatását elsőként LÓCZY Lajos (1849–1920) szervezte meg azzal az indoklással, hogy „a Balatonról úgyszólván semmi számottevő földrajzi vizsgálat nem létezik”. 1891-ben az ő kezdeményezésére és vezetésével alakult meg a Magyar Földrajzi Társaság Balaton Bizottsága, melynek célja a tó sokoldalú tudományos kutatása volt. A kutatások két évtizedes eredményét *A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei* c. 32 kötetes monográfiában (1897–1918) tették közzé. A kötetek magyarul és németül jelentek meg, megírásukban 60 kutató vett részt.

A Balaton kialakulásának első komoly elmélete ennek a kutatásnak volt az eredménye. LÓCZY (1913) úgy gondolta, hogy a Balaton a hosszanti tengelyével párhuzamosan és arra közel merőlegesen sorakozó, egymást keresztező vetősfokok között létrejött süllyedékekből alakult ki pannóniai–pontusi üledékben (HORVÁTH & DOMBRÁDI és HORVÁTH et al., jelen kötet). „Ezek a medenczék a pleisztocénkor elején támadtak helyi tektonikus behorpadások következtében és fennmaradtak a Balaton-felvidékről lerohanó, leeső szelek deflációja következtében. [...] A négy lefolyástalan balatoni depresszió kezdetben nem lehetett nagy kiterjedésű, mindenfelül messzire benyúltak a lankás lejtők és nyelvekként a domb-orrok, amelyek között széles völgyületek szolgálták le a medenczékbe. [...] Az eredetileg kicsiny medenczéket a széllokozta hullámmarás mindjobban és jobban tágította, amint a dombnyelveket lenyeste és a völgyületek közötti magas partfalakat létesítette. Amint a partok hullámmarás, alámosás, lerogyás következtében hátráltak, helyet adva a kiterjedő víztükörnek, az egyes medenczéket elválasztó hátságok eltűntek és a négy víztükör összefolyt az egységes Balatonba.” Az mai egységes víztükör kialakulását a pleisztocén végére tette.

A Balaton medrét először e kutatás során fúrták meg: 17 darab 8–15 m mélységű tavi fúrást mélyítették a tavi üledékek és az aljzat megismerésére. A fúrások rétegsorát és faunalistáját a monográfia földtani kötete tartalmazza (LÓCZY 1913, pp. 541–579). Ugyanitt alapos betekintést olvashatunk a balatoni tőzegek kialakulásáról és az egykori tőzeglápok elterjedéséről is.

LÓCZY tanítványa és munkatársa CHOLNOKY Jenő (1870–1950) évtizedeken át foglalkozott a Balaton tudományos tanulmányozásával (CHOLNOKY 1918, 1936). Ő a Balaton-medence kialakulását döntően két tényezőnek tulajdo-

nította: szerinte a mai Dunántúl területén a pliocénben sivatagi viszonyok uralkodtak és az erős szél „elhordta a pannóniai rétegek nagy részét”, aminek következtében a Veszprémi-fennsík lábánál mélyedés jött létre. Ezután „az északi parttal párhuzamosan két hasadás szelte végig a földkérget és mintegy 50 méter mély, árokszerű besüllyedés keletkezett a hegyek lábánál”. Ebben az árokban „összegyűlt a víz, nem volt lefolyása”. A dunántúli hosszanti és haránt-irányú völgyek kialakulását is kettős mechanizmussal, tektonikusan fellazult zónák szeléroziójával magyarázta (HORVÁTH & DOMBRÁDI és CSILLAG et al., jelen kötet).

KÉZ (1943) és BULLA (1943) a Zala teraszainak vizsgálata alapján arra a következésre jutott, hogy a Kis-Balaton és a Zala-völgy a Balaton medencéjével egy időben szakadt be, mégpedig a somogyi partfal löszében talált és nyilvánvalóan az északi partról származó dolomitkavicsok lerakódása után, a riss-würm intreglaciálisban. SÜMEGHY (1953) ezzel ellentétben úgy gondolta, hogy a kavics- és murvalencsék kialakulása a löszképződés befejeződése után ment végbe, ezután a Balaton kialakulását a würm utáni posztglaciális időszakra tette.

ERDÉLYI (1961, 1962) szerint a Balaton kompressziós eredetű szerkezeti árok, csakúgy mint a vele párhuzamos somogyi völgyek. Úgy gondolta, hogy ÉNy–DK-i irányú nyomóerő hatására a somogyi terület a Mecsekkel együtt északi irányban, míg a Dunántúli-középhegység déli irányban feltorlódott. A pleisztocén második felében a nyomóerő csökkent és ekkor a rátolódások előtt süllyedő sávok keletkeztek. A nagyobb süllyedékekből alakultak ki az utolsó interglaciális idejére a Balaton elömlétedései, és ezek egyesülésével jött létre a tó.

MAROSI & SZILÁRD (1974, 1981) a parti üledékek finomrétegtani és a Zala geomorfológiai vizsgálata alapján a markánsan eltérő véleményeket szintetizáló modellt igyekeztek megalkotni. Szerintük a Balaton-árok térben és időben poligenetikus süllyedések eredménye. A terület egyes részein a süllyedés már a középső-pleisztocénben megindult, de az egységes tómedence csak a késő-pleisztocénben jött létre.

A szintetizáló szándék láthatóan nem volt sikeres, mert MIKE (1976, 1980) minden addigi elképzeléstől eltérő, „nem-beszakadós” modellel lepte meg kortársait. Hálózatosan telepített, több ezer tőzegkutató fúrás alapján a tőzeg fekérdégekben nagyméretű, látványosan meanderező folyómedreket térképezett. Ez alapján arra következtetett, hogy a tó kialakulásában egy kora-pleisztocén kori ős-Duna eróziós tevékenysége alapvető szerepet játszott. A kortársak rideg elutasítása ellenére, mint látni fogjuk a szeizmikus mérések (NOVÁK 2006; NOVÁK et al., jelen kötet) és a paleontológiai kormeghatározások (NAGY-BODOR & SZUROMINÉ 2002) megkérdőjelezhetetlenné teszik a Balaton alatti kora- és középső-pleisztocén folyómedrek létezését.

A Balaton kialakulásának és fejlődéstörténetének megbízható megismerésében alapvető jelentőségűek azok a vizsgálatok, amelyeket a Magyar Állami Földtani Intézet munkatársai az 1960-as évek óta napjainkig végeznek. 1981-ben kezdték meg a Balaton komplex földtani kutatását, mely

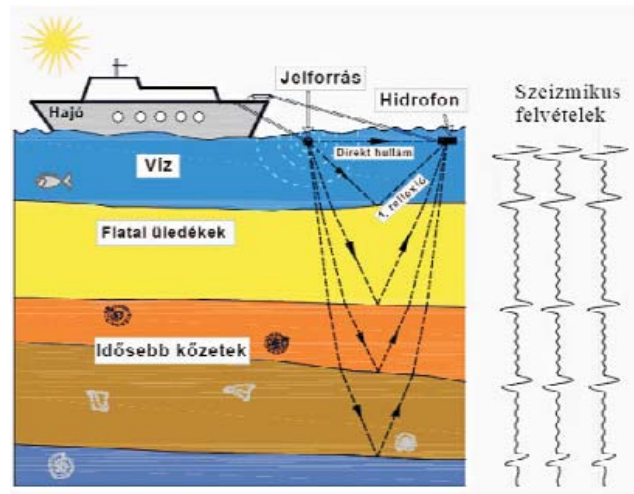
időben négy szakaszra osztható: aktuálgeológiai, földtani-geofizikai, környezetföldtani és limnogeológiai kutatások. A tó fejlődésének rekonstruálásában perdöntő volt az aktuálgeológiai program keretében lemélyített 33 darab új mederfúrás és a sok száz minta laboratóriumi vizsgálata, elsősorban paleontológiai és izotóp-geokémiai módszerekkel (CSERNY 1993, 2002; CSERNY & NAGY-BODOR 2000; NAGY-BODOR & SZUROMINÉ 2002). Mindezek alapján világossá vált, hogy a Balaton helyén a pleisztocén vége felé (17–15 ezer év BP) több kismélységű medence alakult, melyek kora keletre fiatalodik. A holocén során a tavakat elválasztó gátak abrázio hatására fokozatosan megszűntek és kb. 5000 évvel ezelőtt létre jött az egységes vízfelület. Ezt követően a tó vízszintje a klímaváltozások függvényében a maihoz képest –1 és 6 méter között ingadozott (TIMÁR et al., jelen kötet).

