

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM – TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

GEOFIZIKAI ÉS ŰRTUDOMÁNYI TANSZÉK

BALATONI VÍZI SZEIZMIKUS SZELVÉNYEK KÖRNYEZETGEOFIZIKAI VIZSGÁLATA

VISNOVITZ FERENC

Okleveles környezetkutató

A PhD értekezés tézisei



Témavezető:

Dr. Horváth Ferenc, professzor emeritus

ELTE Környezettudományi Doktori Iskola

Vezető: Dr. Jánosi Imre, egyetemi tanár

Környezeti Földtudomány Doktori Program

Vezető: Dr. Szabó Csaba, egyetemi docens

BUDAPEST

2015

A doktori kutatás előzményei és célkitűzései

A Balaton területén 1993 óta folynak vízi szeizmikus mérések az ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszékének gondozásában. Korábbi OTKA pályázatok és nemzetközi együttműködések révén mára egy olyan egyedülálló szeizmikus adatbázis jött létre, amely soha nem látott részletgazdagsággal tárja fel a tó alatti rétegeket (Tóth et al. 2010). A nagy- és ultranagy felbontású szelvényezések eredményeit vizsgálva számos új jelenségre derült fény, melyek jobb megértéséhez az adatrendszer egységes és átfogó környezetgeofizikai értelmezése vált szükségessé.

A kutatások alapján a Balaton alatti üledékek alapvetően három különböző rétegtani egységet képviselnek. A 10-250 méter mélységben húzódó alapközetek (akusztikus aljzat) felett elsődlegesen delta- és deltasíksági képződmények találhatók, melyek a térséget közel 8 millió éve elborító Pannon-tó (pannon emelet) medenceperemi környezetében képződtek. A pannon rétegekre negyedidőszaki üledékek települnek, melyeket alulról egy markáns eróziós diszkordancia felület határol. Ez a kvarter rétegsor két részből áll. Az idősebb egységet pleisztocén folyóvízi-ártéri üledékek alkotják, melyek egy újabb eróziós felülettel különülnek el a fiatal, pleisztocén-holocén tavi iszaptól. Utóbbi horizontálisan jól rétegzett, és a szeizmikus megfigyelések alapján gyakran gázzal szaturált.

A Balatonon végzett korai szeizmikus mérések elsődlegesen a tó Siófoki-medencéjére koncentráltak, ahol a tavi iszap kismértékű gázzaturáltsága kedvező volt a szeizmikus leképezéshez. A mérések célja a tó alatti pannon rétegsor és a szerkezeti elemek térképezése volt (pl.: Sacchi et al. 1998; 1999; Bada et al. 2010; Horváth et al. 2010). A pannon rétegek részletes sztratigráfiai és szerkezeti vizsgálata mellett a tómeder morfológiájának és kvarter rétegsorának vonatkozásában is készült néhány tanulmány (pl.: Novák et al. 2010; Zlinszky et al. 2010).

Doktori munkám elsődleges célja az elmúlt 25 évben összegyűlt nagy mennyiségű szeizmikus adat egységes adatbázisba való integrálása és átfogó környezetgeofizikai értelmezése volt. A munka során szisztematikusan vizsgáltam és térképeztem a Balaton alatti főbb rétegtani egységeket. Kutatásaim kiterjedtek a pannon és kvarter rétegsorra, valamint a tó alatt azonosítható vetőrendszer szerkezeti vizsgálatára is.

A *pannon rétegek vizsgálatánál* a rétegsor sztratigráfiai felosztása mellett az egykori üledékképződési környezet jellemzésére fókuszáltam. A kutatás főbb kérdései az alábbiak voltak:

- Hogyan és milyen egységekből épül fel a Balaton alatti pannon rétegsor?
- Milyenek voltak és milyen kőzetanyagból épültek fel a térséget feltöltő egykori üledékes rendszerek?
- Hogyan és milyen irányokba zajlott a térség feltöltése? Mi befolyásolta a feltöltés irányát?
- Voltak-e a területen a Pannon-tó relatív vízszintjében jelentős változások?
- Milyen lehetett az egykori öskörnyezet a Dunántúli-középhegység déli előterében?

