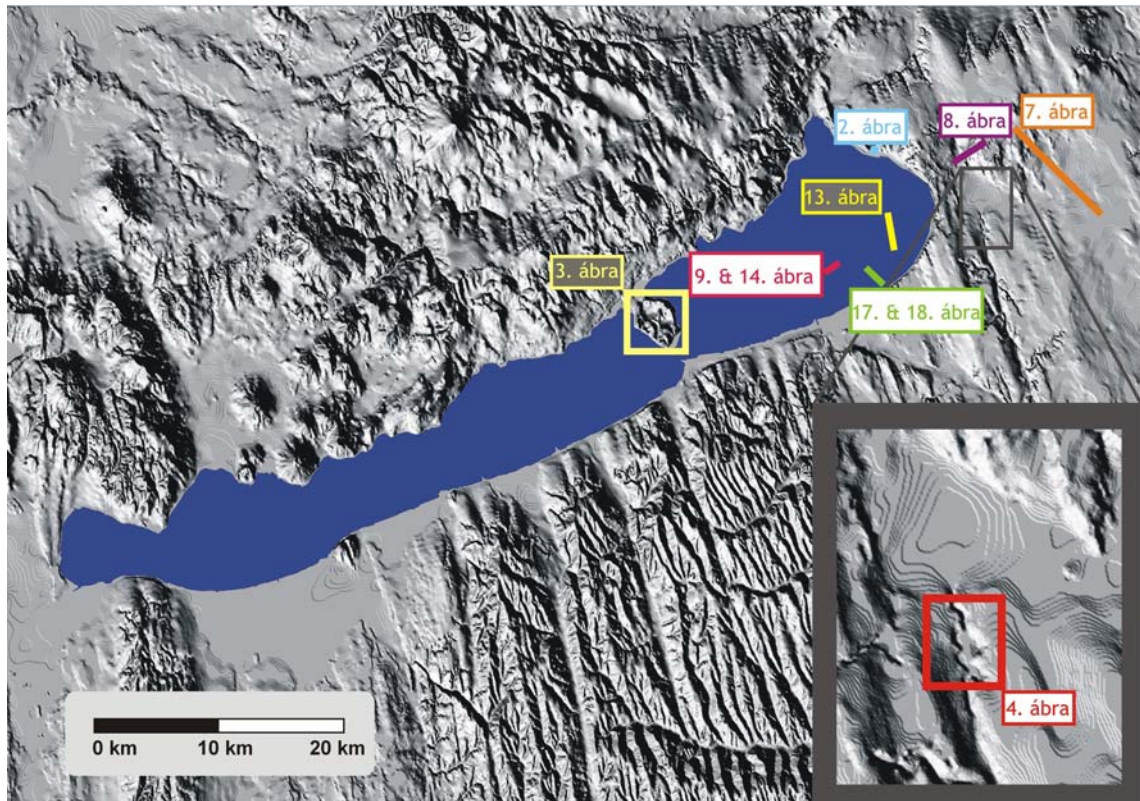


A részletes szakmai jelentésünket a szerződésben foglalt munkaterv pontjai alapján állítottuk össze.

1. Adatbázis építés

A projekt futamideje alatt született különböző mérési eredmények folyamatosan rögzítésre kerültek. Az így felépülő adatbázis lehetőséget teremtett arra, hogy a földtani-szerkezeti értelmezést, a Balaton és környékének negyedidőszaki fejlődéstörténetének valamint egykori és mai környezeti állapotának rekonstruálására tett kísérletünket integrált módon hajtsuk végre. Eredményeink bemutatására ebből az adatbázisból a jelentésben számos geofizikai módszer által nyújtott információt hozunk fel példaként, melyek helyszínrajzát a Balaton környékének nagy felbontású digitális domborzati modelljén jelenítettük meg (1. ábra).



1. ábra

A bemutatásra szánt mérési eredmények helyszínrajza a Balaton és környékének digitális domborzati modelljén. A modell horizontális felbontása 20 méter.

2. Mágneses szuszeptibilitás mérések

A szuszeptibilitás mérések első sorban a Balaton környezetére, illetve a Balaton iszapjából vett fúrómagokra koncentráltak, de történtek mérések másutt is, melyek célja környezeti állapotfelmérés volt.

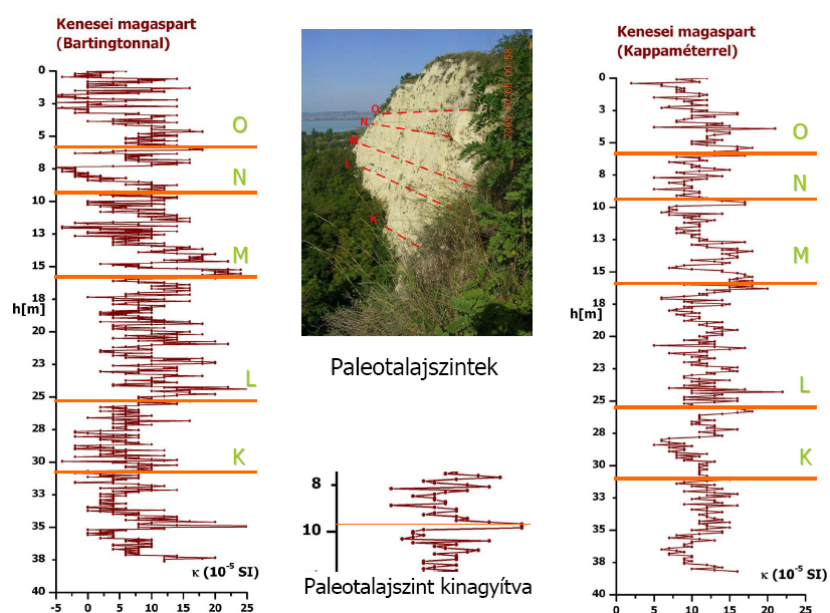
Az észak-somogyi Látrány homokbányájában valamint Balatonszárszó külterületén építendő völgyhíd bevágásában pannon korú üledékek mágneses szuszeptibilitás szelvényezése történt meg. A látrányi homokbányában felvett szelvények közül kettőben a homok közel homogénnek tűnt, két másik szelvény esetében azonban vékony kavicsrétegek voltak beágyazva az anyagba. Ezek valószínűsíthetően bazalt kavicsokat is tartalmazhattak, mivel kiugró szuszeptibilitás értékeket produkáltak. E két szelvény egymástól 5-6 méter távolságban helyezkedett el, az őket összekötő, kipreparálódott, ezért jól követhető rétegek mentén próbáltunk meg korrelációt kimutatni. Általánosságban elmondhatjuk, hogy a rendkívül jó minőségű pannon homok közel szennyeződésmentesnek bizonyult. A kis, közel mérés határ közeli (néhányszor 10^{-5} SI egység) szuszeptibilitási értékek miatt a rétegeket nem különültek el szignifikáns módon. Két szelvény

esetén azonban sikerült a beágyazódott, valószínűleg folyóvízi eredetű, apró kavicsrétegeket azonosítani a viszonylag nagyobb κ értékek alapján.