A Balatonon először, 1987 nyarán kubai–magyar együttműködés keretében végeztek echográfus és szeizmoakusztikus szelvényezést a MÁFI munkatársai és kubai szakemberek (CSERNY & CORRADA 1989, 1990). A szeizmikus mérésnél a forrás *sparker* volt, a felvételezés még analóg módon, fotópapírra történt. Ez a későbbi adatfeldolgozást és értelmezést jelentősen megnehezítette. Azóta már elvégezték a szelvények tönkremenetelét megelőzendő archíválást és az értelmezés néhány új eredményt is hozott (CSERNY et al. 2004). A mérés célja a meder térképezése, az üledékek vastagsági viszonyainak és térbeli kiterjedésének felderítése és ezúton a tó fejlődésére vonatkozó földtani információk megszerzése volt. A mért szelvények 373 km összhosszúságban, egyenes hálóban lefedték a Balaton egészét. Az echográf elsődleges feladata a vízmélység meghatározása volt 0,2–0,3 m-es pontossággal. A szeizmoakusztikus mérés pedig az iszap vastagságának meghatározását tették lehetővé kb. 0,5 m-es pontossággal. A szelvények kiértékelésének eredményeként képet kaptak a tavi üledékek térbeli helyzetéről, az iszap rétegeztségéről, továbbá, a Balaton aljzatának morfológiájáról és tektonikájáról megközelítőleg 30 méteres mélységig (CSERNY & CORRADA 1989, 1990; CSERNY 1993, 2002).

A Balaton alatti pannóniai képződmények rétegtanáról és tektonikai viszonyairól ebben a kötetben saját vizsgálataink alapján új eredményeket mutatunk be (HORVÁTH et al. és BADA et al., jelen kötet).

Vízi szeizmikus mérések

Reflexiós szeizmikus mérések során a felszínen, vagy a felszín közelében keltett nyomáshullámok felszín alatti réteghatárokról történő visszaverődését regisztráljuk. A vízi szeizmika előnye a szárazföldi mérésekhez képest, hogy a mérés a hullámzástól eltekintve ideális, vízszintes felületen történik és mind a jelgerjesztés, mind pedig az észlelés homogén, közel rugalmas közegben történik (1. ábra). Visszaverődés olyan réteghatárról kapunk, amelyen áthaladva az akusztikus impedancia megváltozik. A visszavert és áthaladó hullám energiájának arányát a két réteg akusztikus impedanciája, valamint a beesés szöge határozza



1. ábra. Vízi szeizmikus mérés vázlata

A jelforrás által gerjesztett nyomáshullámok víz alatti réteghatárokról történő visszaverődését a hidrofon regisztrálja. Sűrű jelgerjesztés esetén a mozgó hajó által vontatott eszközökkel a réteghatárok közel folyamatosan képezhetők le. Többcsatornás mérés esetén a hajó hosszabb kábelt vontat, amelyre adott távolságra egymástól több hidrofont fűznek fel

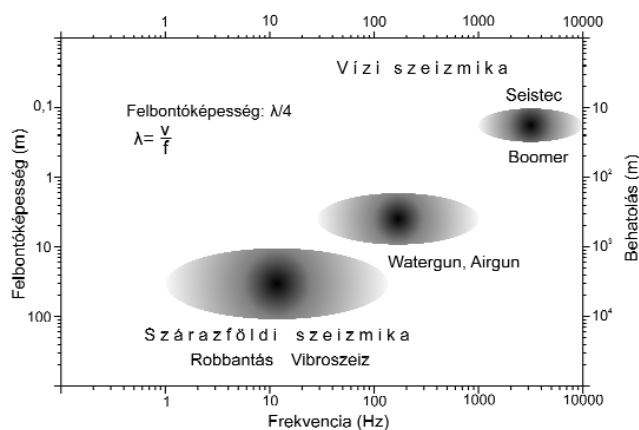
Figure 1. Cartoon illustrating the basic principle of water seismic surveys

The seismic pulse generated by the source while propagating downwards under the water is reflected from layer boundaries. These reflected waves are recorded by the hydrophones. The seismic kit is towed by a boat, thus if the shots (source signals) are frequent enough in time, the layer boundaries are sampled with a good horizontal coverage. During the multichannel survey a streamer cable is towed, which consists of several equally spaced hydrophones

meg. Az akusztikus impedanciát, azaz a réteg hullámtani keménységét, a réteg sebességének (v) és sűrűségének (ρ) a szorzata adja meg.

Gyakran előforduló zavaró jelenség az, hogy a jelentős impedancia kontraszttal rendelkező réteghatárok a hullám energiájának nagy részét verik vissza, majd azok a vízfelzínről ismételtlen visszaverődve nagy energiájú többszörös reflexiót (visszhangot) hoznak létre. Ennek szélső esete az, ha a visszaverődő réteghatár olyan markáns, hogy tükörként viselkedve minden energiát visszaver, s így megakadályozza az alatta lévő rétegek leképezését. A Balaton aljzatában foltokban, vagy nagyobb parti sávban jelentkező gázos iszapok ilyen akusztikus tükörként viselkednek.

A szeizmikus mérések fő célja az, hogy a vizsgálni kívánt mélységtartományban a réteghatárokat jó jel/zaj arány mellett minél nagyobb felbontással képezzük le. A hullámtani felbontóképességet a jel hullámhossza (λ) határozza meg, ami a közegbeli terjedési sebesség (v) és a jel frekvenciájának (f) a hányadosa (2. ábra). Felbontóképességnek általában a hullámhossz negyedét tekintik. Mivel a jel frekvenciaspektrumát a jeladó forrás alkalmas megválasztásával széles határok között tudjuk változtatni, a felbontóképesség is nagyságrendekkel változhat (2. ábra). A nagy felbontásnak azonban ára van, mert főleg a felszín közeli laza rétegek, de kisebb mértékben a kemény kőzetek is annál rövidebb úton nyelik el a szeizmikus energiát, minél magasabb a jel frekvenciája. Szárazföldi robbantással, vagy vibroseiz berendezéssel keltett, néhány száz 10 Hz frekvenciájú jelekkel az ipari igényeknek megfelelő, több kilométeres mélységtartomány képezhető le 10–100 méternél nem jobb felbontással. Vízi mérések során a víz szinte



2. ábra. Különböző szárazföldi és vízi szeizmikus forrásokkal keltett jelek frekvenciartománya

A szeizmikus rétegfelbontást a jel hullámhosszának negyede adja meg. Minél nagyobb a frekvencia, annál jobb a felbontás, de rosszabb a behatolás

Figure 2. Frequency domain of various seismic sources. The vertical resolution is determined by the wavelength of the signal ($\lambda/4$)

The higher the frequency, the better the resolution but less penetration can be achieved

csillapítás nélkül továbbít 100–1000 Hz frekvenciájú jeleket, amelyek méteres nagyságrendű felbontást, de csak néhány-száz méteres behatolást tesznek lehetővé. Végül különleges esetben 1–10 kHz frekvenciartományban lévő jelekkel sekélyvizek alatti medencékben 10–20 cm nagyságrendű rétegfelbontást, de csupán 20–60 méteres behatolást érhetünk el (2. ábra).