A *szerkezeti-tektonikai vizsgálatok* során a Balaton alatt korábban kimutatott nyírási zóna (Bada et al. 2010) szerkezeti térképezésére koncentráltam. Utóbbi a tó nyugati medencéiben teljesen új tudományos vizsgálatokat jelentett. Igyekeztem tisztázni, hogy:

- Milyen vetőkből épül fel az említett nyírási zóna, és mi a vetők funkcionális szerepe a törésrendszeren belül?
- Milyen jellegűek és mértékűek lehettek a zónán belüli vertikális, illetve horizontális elmozdulások?

A *negyedidőszaki üledékekkel kapcsolatos kutatásoknál* elsődlegesen a folyóvízi és tavi fázis üledékeinek lehatárolására, azok elterjedésének és vastagságviszonyainak térképezésére törekedtem. A pleisztocén folyóvízi-ártéri üledékek térképezésével azokat a környezeti változásokat kívántam feltárni, amelyek a mai tómedence fokozatos előntéséhez és az egységes Balaton kialakulásához vezettek.

A *tavi iszap vizsgálata* során, a szeizmikus szelvényeken változatos mélységekben és formákban megjelenő *sekélygáz felhalmozódásokra* helyeztem a hangsúlyt. A vizsgálatok során az alábbi alapvető kérdésekre kerestem választ:

- Milyen formában és mitől függően jelentkeznek a gáz okozta anomáliák a szeizmikus felvételeken?
- Milyen a gázok térbeli eloszlása, és az milyen szabályosságokat követ?
- Felismerhető-e a gázok jelenlétében és/vagy kiterjedésben valamiféle szezonális változás, és ha igen, akkor mi a szezonális oka?
- Mi a gázok lehetséges eredete? Hogyan függ össze a gázok jelenléte a térség negyedidőszaki fejlődéstörténetével, földtani felépítésével és szerkezeti deformáltságával?

A munkám során tett megfigyeléseket és értelmezéseket igyekeztem közérthetően és áttekinthető módon közreadni, hogy doktori értekezésem új kiindulópontja lehessen a térségbeli környezetföldtani és egyéb céllal induló jövőbeli kutatásoknak.

Az alkalmazott kutatómódszer

A kutatómunka során szeizmikus értelmezést és térképezést végeztem egy arra kidolgozott értelmező szoftver (Kingdom 8.5) segítségével. A szeizmikus kutatások során elsődlegesen a klasszikus értelemben vett földtudományi módszerekre és sekély geofizikai eszközökre támaszkodtam. A szeizmikán látható különböző léptékű geometriákat fúrások rétegsoraival, geofizikai görbékkel, földtani és geofizikai térképekkel, domborzati modellekkel és feltárások leírásával vettem össze.

A kutatás újszerűségét maga a felhasznált adatrendszer, annak minősége és speciális jellege adta. A doktori munka keretében feladatomban volt egy olyan egységes adatbázis felállítása, mely lehetőséget ad a korábban rögzített, különböző felbontású és behatoló képességű vízi szeizmikus szelvények integrált értelmezéséhez. Az új adatrendszer segítségével alkalmam nyílt a különböző léptékű folyamatok összekapcsolt értelmezésére és az adatbázisok szelvényeinek együttes kiértékelésére is. A PhD időszak során a meglévő szelvények mellett újabb méréseket is terveztem, azok kivitelezését és feldolgozását koordináltam. Az új ultranagy felbontású egycsatornás, és nagyfelbontású többcsatornás mérések a tó eddig kevésbé vizsgált nyugati felére koncentráltak, hogy a korábbi adatrendszert kiegészítve lehetővé tegyék a tó egész területére kiterjedő átfogó értelmezést.