Az épülő M7-es autópálya völgyhídi bevágásánál létesített szelvények változatos színű, kinézetű kemény üledékeket harántoltak (agyagos-homokos, sötét-barna), ám az értékek szempontjából itt is igen kis mágneses szuszceptibilitást tapasztaltunk. Jelentősebb eltérést csupán egy szelvényben tapasztaltunk a pannon rétegek felett található talajban, melyet a szuszceptibilitás értékek alapján két rétegre lehetett osztani, amelyek szuszceptibilitása lefelé nőtt.

A Külső-Somogy és a Balatonfő területén, hat feltárásban negyedidőszaki összleteken mintegy 130 méternyi szelvényt vettünk fel 5 ill. 10 cm-es felbontásban. A mérések célja a különböző üledékek és a bennük található paleotalajsintek azonosítása és korrelálása volt. A vizsgálatok eredménye azt mutatta, hogy a terepen felvett szuszceptibilitás szelvények hossza, a fiatal képződmények mágneses paramétereinek változatossága és a relatíve kis értékek nem teszik lehetővé a nagy kiterjedésű területeken a szelvények közötti korrelációt.

A Balatonfő területén végzett mérések közül a Balatonkenesén található magaspart Tihanyi Formációba tartozó összletén mért szelvényt érdemes külön kiemelni. Az összletet 5 jól megkülönböztethető paleotalajsint tagolja, amelyek nagyobb szuszceptibilitás értékekkel jellemeztek, és a litológiában is jól elkülöníthetők (2. ábra).



2. ábra

A balatonkenesei magaspart felszínén elkülöníthető paleotalajsintek és a két különböző műszer által mért mágneses szuszceptibilitás szelvények.

A környezet állapotának felmérésében, különösen az ipari tevékenységből és a közlekedésből származó porszennyezés detektálásában és kiterjedésének körülhatárolásában a mágneses szuszceptibilitás egyre jelentősebb szerephez jut, mivel mind a terepi, mind a laboratóriumi szuszceptibilitás mérések összehasonlíthatatlanul gyorsabbak és költséghatékonyabbak mint az egyéb, hasonló célú módszerek (pl. kémiai analízis). Erre a célra a szuszceptibilitás azért alkalmas, mert a szennyezőforrások által kibocsátott por, noha kis részben, de mindig tartalmaz mágneses részecskéket is, amelyek nyomkövetőként a porral együtt a talajra, az épületek falára, a fák kérgére és levelére stb. kiülepednek, miáltal a porterhelés mértéke (beleértve az összes élőlényre potenciálisan veszélyes toxikus nehézfémeket is) szuszceptibilitás méréssel kimutathatóvá és időben követhetővé válik. A projekt folyamán a módszert több különféle környezeti komponensre alkalmaztuk. Idevágó közleményünkben (Márton & Márton, Magyar Geofizika, 47, 27, 2006) többek között az ipari tevékenység, a közúti és a városi forgalom által előidézett szennyezések rovására írható szuszceptibilitás anomáliákat mutatunk be. Az ipari tevékenységből eredő szennyezés kimutatására egy É-szlovákiai vasgyár környezetében lévő erdős területen végeztünk szuszceptibilitás méréseket mind az avaron, mind a legfelső talajsintből vett mintákon. Kimutattuk, hogy a helyi talajban talált lokális szuszceptibilitás anomáliák egyrészt a gyár által kibocsátott és a talajba kerülő mágneses részecskéktől származnak, másrészt pozitív korrelációban vannak a szennyező forrásra jellemző fémek (Cu, Pb, Mn) koncentrációival. Ez utóbbi munkáról

szóló önálló publikációnk kézírata elbírálás alatt áll (Klučiarova et al., kézirat, 2007). Mágneses szuszceptibilitás vizsgálatokat laboratóriumi körülmények között fúrómagokon is végeztünk. A Balaton mederüledékeinek mintázása mellett sor került néhány szárazföldi fúrás lemélyítésére is a tó környezetében lévő lápok területén is. A mintavételi helyek kijelölése ultra-nagy felbontású vízi szeizmikus felvételek alapján történt. A fúrási kampány során 30 méternél több magminta került eltárolásra tanszéki laboratóriumunkban a paleolimnológiai szabványnak megfelelő 0-4 °C hőmérsékleten. A magvételt követő laboratóriumba történő szállítás után a magokat először mágneses szuszceptibilitás mérésnek vetettük alá. A mérés célja volt egyrészt, hogy általános képet nyújtson a minták mágnesezhetőségéről, valamint, hogy a minták szuszceptibilitását összevessük az azokon megfigyelhető üledékföldtani jellegzetességekkel. Általánosan elmondható, hogy a szuszceptibilitás mértéke követi az üledék szemcseméretbeli változásait, de a szabad szemmel homogénnek tűnő szakaszokon is mutat jelentős változásokat.

3. Archeomágneses és nagyfelbontású terepi mágneses mérések

A klasszikus archeomágneses vizsgálatok a regionális földmágneses tér évszázados léptékű változásainak megismerését szolgálják a történelmi-történelem előtti korokra, vagyis a közvetlen földmágneses észleléseket megelőző időkre vonatkozólag. A vizsgálatok tárgyai régészeti ásatások nyomán napvilágra került, régészetileg vagy egyéb módszerrel keltezett (keltezhető), helyben maradt égett vagy égetett agyag struktúrák (objektumok), amelyekről feltehető, hogy remanens mágnesezettségüket az utolsó használatukat követő lehűlésük alatt ható földmágneses térben, azzal párhuzamos irányban vették fel.