A felbontás növekedése szemléletesen azt jelenti, hogy az ipari szeizmikus szelvényeken megjelenő két egymást követő reflexió közötti tartomány vízi mérések során tíz, ultranagy felbontás esetén akár száz finomrétegre bontva jelenik meg. Ez geológiailag azért lehetséges, mert az üledékes kőzetek lamináltsága a makroszkopikus méretek-től a mikroszkópikusig terjed az üledékképződést irányító ciklusok periódusidejének a napszakostól a millió évesig tartó változása következtében. Ez a lamináltság az akusztikus impedancia változásában is megnyilvánul.

A szeizmikus kutatás alapaxiómája az a tétel, hogy bármely felbontás esetén kapott réteghatárok sztratigráfiai szempontból izokrón felületnek tekinthetők és nem litológiai határnak. Ennek az az oka, hogy az üledékes medencébe beszállított törmelékek a selfen, annak lejtőjén és előterében elterülve lebenyeket képeznek, amelyekben a litológia (szemcseméret) laterálisan folyamatosan változik. A szeizmikusan leképzett reflektorok megfelelnek az üledékes medence (self) egykori felszínének (izokrón felületek), vagy víz alatti és szárazulati erózió következtében létrejött unkonformitásoknak (heterokrón felület). Ezek a tételek képezik a szekvenciasztratigráfiai értelmezés alapjait.

Vízi szeizmikus mérés során a hajó maga mögött, vagy mellett rögzítve vontatja a jelforrást és a visszaérkező hullámokat észlelő hidrofonomokat (1. ábra). Ehhez rögzítve vagy a hajón található egy GPS készülék is, mellyel pontosan meghatározhatók a mérési helyek (3. ábra). Attól függően, hogy a hidrofonom milyen elrendezésben, egy pontban vagy több pontban észlelik a visszaverődött hullámokat, megkülönböztetünk egy- és többsatornás szeizmi-



3. ábra. Egysatornás szeizmikus mérőműszer (Seistec) mérés közben, a hajó mellé rögzített helyzetben

A berendezés felett a hajóhoz rögzítve a pontos helymeghatározásra használt GPS-berendezés antennája látható

Figure 3. Single channel water seismic equipment (Seistec) during operation attached beside the tow-boat

Above the seismic device the antenna of the GPS can be seen used for high precision positioning

kát. Többsatornás mérésnél az egyes hidrofonomok egy vonalban füzérre felfűzve, egymástól meghatározott távolságra helyezkednek el a jelforrás mögött (4. ábra). Egysatornás mérés esetén egy hidrofon, vagy rendszerint a jel/zaj arány növelése érdekében ezek egy csoportja helyezkedik el a jelforráshoz egészen közel. Míg az egysatornás adatok nem igényelnek hosszúságú adatfeldolgozást, addig a többsatornás adatok feldolgozása összetett feladat.

A többsatornás vízi mérés fő előnyét az adja, hogy lassú hajómozgás és rövid időközű jelgerjesztés (robbantás) esetén a hosszú kábelben lévő hidrofonomok ugyanarról a réteghatár szakasról több reflexiót is detektálnak. Feldolgozás során az azonos mélységpontról reflektált jeleket összeadva (*stacking*) jelentős javulás érhető el a jel/zaj



4. ábra. Többsatornás mérés során a hajó hosszú kábelhez rögzített hidrofonfüzért vontat

Figure 4. During the multichannel survey a streamer cable is towed, which consists of several equally spaced hydrophones

arányban. Az összegzés hatékonysága annál jobb, minél nagyobb a felszín alatti rétegek lefedettségének (*fedésszám*).

Végül a *dekonvolúciót* és *migrációt* kell még megemlíteni, amelyek úgy az egysatornás, mint a többcsatornás mérések feldolgozása során használt műveletek. A dekonvolúció egy olyan művelet amellyel a forrás által keltett hullámsomagot igyekszünk impulzusszerűvé alakítani a réteghatárok élesebb leképezése érdekében. A migráció műveletére azért van szükség, mert mind az egysatornás szeizmikus felvételek, mind pedig a többcsatornás összecsapások csak vízszintes síkrétegzés esetén adják vissza a felszín alatti rétegek valós képét. Minden más esetben ezek a szeizmikus szelvények a felszín alatti rétegek torzított képét eredményezik. Ilyen torzítás például, hogy a pontszerű objektumok helyett kis kupolaszerű kép (diffrakciós hiperbola) látszik, vagy hogy a dőlő rétegek valós helyzetüktől eltérő helyzetben látszanak. A migráció ezeket a torzításokat korrigálja.

Az ELTE szeizmikus kutatásai a Balatonon

Magyar–olasz együttműködés, 1993

Az ELTE Geofizikai Tanszékének oktatói és diákjai először 1993. június 13–21 között végeztek egysatornás, nagyfelbontású szeizmikus méréseket a Balatonon. A mérést egy európai uniós Tempus projekt és egy olasz-magyar együttműködés keretében, két nápolyi intézet (Geomare Sud, Istituto Universitario Navale) műszereivel és szakembereinek közreműködésével végeztük (5. ábra). Összesen 190 km hosszú szeizmikus regisztrátumot rögzítettünk a Balaton középső és északnyugati felén, mely 19 szelvényre osztható fel (6. ábra, a) és nagyjából a felső 250 métert képezte le 0,5–2 m-es felbontással (7. ábra).

A mérőhajó a siófoki bázisú Vízügyi Igazgatóság Siófoki Üzemelnökségétől béreltünk. Forrásként *boomert* használtunk 300 Joule teljesítménnyel üzemeltetve, 1 másodpercenként történő jelkeltéssel. A boomer egy tekercsből és egy fémlapból áll. A jelkeltés a következőképpen történik: a nagyfeszültségű

szerű kondenzátort egy tekercsen keresztül kisütjük. A kisüléskor létrejövő köráram a fémlapban egy ellentétes irányú örvényáramot generál. Ez az örvényáram a fémlapot hirtelen ellöki a tekercsről, és az alatta lévő víztömeget közvetlenül gyorsítva egy nyomáshullámot indít. A kibocsátott jel impulzusszerű, és a jelalak minden lövés során közel azonos alakú.

Nyolc hidrofon összekapcsolásával egyszerű, egysatornás észlelést valósítottunk meg. A boomert és a 4,6 m hosszú hidrofonsoportot egymással párhuzamosan húztuk, egymástól mintegy 3 m-re. A hidrofonsoport összegzett jele, hangfelvételtként lett rögzítve videomagnóra. A mérési eredményeket a helyszínen 0,1–5 kHz-es sávszűrés és amplitúdó korrekció után, elektrosztatikus nyomtatóval kinyomtattuk. Az analóg adatok később a kazettákról visszajátszva digitalizáltuk, 32 kHz-es mintavételezési frekvenciával 300 ms időig.

Méréskor a hajó átlagosan 6 km/h sebességgel haladt, a helymeghatározás az akkor még ritkaságszámba menő valós idejű differenciális GPS segítségével történt 5–10 m pontossággal. A Balaton keleti medencéjében végzett méréseknél a GPS bázisállomását a balatonvilágosi vasútállomás fölötti sétányra, míg a nyugati medence esetén a Tihanyi-félszigetre, a Diósi-tetőre telepítettük. A hajó pozícióját félpercenként határoztuk meg.

Az adatok feldolgozását részben MAGYARI (1994), majd később nagyobb terjedelemben és átfogó értelmezéssel SACCHI végezte el (SACCHI et al. 1999, SACCHI 2001). A 7. ábrán látható mintaszelvény az ő dolgozatából származik. A szeizmikus vonal (L–11/12; 6. ábra, a) a Balaton nyugati medencéjében helyezkedik el, és a Fűzfői-öböl irányából Siófok felé tart. A szelvény déli része meredek szögben metszi el a Balaton alatt húzódó balos oldalelmozdulásos zónát (SACCHI et al. 1999, BADA et al. jelen kötet). A tavi iszap alatt diszkordánsan elhelyezkedő pannóniai összlet talpmélysége északról dél felé 56 ms és 76 ms között változik, az akusztikus aljzatot adó szarmata rétegek felett.