Az egy- és többcsatornás mérések kezelése mellett feladatomban volt az 1993-es ún. „olasz” mérések adatbázisba való illesztése is. Ezeket az egykor VHS videó kazettákon rögzített anyagokat digitalizáltam, felkoordináltam és az alapvető feldolgozási lépések után az adatbázisba illesztettem. A fenti szelvények a két előbbi módszer közötti felbontással és behatoló képességgel rendelkeztek. Adatbázisba integrálásuk révén lehetővé vált a különböző adatokon végzett korábbi szeizmikus értelmezések összevetését, mely által egy eddigieknél sokkal pontosabb környezeti rekonstrukciót hozhattam létre.

A kutatás eredményei – tézisek

PhD értekezésemben megfigyeléseimet és az azokból levont következtetéseket a Balaton alatti rétegsort követve 4 fő fejezetben tárgyalom. Az első részben a pannon rétegsorhoz tartozó öskörnyezet és különböző sztratigráfiai jelenségek vizsgálatával foglalkozom, a másodikban és a harmadikban a tó alatti üledékeket ért szerkezeti deformációkat és a negyedidőszaki rétegsort térképezem, míg a negyedikben a tavi iszap sekélygáz rendszerét tanulmányozom. Munkám során a következő, tézisekbe foglalt fontosabb eredményekre és megállapításokra jutottam:

- (1) A szeizmikus adatok alapján a Balaton alatti több mint 200 méter vastag pannon rétegsort egymással közel párhuzamos diszkordancia felületek tagolják, melyek között progradáló lejtőépülés figyelhető meg. Az ultranagy felbontású szelvényeken ezek a felszínek jól térképezhetők, és összhangban [Sztanó & Magyar \(2007\)](#) megfigyelésével negyed- és ötödrendű paraszekvencia határokként azonosíthatók. A regionálisan követhető határok mentén a rétegsor nagyobb hierarchiájú tagolása is lehetséges. Ezeket az egységeket [Sztanó et al. \(2013\)](#) munkája nyomán egymást követő deltaciklusok termékeiként értelmezhetjük. A nagyfelbontású szeizmikán 3 nagyobb, és több kisebb deltaciklus termékei követhetők, melyek a Dunántúli-középhegység déli előterében egy Ny-K irányba építkező feltöltődési rendszert hoztak létre a kelet felé fokozatosan emelkedő egykori aljzat felett. Adataim alapján a fenti feltöltődési irányok egy oldalirányba kiterjedő hatalmas deltarendszerrel magyarázható, mely a pannóniai korszakban már létező középhegységi aljzatmagaslat déli előterében építkezett.
- (2) Fúrási adatok vizsgálata alapján arra jutottam, hogy a fenti deltarendszer részei az ún. pannon „medenceperemi” litosztratigráfiai egységekkel (Száki Formáció, Somlói Tagozat, Tihanyi Tagozat) korrelálhatók. Eredményeim azt mutatják, hogy a Balaton környéki Somlói Tagozat rétegei a térséget feltöltő korai deltaciklusok lejtőanyagával, míg a Száki Formáció rétegei ugyanezen delták lejtőlábi rétegsorával azonosíthatók. A Tihanyi Tagozat rétegeinek elterjedése a fenti ciklusok fedőrétegeivel és a későbbi vékonyabb deltaciklusok anyagával mutat jó egyezést.
- (3) A Balaton alatti pannon rétegeket harántoló vetőket térképezve megállapítottam, hogy a tó alatti szerkezetek mentén a vertikális elmozdulások mértéke erősen limitált, néhány decimétertől tíz-tizenöt méterig terjed. A tó alatt nyomozható finom szerkezetek egy számos vetőszegmensből álló bonyolult szerkezeti zónához tartoznak, amely a tó Siófoki- és Szemesi-medencéjében egyaránt követhető. A térképezett vetőket klasszikus szerkezeti modellekkel és analóg modellkísérletek eredményeivel összevetve igazoltam, hogy a Balaton alatt egy balos nyírási zóna húzódik, melyen belül a másodlagos szerkezeti elemek összekapcsolódásával ún. duplex szerkezetek jöttek létre. A leglátványosabb ilyen szerkezetet a Szemesi-medence aljzatában sikerült azonosítanom.
- (4) A Balaton alatt térképezett vetőmintázat és analóg kísérletek összehasonlítása alapján tisztáztam, hogy a Balaton alatti vetőrendszerhez kapcsolódó horizontális elvetések erősen limitáltak. A Szemesi-duplexen átmenő többcsatornás szelvények és a Balaton-vonal szerkezeti vizsgálat alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a zóna menti horizontális elmozdulás mértéke nem haladhatja meg a néhány 100 métert.