A magyarországi archeomágneses vizsgálatok helyzetéről a jelen projekt indulásakor Márton (*Geophys. J. Int*, **153**, 675, 2003) publikációja ad számot. Ebben, a mintegy 20 éves kutatás eredményeként előállt 159 archeomágneses irány adat (deklináció és inklináció pár) szerepel i. e. 350 és i. sz. 1800 között, és az ezekből statisztikai módszerekkel megszerkesztett évszázados irányváltozási görbék. A projekt futamideje alatt 47 új archeomágneses adatot állítottunk elő, amely közel 30%-os növekedés az induláshoz képest. A vizsgált objektumok különféle rendeltetésű kemencék maradványai voltak, amelyekből objektumonként átlagosan 10 irányított mintát vettünk. Mértük és analizáltuk a minták mágnesezettségét, azonosítottuk a primer (az ősi) komponenseket, majd képeztük ezek objektum szintű átlagait (archeomágneses adat). 2005 végére adataink száma 189-re emelkedett. Az így kibővült adatrendszer, illetve az ebből új statisztikai megközelítéssel származtatott évszázados irányváltozási (deklináció és inklináció) görbéket 2006-ban publikáltuk (Márton & Ferencz, *Geophys. J. Int*, **164**, 484, 2006). Eredményeinket a nemzetközi archeomágneses közösség publikációkban idézi és felhasználja, többek között, a közeli országok (Ausztria, Románia, Németország) archeoszekuláris mágneses irányváltozásainak kutatásában. Az utolsó évben létrehozott 21 további adat értelmezése, és a teljes 206 adat feldolgozása újabb dolgozat tárgya lehet, amennyiben a régészeti keltezés reambulációját is sikerül az illetékes régészek együttműködésével a közeljövőben megvalósítani.

Az archeomágneses vizsgálatokba az ember által készített objektumok mellett természetes, viszonylag fiatal földtani képződmények is bevonhatók, amennyiben stabil remanens mágnesezettséget hordoznak, amelyet ismert időben, az egyidejűleg ható földmágneses térben, azzal párhuzamos irányban vettek fel.

A projekt folyamán kísérletet tettünk a Balaton holocén korú iszapjának archeomágneses célú mérésére. Minthogy a Balaton sekélyvízű, időszakos lefolyással rendelkező tó, amelynek üledékeit a hullámozás, a szélhajtotta és egyéb áramlások időről-időre átrendezhetik, a kísérlet sikere eleve kétségesnek látszott. A balatoni iszap ugyanakkor szeizmikusan vízszintes településű, rétegzett üledéknek mutatkozik (l. vízi szeizmikus mérések), amelynek még a legfelső, híg részében sem lehetett komoly mértékű keveredést kimutatni, tehát a legfelső mintegy 25 cm-től eltekintve konszolidálnak tűnik. Ezen utóbbi megfigyelésekre alapozva kíséreltük meg az iszap mágnesezettségének vizsgálatát a nyílt vízen fúrt két mag (31, ill. 53 minta) felhasználásával. A remanencia analízise mellett mágneses ásványtani meghatározásokat is végeztünk a remanencia potenciális hordozóinak azonosítása céljából.

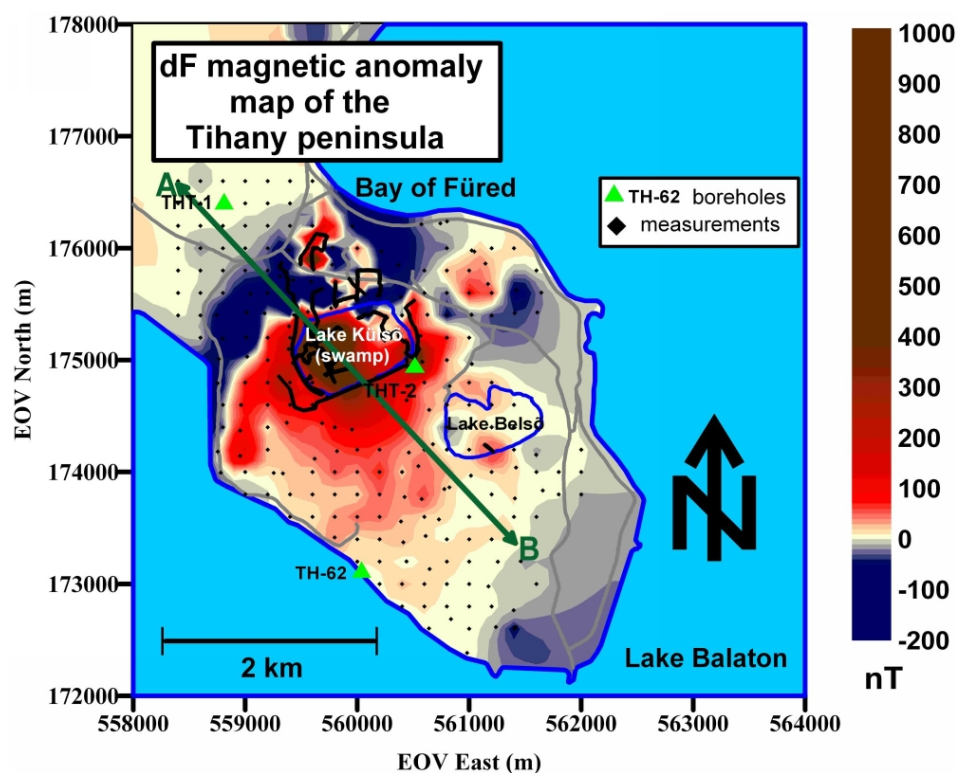
A vizsgálatokról és a kapott eredményekről beszámoló publikáció kézirat elkészült (Márton 2007), e helyütt a fő következtetések összefoglalására szorítkozunk.

Az iszap mágneses ásványai uralkodóan egydomenű (SD) és szuperparamágneses (SP) méretű ferrimágneses fázisok. Utóbbiak jelenléte a remanencia méréseket jelentősen hátráltatta (viszkozitás). Földmágneses eredetű remanencia irány a minták 80%-ában volt izolálható, ui. ezen remanencia komponensek átlagiránya statisztikailag azonos a földmágneses axiális dipóltér helyi irányával, de az irányok eloszlása a mélység függvényében véletlenszerű, azaz nem mutat az évszázados változásra jellemző szabályosságot. Ebből következik, hogy a balatoni üledék mágnesezettségének kialakulása, illetve fosszilizálódása a vizsgált két fúrás anyagában másodlagos, az ülepedéstől máig tartó ismeretlen időben lezajlott folyamatok eredményeként tekinthető.