IKB-SeistecTM mérések, 1997–2007

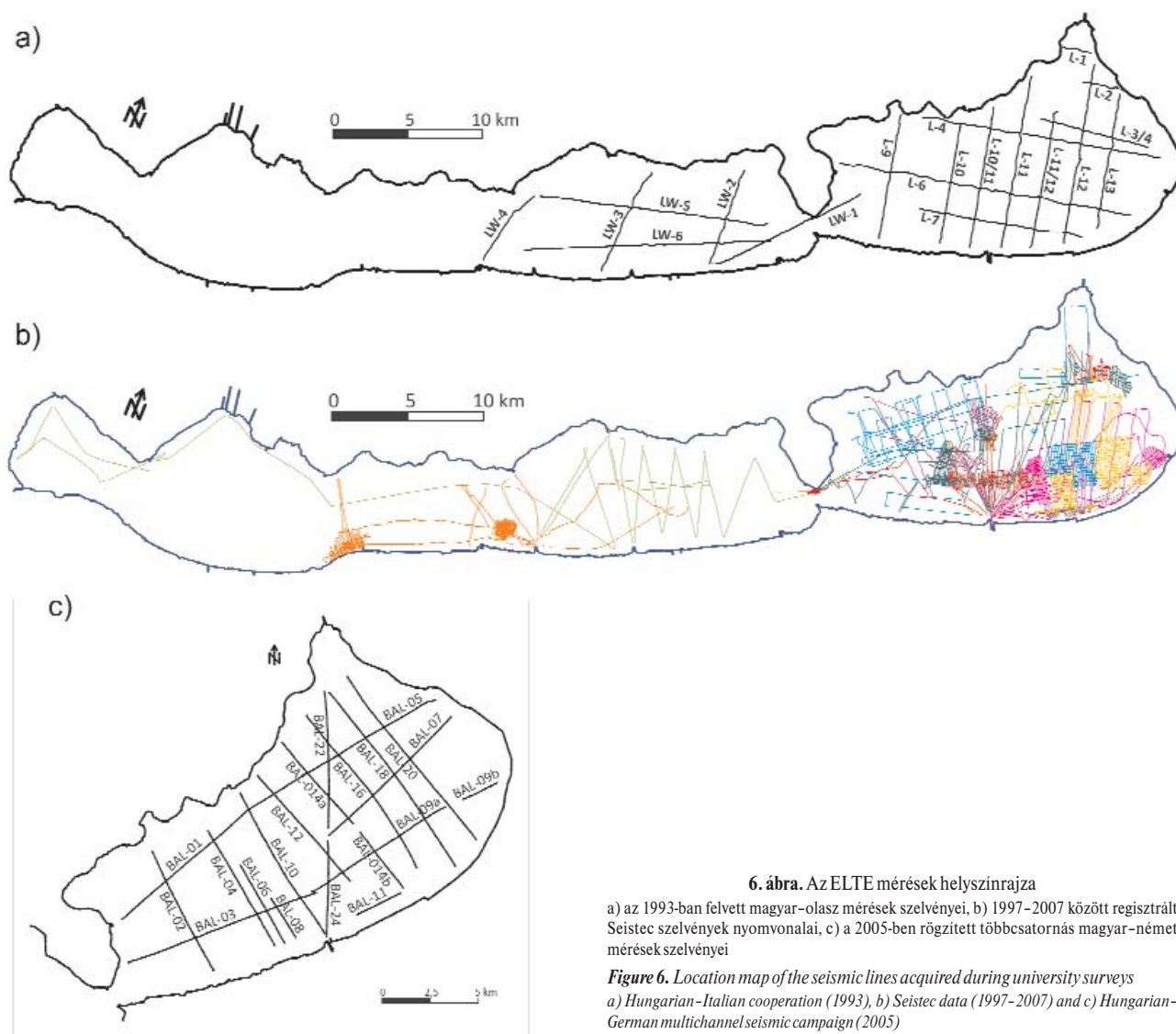
1997 és 2007 között rendszeres szeizmikus felvételezést végeztünk a Balaton területén a Geomega Kft. együttműködésével. A méréseket egy IKB-SeistecTM nevű, egysatornás, ultranagy felbontású vízi szeizmikus műszerrel végeztük. A műszert P. G. SIMPKIN fejlesztette ki az 1990-es évek elején Kanadában (SIMPKIN & DAVIS 1993; www.seistec.ca). Ez egy katamarán úszótestre rögzítve tartalmazza a jelforrást és az észlelést végző hidrofonokat (3. ábra). Speciális alakjának köszönhetően a Seistec kis vízmélységnél, valamint akusztikus zajforrások (pl. a hajómotor) közelében is jó jel/zaj arányú mérést tesz lehetővé (TÓTH T. 2003).

A jelforrás *boomer*, ami ebben az esetben egy 38 cm átmérőjű, kör alakú fémlemez. A forrás jelalakját a gerjesztés során alkalmazott feszültség nagysága, az áramimpulzus nagysága és a boomerlemez víz alatti mélysége (0,45 méter) határozza meg. Az észlelést egy



5. ábra. Az 1993-as magyar–olasz mérés résztvevői

Figure 5. Members of the Hungarian–Italian joint research campaign in 1993



6. ábra. Az ELTE mérések helyszínrajza

a) az 1993-ban felvett magyar-olasz mérések szelvényei, b) 1997–2007 között regisztrált Seistec szelvények nyomvonalai, c) a 2005-ben rögzített többszörös magyar-német mérések szelvényei

Figure 6. Location map of the seismic lines acquired during university surveys a) Hungarian–Italian cooperation (1993), b) Seistec data (1997–2007) and c) Hungarian–German multichannel seismic campaign (2005)

kúpos tölcser fókuszpontjában elhelyezett, hét egységből álló hidrofonscsoport végzi. A kúp biztosítja azt, hogy a vízfelszínről és az oldalról beérkező jelek ne zavarják a mérést. A Seistec hasznos jeltartománya 1–10 kHz közötti, amivel 10–20 cm-es rétegfelbontás és 20–60 m-es behatolás érhető el (1. ábra). A lövések általában 250 ms időközökkel követik egymást, és egy lövés által keltett hullámok felvételezési időtartama 100 ms.

A Seistec által mért egyszatornás szeizmikus adatok nem igényelnek hosszadalmas feldolgozást. A mérési geometria leírásánál a GPS által másodpercenként rögzített pozíció koordinátái között először interpolálást kell végezni, hogy minden, negyed másodpercenként felvett csatorna rendelkezzen koordinátával. A feldolgozó programba (ProMAX) való beolvasás és a geometria megadása után szűrést, valódi amplitúdó visszaállítását kell végezni. Szükség van még az alacsonyfrekvenciás trend eltávolítására. Célszerű eltávolítani a hullámzás hatását, valamint dekonvolúció alkalmazásával az akusztikusan kemény mederfenék által generált többszörös reflexiókat. Kis kiterjedésű kemény felületekhez

kapcsolódó diffrakciós hiperbolák eltávolítása pedig migráció segítségével történhet (Tóth T. 2003).

2007-ig összesen mintegy 700 km hosszú szeizmikus szelvényt rögzítettünk a Balatonon (6. ábra, b). Az első mérések 1997-ben a tó nyugati medencéjében, a Tihanyi-félsziget déli csücskének érintésével zajlottak. A szelvények alapján tapasztalható volt főleg a tavi iszapban több helyen előforduló gázos réteg árnyékoló hatása (8. ábra). A valószínűleg biogén eredetű gáz mélyebb vízben csak foltokban, de a partmenti sávban már összefüggő rétegben jelenik meg, és kismértékű szaturáció esetén is szinte teljesen visszaveri a boomer által keltett nagy frekvenciájú rugalmas hullámokat. Emiatt a gázfoltok alatti üledékekről nem is kapunk szeizmikus képet. A mérések a további években többek között ezért is elsősorban a tó keleti medencéjére koncentráltak, ott viszonylag kevés helyen, nagyrészt part menti területeken és az öblökben zavaró csak a gázos réteg.