- (5) A térség negyedidőszaki fejlődése során két különböző környezeti állapotot azonosítottam. Ezek közül a fiatalabb a Balatonhoz, míg az idősebb, a tavat megelőző folyóvízi állapothoz kapcsolódik. Munkám során bemutattam a fenti környezetekhez tartozó rétegek szeizmikus képét, és térképeztem a kapcsolódó üledékek vastagságát és térbeli kiterjedését is. Megfigyeléseim egy olyan prebalatoni folyórendszer létezését támasztják alá, melynek felhagyott medreiben a pleisztocén kor végén tőzegképződés is zajlott.
- (6) A követett iszapreflexiók és térképek segítségével igazoltam, hogy a Balaton nyugati medencéinek déli peremén egy pleisztocén korú tóterasz húzódik. Utóbbi perem elöntése csak a holocén során, az egységes víztükör kialakulásának kései fázisában valósult meg. A szeizmikus szelvények alapján az elöntésben a tavi vízszint megváltozása mellett fontos szerepe volt a Dunántúli-középhegység kiemelkedésének is.
- (7) A balatoni iszap vizsgálata során részletekbe menően foglalkoztam az iszapban található sekély gázokkal. Vizsgáltam és csoportosítottam a gázok keltette szeizmikus anomáliákat, melyeket szeizmikus képük és iszapban elfoglalt helyzetük alapján 8 fontosabb anomália típusba és 3 különböző gázszintbe soroltam. A gázanomáliák térképezésével kimutattam az iszapban található szabad gázok időbeli és térbeli változékonyságát. Megállapítottam, hogy a tavi iszapban, a tó területének közel fele alatt a szabad gáz jelenléte állandó, a gáz tartalmú zóna mélysége azonban időben változhat. A tó másik felének 2/3-án a gázok csak lokálisan vagy elvétve jelentkeznek, míg a maradék 1/6-nyi területen a gázok jelenléte időben és/vagy térben igen nagy változékonyságot mutat. Megfigyeléseim azt támasztják alá, hogy a balatoni gázfrontok a nyár végén és az őszi időszakban sokkal kiterjedtebbek és sekélyebbek, mint tavasszal vagy nyár elején.
- (8) Az iszap alsó részében jelentkező gázanomáliák esetében arra jutottam, hogy a hozzájuk kapcsolódó gázsaturáció jelenléte időben állandó, és a tavi üledékképződés korai fázisában képződött tőzegrétegekkel, valamint mélységi gázfeláramlásokkal hozható összefüggésbe. A sekélyebb mélységben jelentkező gázok esetében bebizonyosodott azok időbeli változékonysága. A partközeli, stabilnak tűnő gázfrontok fokozatos szétoszlását és térbeli-időbeli változását az üledékben bekövetkező oldhatósági viszonyokkal, a szerves anyag egyenlőtlen eloszlásával valamint mikrobiális változásokkal magyaráztam. Utóbbi változásokat elsődlegesen a gázszintek szezonális megjelenésében és eloszlásában tudtam megfogni, melyeket láthatóan csak kis mértékben módosít a különböző gázszintek ugyancsak szezonális, vertikális eltolódása. A

gázrendszer időbeli-térbeli változását egyszerűsített elméleti modellek segítségével illusztráltam.