A projekt keretében végzett kutatások közül megemlítenők az egykori római erőd, Porolissum területén zajló régészeti feltárásokat segítő mágneses mérések eredményei. Az egykori város környezetében négy helyen történtek nagy felbontású mágneses mérések. Mindegyik területen sikerült eltemetett épületek maradványait, illetve a temető esetében sírokat, sírkerteket kimutatnunk. Az eredmények közül kiemelkedik az erődítménytől északra haladó út mentén feltérképezett kétszrású épület mágneses képe, melynek belső részén kör alakú alapozás nyoma látható. Az anomáliakép valószínűleg egy szentélyhez, és annak belső részén az oltár alapozásához tartozik. Az eltemetett falak jelentős pozitív anomáliaként jelentkeznek a mágneses anomáliaképeken, ami annak köszönhető, hogy üledékes összetételben elhelyezkedő dácit anyagú

kövekből épültek. A vulkanit a közeli Magura hegy kőfejtőjéből származik, és igen erős mágnesezettséget hordoz, ami az altalaj elhanyagolható mágnesezettségéhez képest jelentős kontrasztot mutat. A sírhelyek közül azok, amelyek esetében a halottat helyben hamvasztották el, jól kimutathatók az átégett agyag magas mágnesezettsége miatt. A két, megtalált sírkert szintén a már említett dácitból épült fel, ezért ezeket is könnyen sikerült azonosítani.

A Tihany Paleovulkán egyike a legidősebb akálibazalt vulkánoknak a Bakony-Balaton-felvidéki térségben, amely a miocén alatt maar típusú vulkáni aktivitást mutatott. A Tihanyi-félszigeten szisztematikus mágneses méréseket végeztünk, melyeknek célja volt a kitörési centrumok meghatározása és a vulkanikus kőzetek térbeli elterjedésének lehatárolása. Az elsődleges mérések 200 m-es rácsban történtek nagy pontosságú Overhauser magnetométerrel. A módszer alkalmas volt a Tihanyi-félsziget nagyléptékű mágneses változásainak leképzésére. Az eredmények egy közel 1000 nT amplitúdójú pozitív anomáliát mutattak a Külső-tó nyugati felén, mintegy 2 km² területen (3. ábra). Ettől északra egy kisebb negatív anomália jelentkezett. A kutatás második fázisában a mágneses anomália területének részletes vizsgálata következett, amelyet mágneses szuszceptibilitás mérések is kiegészítettek. Az anomália szerkezete egy tipikus normál mágnesezettségű függőleges henger jellegzetességeit mutatja. A grafikus becslés módszerével a henger alakú ható mélysége 300-400 méterre tehető, míg átmérője kb. 1 km. A mágneses ható valószínűleg a fő kitörési centrum bazaltos anyaggal kitöltött gyökérzónájaként értelmezhető. Ezen felül a Tihanyi-félsziget északi részén két kisebb, néhány száz méter átmérőjű, vulkáni centrum volt azonosítható az Óvár és Diós-Gödrös területen. Mindkét anomália fordított polaritású és a területen a mágneses tér rövid távolságon nagy amplitúdójú változásokkal (~300 nT) jellemezhető. A mágneses szuszceptibilitás mérések kimutatták, hogy a tufák szuszceptibilitása ezen a vidéken egy nagyságrenddel nagyobb, mint a félsziget más részein. Mindezek alapján feltehető, hogy a félsziget északi részén elterjedt tufa a fő kitöréstől különböző erupcióból származik. A D-DK-i részen nem volt igazolható jelentős mágneses anomália, így nem bizonyított vulkáni kőzetek jelenléte a mélyben.



3. ábra

A Tihanyi-félszigeten végzett nagyfelbontású mágneses mérésekből nyert mágneses anomáliatérkép

4. Geoelektromos tomográfia

A geoelektromos tomográfia során azokat a geomorfológiai jegyeket kívántuk azonosítani, amelyek a térség recens tektonikai aktivitásra utalnak, ugyanakkor az esetlegesen a felszín közeléig hatoló vetők kimutatása is a célkitűzések között szerepelt. A konkrét kutatási terület kiválasztásában, egyrészt a Balatonfő-kajár melletti szelvények kijelölésével az volt a cél, hogy kiegészítsük a szárazföldi szeizmikus méréseket, amely a Balatonfő-vonalra merőlegesen lettek kitérítve. Másrészt fontos szerepet játszott a Lepsény közelében lévő Cinca patak alakváltozásainak nyomon követése, paleomedreinek nyomozása és az ehhez kapcsolódó neogén tektonikai folyamatok negyedidőszaki felszínformáló tevékenységének megismerése.

A balatonfő-kajári geoelektromos szelvények inverziója után kapott látszólagos fajlagos ellenállás értékek határozott tendenciát mutatnak, az anomáliák minimális és maximális értékei egymást felváltva követik (a relatív eltérés köztük átlagosan 100 Ω m). A szelvények maximumainak korrelálása alapján, az azonos fajlagos ellenállással jellemezhető tartományok térbeli lefutása arra utal, hogy az eltérő elektromos tulajdonságú kőzetek a pannon üledékeken belül összefüggő közettartományt alkotnak. Az ellenállásképet összevetve közeli fúrások rétegsoraival, megállapítható, hogy a pleisztocén és felső pannon üledékek nagyrészt különböző típusú és szemcseméretű homok, kőzetliszt és agyag váltakozásából, ill. keveredéséből létrejött összlet. A balatonfő-kajári szelvények egybevágó anomália képe alapján egy NyÉNy-KDK csapású elmozdulás feltételezhető.