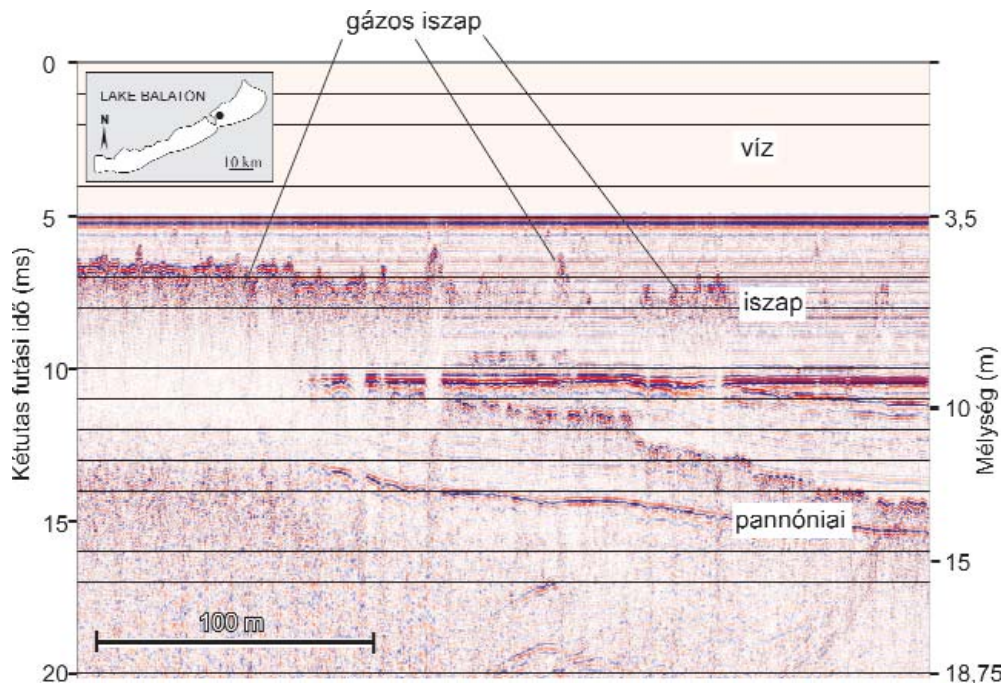
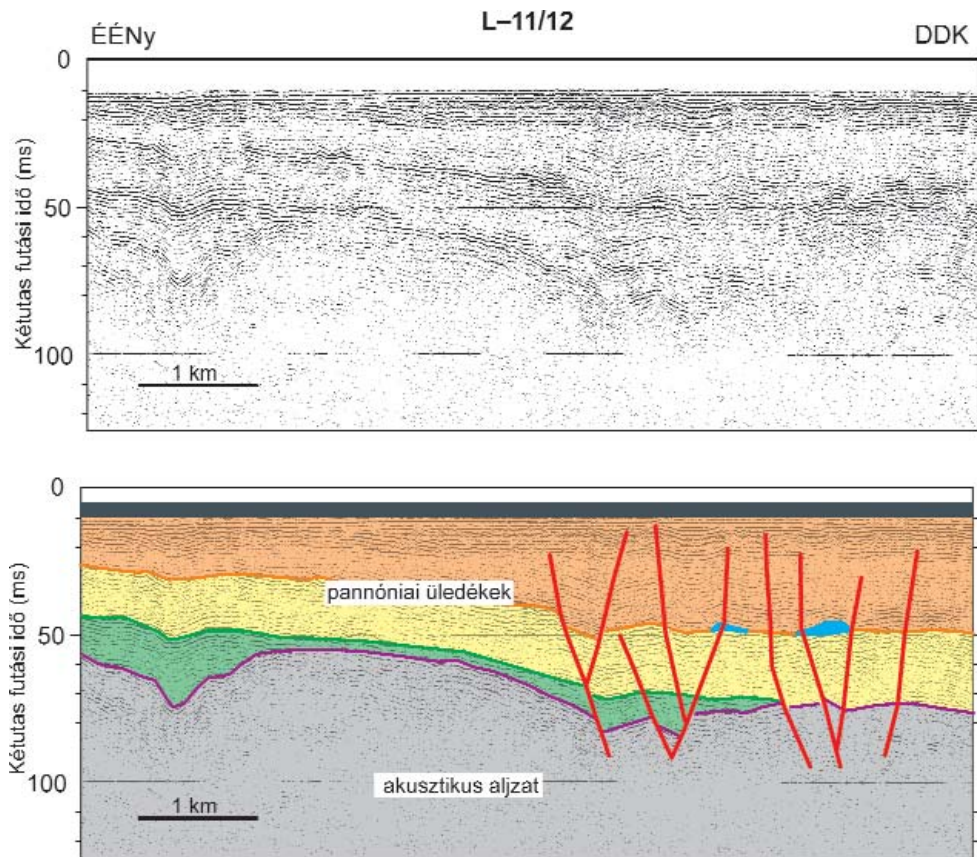
1999–2007 között Siófokról kiindulva végeztünk méréseket, melyek egyik fő célja a vetőzónák és szerkezetileg érdekes területek részletesebb vizsgálata volt (SACCHI et al.

7. ábra. A magyar–olasz mérések egy jellegzetes szelvénye (L-11/12 részlete)

A valódi mélységértékek a kétutas futási időből számíthatók a vízre, iszapra és pannóniai rétegekre vonatkozó 1400 m/s, 1700 m/s illetve 2000 m/s sebességek alapján. A mélységskála és a horizontális lépték összevetéséből megállapítható, hogy a szelvény kb. 25-szörösen túlmagasított. A pannóniai rétegek alatt lévő szarmata mészkövek képezik az akusztikus aljazatot. A pannóniai és szarmata rétegeket felszabdáló vetők a Balaton középvonalában húzódó balos oldalelmozdulási zóna elemei (BADA et al., jelen kötet)

Figure 7. A 10 km long characteristic profile (L-11/12) of the Italian-Hungarian seismic acquisition campaign

True depth values can be calculated from the two-way travel times using the seismic velocities of the water, mud and the Pannonian strata, 1400 m/s, 1700 m/s and 2000 m/s, respectively. Note that the profile is about 25 times vertically exaggerated. Below the Pannonian sedimentary rocks, top of Sarmatian limestones act as an acoustic basement. Imaged faults dissecting the Pannonian and Sarmatian deposits belong to a major sinistral shear zone located parallel to the long axis of Lake Balaton (BADA et al. this volume)



8. ábra. Seistec szelvény a Füredi-öbölből

A szelvényen az iszapban foltokban, vagy összefüggő rétegben felgyülemlett biogén gáz hatására bekövetkező nagy reflexivitás látható. A gázos iszap meggátolja az alatta lévő rétegek szeizmikus leképezését

Figure 8. Seistec profile from Bay of Füred

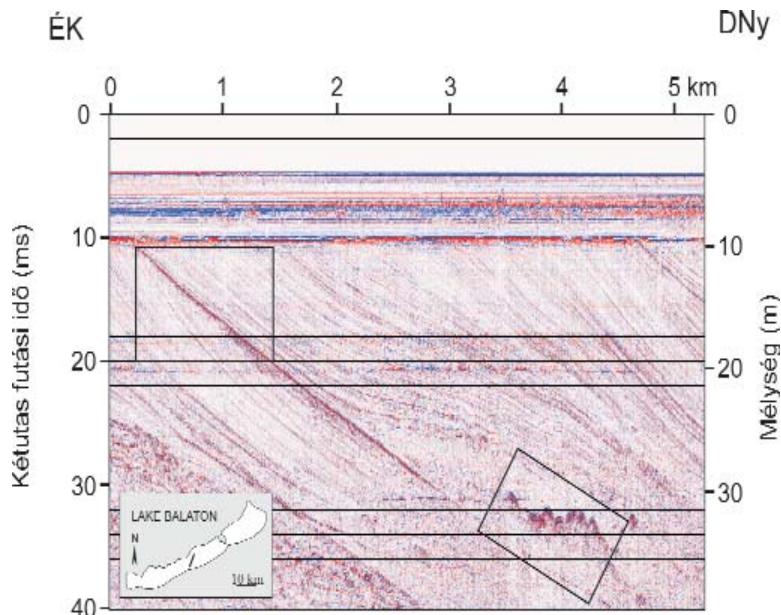
The section shows high reflectivity anomalies due to patches or sometimes a continuous horizon of biogenic gas accumulated in the mud. These gas spots hinder the penetration of the seismic waves into the deeper subsurface regions