- (9) Kutatásaim során elemeztem a sekély gázok lehetséges forrásait a szeizmikus megfigyelések és az elérhető irodalmi adatok alapján. Megállapítottam, hogy a gázok elsődleges forrása az iszapban termelődő metán, de a metán mellett a gázok mélységi forrásokból történő felfelé mutató migrációja is lehetséges. Utóbbi feltehetőleg CO₂-ot szállít a tavi üledékekbe a tektonikus szerkezetek és a tó alatt megcsapolódó felszínalatti vízáramlási pályák mentén. A gáz eredetére vonatkozó megfigyeléseimet egy hipotetikus tavi keresztshelvényben összegeztem.

A munka főbb következtetései, a további kutatások iránya

Doktori munkám során arra a megállapításra jutottam, hogy a vízi szeizmika, és ezáltal a balatoni szeizmikus adatbázis is, egy kiváló eszköz a Balaton térségének részletes környezetföldtani vizsgálatára. A különböző behatolási mélységű és felbontású szelvények révén a tó alatti üledékes környezetek nagy időtávlatban, mind regionális, mind lokális skálán igen pontosan vizsgálhatók. A balatoni sekélygázok vizsgálata azonban rámutatott, hogy ez az adatrendszer önmagában nem képes teljes képet adni a tavi iszap környezeti állapotáról. A Balaton térségének környezeti változásainak jobb megértéséhez a geofizikai szelvényezés mellett a jövőben különböző tudományterületek, mint például a limnológia, hidrobiológia, mikrobiológia, üledékföldtan és a geokémia szorosabb együttműködésére van szükség. Doktori munkámban ennek megfelelően igyekeztem azokra a tudományos kérdésekre is rámutatni, amelyekben csak ilyen együttműködések keretében, és integrált környezetkutatás révén tudunk majd előrelépni.

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 Közlöny* 140/4, 367-390.
- Horváth F., Sacchi M., Dombrádi E. 2010. A Pannon-medence üledékeinek szeizmikus sztratigráfiai és tektonikai vizsgálata a Dél-Dunántúl és a Balaton területén. — *Földtani Közlöny* 140/4, 391–418.
- 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., Cserny T., Dövényi P., Horváth F., Magyarai O., McGee T.M., Mirable L., Tonielli R. 1998. Seismic stratigraphy of the Late Miocene sequence beneath Lake Balaton, Pannonian basin, Hungary. — *Acta Geologica Hungarica* 41/1, 63–88.
- 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: 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.
- Sztanó O. & Magyar I., 2007. Deltaic parasequences on gamma logs, ultra-high resolution seismic images and outcrops of Lake Pannon deposits. — *Joannea Geologie und Palaontologie* 9, 105–108.
- 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 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, 355–366.
- Zlinszky A., Molnár G., Székely B., 2010. A Balaton vízmélységének és tavi üledékvastagságának térképezése vízi szeizmikus szelvények alapján. — *Földtani Közlöny* 140/4, 429-438.

A dolgozat téziseinek alapjául szolgáló tudományos közlemények

Folyóirat cikkek

Visnovitz F., Horváth F., Fekete N., Spiess V., 2015. Strike-slip tectonics in the Pannonian basin based on seismic surveys at Lake Balaton. — *Int. J. Earth Sciences*, doi: 10.1007/s00531-015-1179-x.

Visnovitz F., Bodnár T., Tóth Zs., Spiess V., Kudó I., Timár G., Horváth F., (in press). Seismic expressions of shallow gas in the lacustrine deposits of Lake Balaton, Hungary. — *Near Surface Geophysics*.