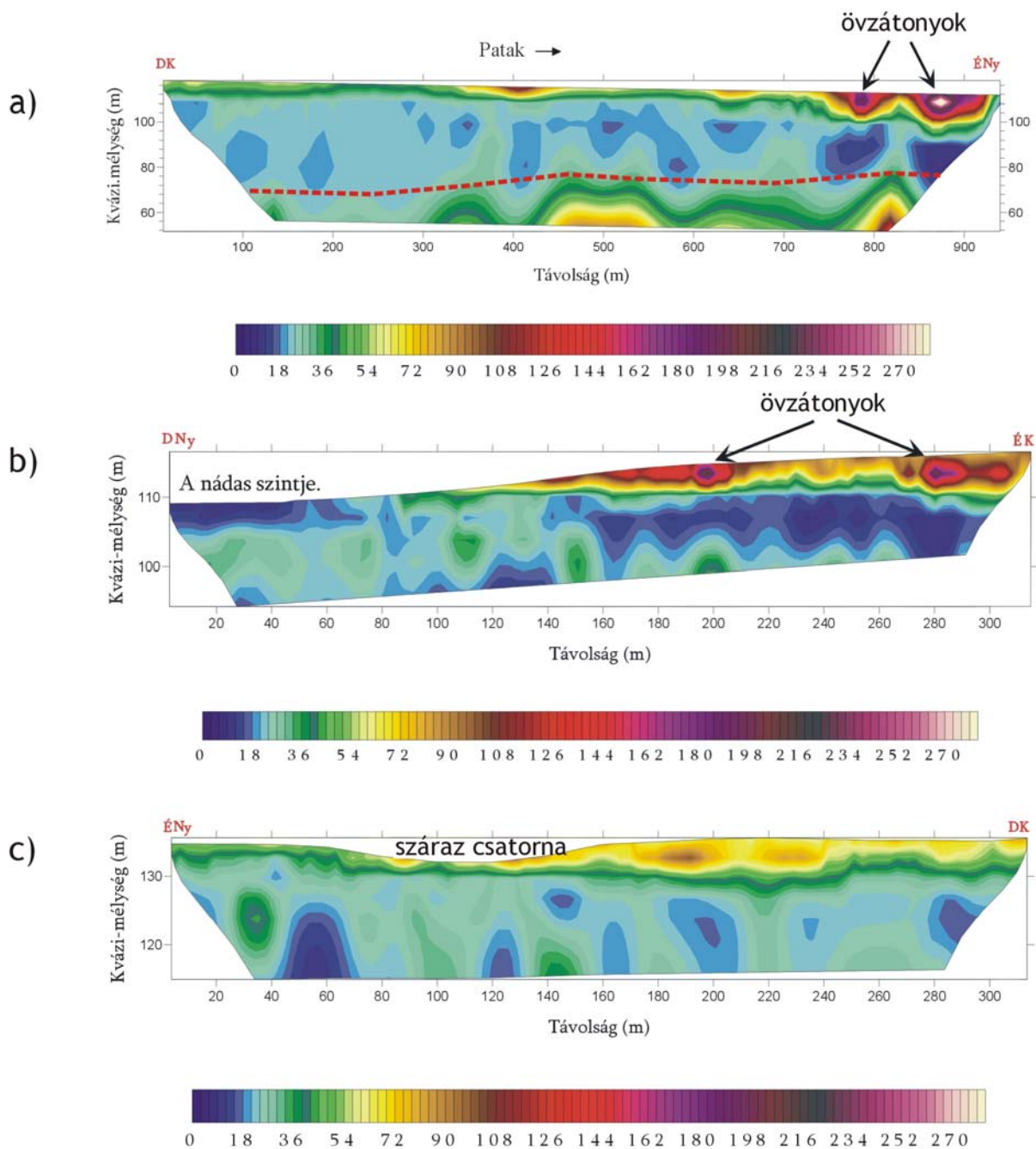
A Lepsény közelében mért szelvényen a Cinca patakhoz közel, attól kb. 400-500 m-re ÉNy-i irányban, a környezetétől eltérő, nagy ellenállás értékek mutatkoznak. A felső, nagyobb ellenállású réteg alatt nagyjából homogén összlet található, amelyet átlagosan 50 m-es mélységben egy, a felszínihez hasonló értékű, nagyobb ellenállású réteg követ (*4a ábra*). Ez a mélység jól korrelál a patak túlsó oldalán mélyített fúrás rétegsorával, amely szerint 50 m mélyen található az ópaleozoos aljzat, amelyet pannon aleurolit, agyag és homok borít. Ezek alapján valószínűsíthető tehát, hogy a szelvény alján közel vízszintesen húzódó réteg a medencealjzatot jelöli ki. A patak közvetlen környezete látszólagos fajlagos ellenállás szempontjából változatosabb képet mutat. Közvetlenül a felszín alatt elhelyezkedő két nagyobb ellenállású régió egykori övzátonyként értelmezhető, amely a Cinca patak korábbi, felhagyott medréhez kapcsolódik (*4a és b ábra*). A nagyobb fajlagos ellenállású réteg alsó határa a pleisztocén és a felső-pannon üledékek határával esik egybe.

A harmadik bemutatott szelvény tetején is egy nagyobb fajlagos ellenállású réteg helyezkedik el, de az eddigi területekhez képest kiemeltebb térszínen. A réteg aljának tengerszint feletti magassága átlagosan 130 m. E rétegbe egy csatorna vágódik be jól láthatóan (*4c ábra*), amelyet valószínűleg a térszínen folyó gyors recens erózió és nem az egykori patak, ill. vízfolyások alakítottak ki. A Lepsény közelében végzett kutatás eredményei alapján tehát a Cinca patak mederáthelyeződése több helyszínen is rekonstruálható volt.

A folyódinamika érzékeny műszerként reagál a helyi tektonikai folyamatokra. Bevágódás vagy változás a meanderezés jellegében másképpen alig észlelhető vertikális elmozdulásokra utalhatnak annak függvényében, hogy hogyan változtatják meg a vízfolyás üledékszállító képességét. A Balaton közvetlen környezetére a miocén óta a folyóhálózat folyamatos átszerveződése, átalakulása jellemző. A kezdetben ÉÉNy-DDK irányú folyóhálózat fokozatos felszámolódása, megszűnése a NyDNy-KÉK tengelyű Balaton későpleisztocén kialakulásával befejeződött. Külső-Somogy keleti részén és a Balatonfő környékén ma több tucat különféle méretű lefolyástalan mélyedést találunk, melyeket modellünk szerint e korábbi folyómedrek maradványainak is gondolhatunk.