1999, SACCHI 2001). 2003-ban Fonyód és Balatonboglár előterében voltak szelvényezések (NOVÁK et al., jelen kötet). 2004-ben Siófoktól ÉK-re, Balatonvilágos és Balatonakarattya előtt gyűjtöttünk adatokat, folytatva a szerkezeti elemek térképezését a keleti medencében. Hasonló célt szolgáltak a 2005-ben és 2006-ban 100–200 m-es rácshálóban mért szelvények is. Ezek segítségével egy közelítőleg egyenlő közlő mintavételezett, kvázi háromdimenziós képet kaphatunk az üledékek felső 30–50 méteréről. 2006-ban a Fűzfői-öbölben is kísérletet tettünk szelvények felvételére, de az öböl sekély vize kedvez a biogén eredetű gáz felhalmozódásának, így a szelvények nagy része nem mutatott értékelhető képet. 2007-ben nagyobb vízállás mellett Szabadifürdő és Sóstó előterében tudtunk a part mellett jó szelvényeket mérni.

A 9–10. ábrákon további Seistec példaszelvényeket mutatunk be. A 9. ábrán egy a Balatonakali előtti vizeken felvett szelvény mintegy 5 km hosszú részlete látható. A

szelvény 40 ms kétutas futási időig mutatja a tó alatti rétegszerkezet 10–20 cm-es felbontási képét. A szelvény mentén a vízmélység 3,5 méter, a tavi iszap vastagsága pedig 5,5 méter. Az ez alatt látható unkonformitás markáns reflektáló felület, amelyen lefejeződnek a 6–9 millió éves és enyhén délre dőlő pannóniai rétegek (HORVÁTH et al., jelen kötet). Ez az unkonformitás felület úgy alakulhatott ki, hogy a balatoni izolált előtavakat elválasztó hátakat a „szélokozta hullámmarás” egyre jobban kiegyenlítette, s ezúton kialakította az egységes tómedencét (LÓCZY 1913).

Az ultranagy felbontású szelvény információgazdagságát két nagyítás segítségével illusztráljuk. A 10. ábra a pannóniai rétegsoron belüli diszkordancia nagyított képét mutatja. Jól látható a felület alatti rétegek lefejeződése, valamint a felette lévő konform módon való települése. Ez szárazföldi eróziót, majd azt követően megemelt vízszint melletti üledéklerakódást indikál (HORVÁTH et al., jelen kötet). Különösen érdekes az a buckás alakzat, ami erre a

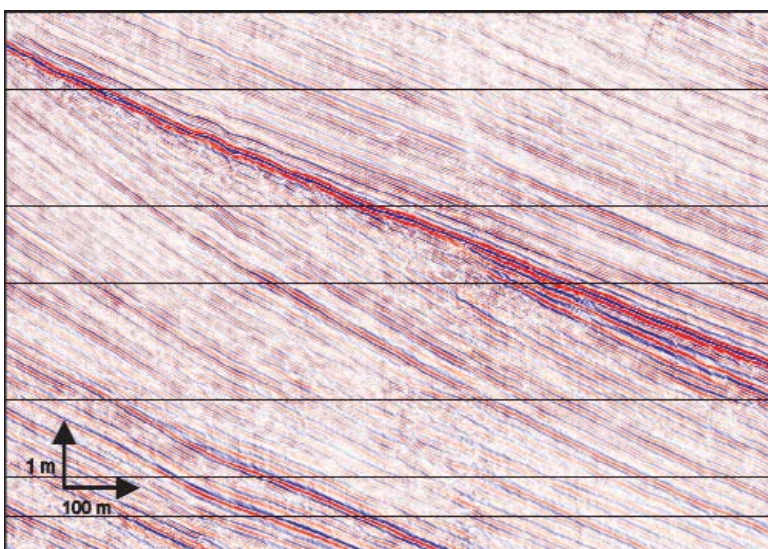


9. ábra. Seistec szelvény Balatonakali előtti vizeken

A szelvény 10–20 cm-es rétegfelbontással mutatja a tavi iszapot, valamint az alatta diszkordánsan elhelyezkedő pannóniai rétegeket. A két téglalappal határolt tartomány kinagyított képe a 10. és a 11a. ábrán látható. A vízszintes és függőleges skálák arányából megállapítható, hogy a szelvények jelentősen túlmagasítottak. Ennek mértéke kb. 100-szoros a 10. ábrán. A pannóniai rétegek valódi dőlésszöge 1–2° körüli érték

Figure 9. Seistec profile recorded near Balatonakali

It shows the Holocene mud and the Pannonian strata below a marked unconformity. The vertical resolution of about 40 m deep profile reaches 10–20 cm. Black boxes mark parts of the section, which are zoomed and shown in Figures 10 and 11a. According to the horizontal and vertical scale, the vertical exaggeration of the seismic profile is around 100 in Figure 10 and the dip of the Pannonian layers is actually 1–2°

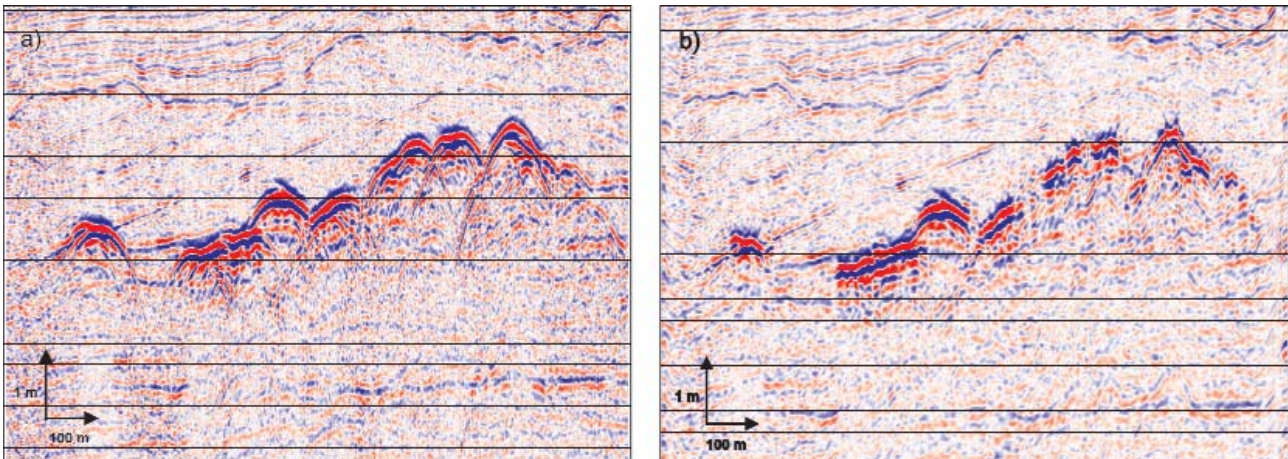


10. ábra. A 9. ábrán látható szelvény kinagyított részlete

A részlet a pannóniai rétegsoron belül egy eróziós diszkordancia-felületet és az arra konform módon települő rétegeket mutatja

Figure 10. Zoom of Figure 9

An intra-Pannonian erosional discordance and the conformably overlying strata are imaged with high resolution



11. ábra. A 9. ábrán látható szelvény kinagyított részlete, amely a pannóniai belüli diszkordanciafelületre települő „buckás” alakzatot mutat a) migráció nélkül és b) migrált szelvényen

Figure 11. Zoom of Figure 9, to show a mounded feature overlying the intra-Pannonian discordance a) without migration, and b) time-migrated version of the section

határra települ. A 11. ábra a részén ennek kinagyított képe látható a határra kiegyenesítve. Ugyanennek migrált változatát a 11. ábra b része mutatja.