Konferencia tanulmányok

Visnovitz F., 2013. Késő-miocén sekélyvízi deltalebeny épülés balatoni nagyfelbontású vízi szeizmikus szelvényeken. — *PEME, VI. PhD Konferencia*, Budapest, Hungary, Tanulmány, 684-693.

Visnovitz F. & Horváth F., 2013. Pleistocene sediments under the Lake Balaton's mud layer. — In: Zákányi B. & Faur K., (eds). IX. *Kárpát-medencei környezettudományi konferencia* Miskolc, Magyarország: *Konferencia kiadvány*, 230-236. (ISBN:978-963-358-032-5)

Konferencia absztraktok

Visnovitz F., 2012. Stratigraphy of Late Miocene basin fill below Lake Balaton. — *XLIII. Ifjú Szakemberek Ankétja*, Tatabánya, Absztrakt kötet, p. 58.

Visnovitz F., Sztanó O., Horváth F., 2015. Progradation of Late Miocene delta clinofolds in the foreland of the Transdanubian Central Range. — In: Bartha I. R., Kriván Á., Magyar I., Sebe K. (eds): *6th Workshop on the Neogene of Central and South-Eastern Europe Conference*, Orfű, Magyarország, Absztrakt kötet (kiadta a Magyarhoni Földtani Társulat), p. 97. (ISBN 978-963-8221-57-5)

További közlemények a dolgozat témájában

Folyóirat cikkek

Visnovitz F., Tóth T, Hámori Z., Kudó I., Balázs A., Sacchi M., Surányi G., Horváth F., 2013. Balatoni egysatornás, nagy felbontású szeizmikus szelvények újrafeldolgozása. — *Magyar Geofizika* 54/2, 77-88.

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. — *Magyar Geofizika* 54/2, 67-76.

Konferencia tanulmányok

Visnovitz F. és a balatoni szeizmikus kutatócsoport (Spiess V., Fekete N., Tóth Zs., Wenau S., Ramos C., Bergmann F., Balázs A., Hámori Z., Kudó I., De Simone C., Cazzaniga D., Esposito C., Horváth F., Timár G.) 2012. Késő-miocén üledékrétegek szeizmikus kutatása a Balaton középső medencéjében. — *Környezettudományi Doktori Iskolák konferenciája kiadvány*, 12-19. ISBN 978-963-284-242-4,

Visnovitz F., Bodnár T., Horváth F., 2014. Seismic Characteristics of Gas Accumulations in Sediments of Lake Balaton, Hungary. — *Near Surface Geoscience 2014 - First Applied Shallow Marine Geophysics Conference*, Athén, Bővített Absztrakt, *EAGE EarthDoc*, doi: 10.3997/2214-4609.20142137.

Konferencia absztraktok

Visnovitz F., 2013. Balatonfő line in ultrahigh-resolution: a neotectonic fault zone under Lake Balaton. — *XLIV. Ifjú Szakemberek Ankétja*, Békéscsaba, Absztrakt kötet p. 18.

Visnovitz F. & Horváth F., 2013. Balatonfő line in ultrahigh-resolution: a neotectonic fault zone under Lake Balaton. — *In: Fodor L. & Kövér Sz. (eds). Occasional papers of the Geological and Geophysical Institute of Hungary 1, 11. CETeG találkozó, Várgesztes*, Absztrakt kötet, 73-74. (ISBN: 978-963-671-294-5)

Visnovitz F., Balázs A., Horváth F., 2013. High-resolution seismic surveys in the Lake Balaton to image the stratigraphic architecture of Late Miocene basin fill beneath the lake — *Geophysical Research Abstracts* 15, EGU2013-969.

Visnovitz F., Horváth F., Surányi G., 2014. Geometry-Lithology-Origin: Solving the mystery of the Late Miocene mounded features below Lake Balaton. — *Geophysical Research Abstracts* 16, EGU2014-781-2.