Egy további átöröklött formaként tekinthetünk a Cinca-Csíkgát patak rendszerére: a nyomvonalának a Balatonfő és a Siótorkolat közötti szakasza feltételezésünk szerint egy korábbi folyóhálózati és egyúttal üledékszállítási irány maradványa. Ugyanakkor a Cinca egy rövid szakaszon fejlett meanderezést mutat, ami a holocén tekintetében a területen kivételes. Megítélésünk szerint a meanderezés megjelenése nem más, mint folyódinamikai válasz a jelenleg is aktív neotektonikai folyamatokra: modellünk egy NyDNy-KÉK irányú oldaleltolódáshoz kapcsolódó finom billenést valószínűsít. A vetőzóna jelenlétét részben multielektrodás geoelektromos méréseink eredményei is alátámasztják. A meanderméret lényegesen nagyobb vízhozamokra utal a jelenleginél, továbbá az alvízi hossz-szelvényből levezetett lejtéspanaméterek az erózióbázis lépcsőszerű recens csökkenésére engednek következtetni. Ennek megfelelően feltételezhető, hogy a folyóalak horizontális és vertikális értelemű megváltozása egy nedvesebb periódusban jöhetett létre. A több módszert integráló tektonikai-geomorfológiai elemzésünk alapján arra következtetünk, hogy a terület vízhálózatának átalakulása jelenleg is tart. A megfigyeléseink adalékot jelenthetnek annak

megértéséhez, hogy a Balaton kialakulását megelőző időszakban feltételezett részmedencék hogyan fejlődtek ebben az aktív tektonikával jellemezhető zónában.



4. ábra

A Cinca-patak jelenlegi medre környezetében végzett multielektrodás geoelektromos mérések látszólagos fajlagos ellenállás szelvényei, melyek a patak egykori mederüledékeinek feltérképezését segítették elő

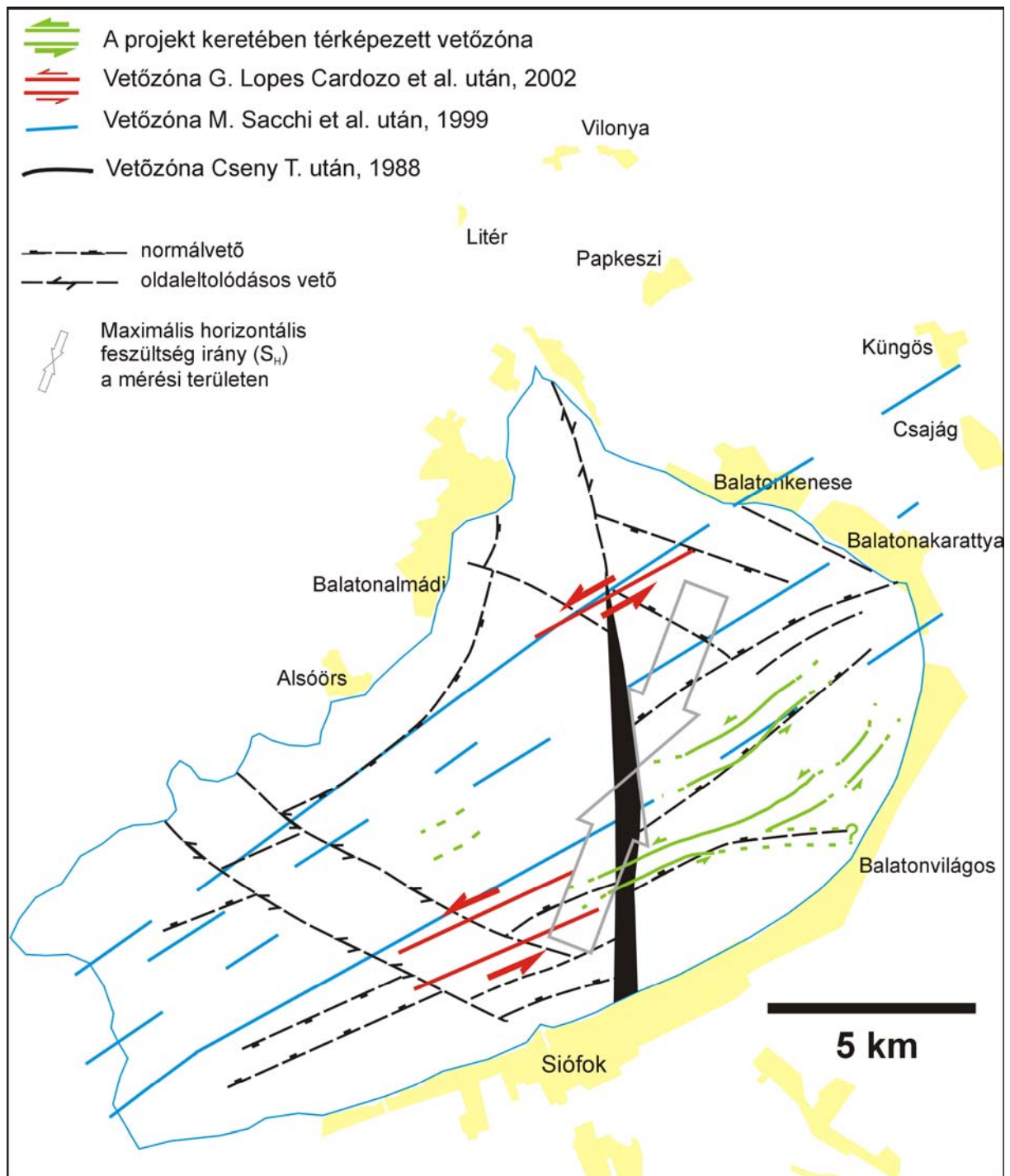
5. Vízi szeizmika

Az OTKA támogatásának köszönhetően lehetőségünk nyílt arra, hogy a Balatonon először sikerrel végrehajtsunk egy többsatornás vízi szeizmikus felmérést - egy korábbi próbálkozásunk eredménytelen volt -, amit kiegészítettünk egy a tavon még újdonságnak számító eszközzel, a side scan sonarral. Ezekhez az eszközökhöz társíthattunk egy ultranagy felbontású, egycsatornás szeizmikus berendezést, amelyet korábban már sikerrel használtunk a Balaton aljzatának földtani vizsgálatában. Méréseinket a Balaton keleti medencéjére összpontosítottuk.