Összességként hangsúlyozzuk, hogy ezeket a rétegtani szempontból alapvető jelenségeket csak a nagyfelbontású szeizmikus szelvényezés képes kimutatni. Ugyanakkor az értelmezés során figyelembe kell venni, hogy a szeizmikus szelvény bemutatathatósága miatt alkalmazott extrém túlmagasítás a rétegek valódi geometriáját jelentősen torzítja. Ennek jó példája a 11. ábrán látható alakzat, amely torzításmentesen (1:1 méretarányban) valójában egy több mint 1000 m széles és 3–5 m vastag képződmény.

Magyar–német együttműködés, 2005

2005 szeptemberében a brémai egyetem (Universität Bremen, Meerestechnik-Umweltforschung csoport) néhány kutatója is részt vett a terepgyakorlaton. Az alkalmazott eszközökkel ugyan kisebb felbontású, de a korábbiaknál nagyobb behatolású szeizmikus méréseket is végeztünk. Összesen mintegy 250 km hosszú szeizmikus szelvényt rögzítettünk a Balaton keleti medencéjében. A felvételezést a kísérletezés jellemezte, mert nem rendelkezünk sok tapasztalattal az alapvetően tengerre tervezett eszközöknek a Balaton sekélyvízi környezetében való alkalmazásával kapcsolatban.

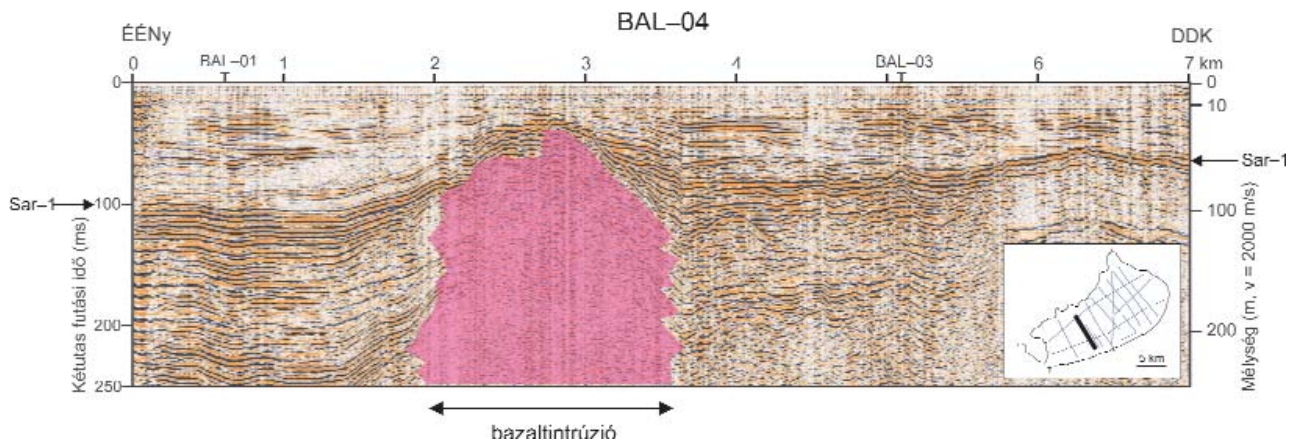
Több mint 23 000 lövés történt, melyek során kétféle forrást, egy kisebb és egy nagyobb teljesítményűt is kipróbáltunk. A kisebb energiájú forrás egy kétkamrás (2×0,2 literes) ún. *GI Gun* (generator-injector) volt. Ez nagy nyomású levegő egymást követő robbanásszerű kieresztésével kelt nyomáshullámokat (Tóth T. 2003). Ekkor a vízben oszcilláló légbuborék keletkezik olyan alacsonyfrekvenciás jelet keltve, amely a mérés frekvenciatartományába esik és nem szűrhető ki egyszerű módon a feldolgozás során. Azonban a kettős gerjesztés megfelelő időzítésével az oszcilláció megszüntethető, mivel a második lövés az első kamra légbuborékját szétlövi.

A másik forrás *watergun* volt, ami a vízoszlopot közvetlenül gyorsító források másik típusába tartozik. Energiaforrása szintén a nagy nyomású levegő. Fontos különbség azonban az, hogy a gerjesztés során a levegő nem közvetlenül a vízbe áramlik ki, hanem egy dugattyú segítségével egy vízoszlopot gyorsít, így nem keletkezik oszcilláló légbuborék.

A mérés során a sűrített levegőt négy kompresszor (két robbanómotoros és két elektromos) állította elő. Az észlelés egy 50 m hosszú hidrofonkábelrel történt, ami 48 különálló hidfont tartalmazott. A pozicionálást GPS végezte, melynek segítségével 20 másodpercenként rögzítettük a koordinátákat. A helymeghatározás pontossága 2 m volt.

Mintegy 145 km-nyi, a Balaton keleti medencéjét lefedő szeizmikus adat került feldolgozásra (VINCZE 2006, TÓTH Zs. 2009), mely 20 szelvényre osztható (6. ábra, c). A feldolgozás a hagyományos szeizmikus adatfeldolgozás lépéseit követte. ProMAX programba való beolvasás és a geometria megadása után erősítés és sávszűrés történt. A zaj és a többszörösök csillapítása FK szűréssel hatásos volt. Az adatokat alacsony fedésszám jellemezte, így az összegzést bizonyos távolságonként csatornák csoportokba gyűjtésével volt célszerű végrehajtani.

A 12. ábrán egy ÉNy–DK irányítottágú többszörös profilt (Bal–04) mutatunk be, amely Csopak felől Balatonszéplak irányába halad mintegy 7 km hosszúságban. A reflexiók megbízhatóan kb. 60–100 ms időig értelmezhetők. Ebben a mélységben húzódik az akusztikus aljzat (a szarmata teteje), amely alatt már bizonytalanná válik a többszörösök megkülönböztetése a valódi reflexióktól. Markánsan jelenik meg a szelvényen 2 és 3,5 km között egy felboltozódás, ami láthatólag áttöri a szarmata rétegeket és benyomul a pannóniai összletbe. Alakja és gyenge belső rétegzettsége alapján valószínű, hogy bazaltintrúziót látunk, ami a tihanyi vulkáni tevékenységgel párhuzamosítható (HORVÁTH et al. jelen kötet).



12. ábra. A magyar–német együttműködés keretében felvett többcsatornás szeizmikus szelvény (Bal-04)

A szelvény hossza közel 7 km és Csopak–Balatonszéplak vonalában keresztezi a tavat. A Sar-1 jelölés a vastag reflexióköteggént jelentkező, az akusztikus aljzatot jelentő, szarmata mészkőréteg tetejét mutatja. A 2 és 3,5 km között látható alakzat bazaltintrúzióként értelmezhető

Figure 12. A roughly 7 km long multichannel seismic profile traversing the lake, in the direction from Csopak to Balatonszéplak

It was measured during the Hungarian–German joint field campaign. Sar-1 denotes the thick bundle of reflections generated by the Sarmatian limestone complex, representing the acoustic basement. In the middle of the section, between 2 and 3.5 km along the profile, seismic image of a basaltic intrusion can be seen

Zárszó

A Balaton több mint egy évszázados kutatása a hagyományos geográfiai és geológiai módszerekkel nem eredményezett általánosan elfogadott megoldást a tó eredetének és fejlődésének legfontosabb kérdéseiben. A MÁFI újabb paleontológiai és izotópgeológiai vizsgálatai egyértelművé tették a tó medrének kisebb tavakból való fokozatos kialakulását és ennek a folyamatnak az időrendjét (18–5 ezer év BP).

Továbbra is nyitott maradt azonban az, hogy a tómeder tektonikus vagy eróziós eredetű, pontosan milyen pannóniai rétegek vannak a tavi iszap alatt és ezek szerkezete támogatja, vagy cáfolja a longitudinális és meridionális szerkezetek tektonikus preformáltságát. A vízi mérések megbízható és látványos vizsgálatok mindezen problémák megválaszolására, különösen, ha a különböző felbontóképességű eljárásokat együttesen alkalmazzuk.

Köszönetnyilvánítás

A balatoni szeizmikus mérések tervezésében és kivitelezésében a szerzőkön kívül számos hazai és külföldi

kolléga is részt vállalt a hosszú évek során, akik munkájáért köszönettel tartozunk. Közülük ki kell emelnünk Bruno D'ARGENIO nápolyi professzort, aki HORVÁTH Ferenc társaságában kitalálta a balatoni szeizmikus méréseket. Az első mérés megszervezésében elévülhetetlenek CSERNY Tibor érdemei és neki köszönhetjük az ismeretséget a vízi szeizmikus kutatás kiemelkedő szakemberével, Tom MCGEE-vel is. Peter SIMPKINNEK, a Seistec műszer alkotójának, műszaki tudása mellett barátságát is élvezhettük több mérési kampány alkalmával. Ezek a mérések a tanszék hallgatóinak nem csak feladatot jelentettek, hanem életre szóló tapasztalatot a szeizmika szépségéről és hasznosságáról, köszönet illeti őket munkájukért.

A mérések megvalósításához a következő nagy projektek járultak hozzá: EU-TEMPUS (JEP-01506), EU-Integrated Basin Studies (JOU2-CT92-0110), EU-Marie Curie Training Program (MCFH-2001-00492), MTA-CNR 05/1, OTKA Tudományos Iskola (TS44765), OTKA TECTOP-Hungary (NK60445) és OTKA T037724. A szeizmikus adatok feldolgozása és értelmezése a Landmark University Grant által támogatott szoftverekkel történt.

Irodalom — References

- 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 Közöny*, jelen kötet.
- BULLA B. 1943: Geomorfológiai megfigyelések a Balaton felvidéken. — *Földrajzi Közlemények* **71/1**, 18–45.
- CHOLNOKY J. 1918: A Balaton hidrográfija. — LÓCZY L. (szerk.): *A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei*, I. kötet, 2. rész, 316p.
- CHOLNOKY J. 1936: *Balaton*. — Franklin, Budapest, 192 p.
- CSERNY, T. 1993: Lake Balaton, Hungary. — In: GIERLOWSKI-KORDESCH, E. & KELTS, K. (eds): *Global Geological Record of Lake Basins*. Cambridge University Press, Cambridge, 397–401.

- CSERNY T. 2002: A balatoni negyedidőszaki üledékek kutatási eredményei. — *Földtani Közlöny* **132/különszám**, 193–213.
- CSERNY T. & CORRADA, R. 1989: A Balaton medencéje és holocén üledékei részletes geofizikai-földtani vizsgálatának újabb eredményei. — *A MÁFI Évi Jelentése 1987. évről*, 341–347.
- CSERNY T. & CORRADA, R. 1990: A Balaton aljzatának szedimentológiai térképe. — *A MÁFI Évi Jelentése 1988. évről*, 169–176.
- CSERNY, 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.
- CSERNY T., PRÓNAY Zs. & NEDUCZA B. 2004: A Balatonon végzett korábbi szeizmikus mérések újraértékelése. — *A MÁFI Évi Jelentése 2004.*, 273–283.
- CSILLAG G., MAGYARI I., HÁMORI Z. & SZTANÓ O. 2010: A Kállai Kavics települési helyzete a Tapolcai-medencében geoelektromos szelvények és fúrás adatok tükrében. — *Földtani Közlöny* **140/2**, 183–196.
- ERDÉLYI M. 1961: Külső-Somogy vízföldtana, 1. — *Hidrológiai Közlöny* **41**, 445–528.
- ERDÉLYI M. 1962: Külső-Somogy vízföldtana, 2. — *Hidrológiai Közlöny* **42**, 56–65.
- HORVÁTH F. & DOMBRÁDI E. 2010: A magyar tektonika fejlődése a Balaton és környéke kutatásának tükrében. — *Földtani Közlöny*, jelen kötet.
- HORVÁTH F., SACCHI M. & DOMBRÁDI E. 2010: Posztrift medenceüledékek szeizmikus sztratifográfiai és tektonikai vizsgálata Dél-Dunántúlon és Balatonon. — *Földtani Közlöny*, jelen kötet.
- KÉZ A. 1943: Újabb teraszmegfigyelések a Zala mentén. — *Földrajzi Közlemények* **71**, 1–18.
- LÓCZY L. 1913: A Balaton környékének geológiai képződményei és ezeknek vidékek szerinti telepedése. — LÓCZY L. (szerk.): *A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei*, I. kötet 1. rész, 617 p.
- MAGYARI O. 1994: Szeizmoakusztikus mérések a Balatonon. — *Szakkolgozat, ELTE Geofizikai Tanszék*, Budapest, 29–69.
- MAROSI S. & SZILÁRD J. 1974: Újabb adatok a Balaton koráról. — *Földrajzi Értesítő* **23**, 333–346.
- MAROSI S. & SZILÁRD J. 1981: A Balaton kialakulása. — *Földrajzi Közlemények* **29/1**, 1–30.
- MIKE K. 1976: A Balaton kialakulása és fejlődése. — *Vízrajzi Atlasz sorozat* **21**, 30–39.
- MIKE K. 1980: A Balaton környéki neotektonika. — *Földrajzi Közlemények* **108/3**, 185–204.
- NAGY-BODOR E. & SZUROMINÉ KORECZ A. 2002: A Balaton negyedidőszaki üledékeinek legújabb sporomorpha és ostracoda eredményei. — *Földtani Közlöny* **132/különszám**, 214–222.
- NOVÁK D. 2006: A Pannon-tó deltasíksági kifejlődései (Tihanyi Formáció) Fonyód környékén. — *Szakkolgozat, ELTE FFI Általános és Történelmi Földtani Tanszék*, Budapest, 92 p.
- NOVÁK D., KONCZ D., HORVÁTH A., SZAFIÁN P. & SZTANÓ O. 2010: Egy pleisztocén folyó kanyarulata Fonyódnál: medernyomok a balatoni iszap alatt ultra nagy felbontású szeizmikus szelvényeken. — *Földtani Közlöny*, jelen kötet.
- SACCHI, M. 2001: Late Miocene evolution of the Western Pannonian basin, Hungary. — *Doktori (PhD) értekezés, ELTE TTK Geofizikai Tanszék*, Budapest.
- 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 Miocen 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**, 357–390.
- SIMPIN, P. G. & DAVIS, A. 1993: For seismic profiling in very shallow water, a novel receiver. — *Sea Technology* **34**, 21–28.
- SÜMEGHY J. 1953: Medencéink pliocén és pleisztocén rétegtani kérdései. — *A MÁFI Évi Jelentése 1953-ról*, 395–404.
- TIMÁR, G., CSILLAG, G., SZÉKELY, B., MOLNÁR, G. & GALAMBOS, Cs. 2010: A Balaton legnagyobb kiterjedésének rekonstrukciója a függőleges kéregmozgások figyelembevételével — *Földtani Közlöny*, jelen kötet.
- TÓTH T. 2003: Folyóvízi szeizmikus mérések. — *Doktori (PhD) értekezés, ELTE TTK Geofizikai Tanszék*, Budapest, 141 p.
- TÓTH Zs. 2009: Balatoni többcsatornás vízi szeizmikus mérések feldolgozása és értelmezése. — *Szakkolgozat, ELTE FFI Geofizikai és Űrtudományi Tanszék*, Budapest, 87 p.
- VINCZE O. 2006: Szeizmotektonikus vizsgálatok a Balaton keleti medencéjének környezetében nagy és ultranagy felbontású szeizmikus szelvények alapján. — *Szakkolgozat, ELTE FFI Geofizikai Tanszék*, Budapest, 73 p.

Kézirat beérkezett: 2010. 03. 30.