A korábbi, egycsatornás szeizmikus mérések a Balaton alatt két ÉK-DNY irányú vetőrendszert mutattak ki, s jelen kutatásunk egyik célja a vetőzóna lefutásának és belső szerkezetének pontosítása volt. A pre-neogén aljzat mélységének térképezését is pontosítani kívántuk nagyobb behatolású jelforrások használatával. Továbbá a pannon korú üledékek sztratigráfiájának tanulmányozása valamint a meridionális völgyek kialakulására vonatkozó elméletek tesztelése is feladatunk részét képezte. Geofizikai szempontból külön érdekességnek számított annak vizsgálata, hogy különböző frekvenciájú jelforrások használatával tanulmányozhatjuk-e a balatoni iszap különböző szintjein felhalmozódott biogén gágrétegek alatti földtani összeteteket. Ez a gágréteg a korábbi mérések során ugyanis nagy hatékonysággal megakadályozta a rugalmas hullámok behatolását az iszapba, lehetetlenné téve az eredményes szeizmikus mérést. A mérési kampányok során mintegy 270 kilométernyi többsatornás, és hasonló nagyságrendű egycsatornás szeizmikus szelvényt rögzítettünk.

A Balaton keleti medencéjében végzett neotektonikus kutatás során töréses és gyűrődéses deformációs bélyegeket vizsgáltunk, nagy- és ultranagy felbontású vízi szeizmikus szelvények alapján. Az azonosított szerkezeteket a szelvények között korrelálva a vizsgált területre neotektonikus térképet szerkeszthettünk. A kitérképezett vetőindikációk sűrűn töredezett KÉK-NyDny-i csapású balos oldaleltolódási zónákba csoportosulnak. Figyelembe véve a szerkezeti zónákban a tágulásra utaló normálvetők túlsúlyát a feltolódásokkal szemben, megállapíthatjuk, hogy az eltolódási zóna inkább transztenziós jelleget mutat.

A Balatonon és környezetében több évtizede folynak tektonikus céllal szeizmikus mérések. Az 5. ábrán négy különböző kutatás eredményeként kapott tektonikai térkép látható, melyek közül kettő a keleti medence területének vizsgálatára koncentrált, míg a másik kettő a teljes Balatonról készült. A szeizmikus szelvények kiértékelése nyomán kitérképezett eltolódási zónát zöld színnel tüntettük fel az ábrán. Különböző színekkel ábrázoltuk a korábbi kutatások eredményeit is, pirossal a G. Lopes Cardozo által 2002-ben (EGU St. Mueller Spec. Publ. Ser., 3, 217) publikált, szintén balos eltolódási zónákat, melyek közül a délinek közvetlen folytatása ÉK-i irányban a zöld színnel jelölt vetőzóna. A keleti medencét négy sávban teljes egészében átszelő, késsel jelölt szerkezeti vonalakat Sacchi et al. (Geol. Soc. Spec. Publ., 156, 357, 1999) jelölte ki nagy felbontású szelvények alapján. Lefutásuk azonban nem folytonos, csapás mentén gyakran elhalnak, majd újra megjelennek. Ez a három eredmény egymással relatíve jól korrelálható, ÉK-Dny-i irányban párhuzamos lefutásúak, egy balos kinematikájú eltolódási zónát formázva. Ezek az eredmények a Balaton aljzatáról készített legkorábbi tektonikai térképhez képest jelentős eltérést mutatnak. E korábbi modellben kétféle töréses rendszer került elkülönítésre: hosszanti dilatációs törések ÉÉNy-DDK-i csapással és É-D-i csapásirányú haránttörések. Ezen szerkezetek kielégítő korrelációja a fenti három vetőmodellel csak kis részben volt lehetséges.



5. ábra

A Balaton térségének tektonikai kutatását összegző térkép az egyes térképezett vetőzónák megjelenítésével

A mérési területen azonosított és térképezett gyűrődések igen bonyolult képet adnak. Az antiklinálisok és szinklinálisok rekonstruált tengelyei nagy szórást mutatnak, az elméleti képhez képest. A gyűrődéseknek a vetőzónákhoz viszonyított mérete és elterjedése arra enged következtetni, hogy valamely nagyobb léptékű tektonikai mozgás nyomai kerültek azonosításra, azaz a redők egy jelentős része nem kizárólag az azonosított eltolódási zónákhoz köthető. Az antiklinális és szinklinális szerkezetek irányítottaságáért az egymással párhuzamos eltolódási zónák és a köztük kialakuló feszültségterek együttesen felelősek. Valószínűleg ezzel magyarázhatók a vetőzónák közti ÉK-DNy-i tengelyű gyűrődések.

Tapasztalataink alapján a Balaton holocén üledékeinek felszínén illetve az üledékes rétegekben felhalmozódott gáz megakadályozza a rugalmas hullámok mélyebbre hatolását, ezáltal a földtani valóság leképezését, kísérletet tettünk a gáz felhalmozódását és elterjedését szabályozó folyamatok azonosítására.

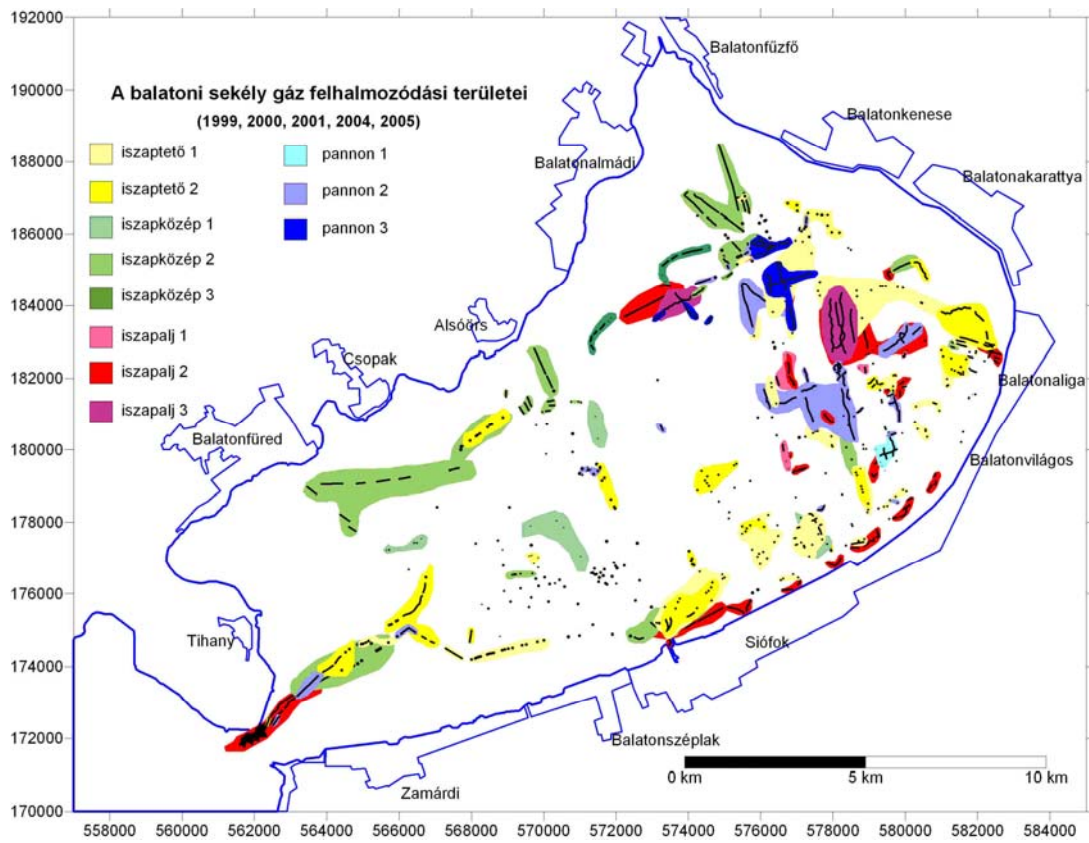
A fizikai-kémia szabályai szerint a folyadékban feloldható gáz mennyisége a nyomástól egyenes, míg a hőmérséklettől fordított arányban függ. Ennek alapján - természetesen a vonatkozó szakirodalom megállapításaival egyetértésben - azt a munkahipotézist alakítottuk ki, hogy a vízszint és a tó hőmérséklete alapvető befolyással bír az üledékekben felhalmozódó, nem oldott gáz megjelenésére. Miután a hőmérsékletre vonatkozó adatsoraink nincsenek, először a vízállást vizsgáltuk meg.

Az azonos területet különböző években és eltérő vízállás mellett leképző mérési adatok alapján kijelenthetjük, hogy a közvetlenül a mederfenéken megfigyelhető gáz mennyisége nem mutat korrelációt a tó vízállásával. A további ilyen irányú vizsgálatoknál figyelembe kell vennünk a biológiai tényezőt is, vagyis a tóban termelődő lebontható szerves anyag mennyiségét, amelyről egyelőre nincsenek adataink. Másrészt hangsúlyozni kell azt is, hogy a Balaton nagyon sekély tó, amelyben az erősebb szelek és viharok nemcsak a vizet, hanem akár a medret borító legfiatalabb üledékeket is rendszeresen felkavarják és átmozgatják. Hasonló átkeveredést okoz a Balaton hossz tengelyével párhuzamosan kialakuló vízlengés is. Ilyen feltételek mellett viszont nem lehet arra számítani, hogy csak a vízállás függvényében meg tudjuk határozni a szabad gáz mennyiségét.

A gáz mennyiségének évszakos menetét nem tudtuk vizsgálni, mivel méréseink minden esetben a nyár végére és az ősz elejére estek. Azt mindenesetre feltételezhetjük, hogy a sekély átlagos vízmélységnek és a vizet átkeverő viharoknak köszönhetően a szezonális hőmérsékleti változások vélhetőleg szinte azonnal megjelennek a tó fenekén is, noha nyilván csökkenő amplitúdóval.

Külön vizsgálatot érdemelnek a pannon üledékekben azonosított gázfelhalmozódások. Ezekről valószínűsíthetjük, hogy (mélyebb helyzetükből adódóan) kialakulásuk és felhalmozódásuk nem függ sem a vízállástól, sem a hőmérséklet éves menetétől, sem pedig a Balatonban keletkező és oda behordott szerves anyag mennyiségétől.

Joggal feltételezhetjük, hogy a pannonban megfigyelt gázok összetétele és eredete nem azonos az iszapos mederfenéken felhalmozódó gázokéval. Ezeknek a gázoknak a forrása valószínűleg mélyebben helyezkedik el. Ezért különösen érdekes annak vizsgálata, hogy a pannon üledékekben megjelenő gázok eloszlása mutat-e valamilyen korrelációt az ezen kőzeteket harántoló vetőzónákkal. Eredményeink szerint a szeizmikus szelvények alapján térképezett vetőzónák ebből a szempontból eltérőek: a Balaton északi és középső részén azonosított vetőzónák mentén bizonyítható a gáz megjelenése, míg a legdélebbi eltolódásos zóna mentén gyakorlatilag nem halmozódik fel gáz a pannon rétegekben (6. ábra).



6. ábra
A Balaton üledékeiben felhalmozódott gáz előfordulásának térbeli eloszlása

6. Mérnökgeofizikai szondázások

A Balaton körzetében számos mérnökgeofizikai szondázás történt az utóbbi két évtizedben. A szondázási adatok grafikus formában hozzáférhetők az MGSZ adattárban. Ezek közül választottunk mintegy ötven helyszínt, amelyek szelvényeit digitalizáltuk és feldolgoztuk. A rendelkezésre álló szelvényválaszték természetes gamma aktivitás, csúcsellenállás, sűrűség és neutron porozitás mérésekből álltak, a szelvényezési mélység 8-15m. A kiértékelés eredményei szerint a talajfelszín közelében (1-2m) igen laza, nagy-porozitású réteg található, ami alatt váltakozva agyagos, homokos rétegek fordulnak elő.

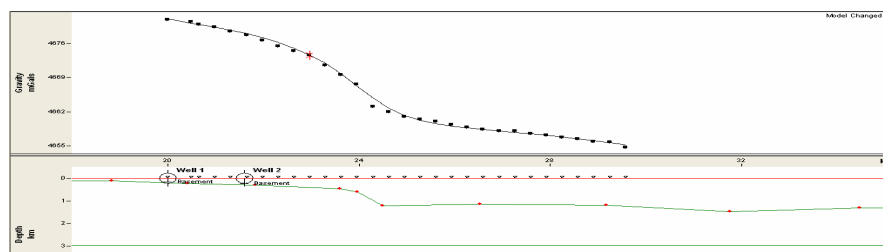
7. Gravitációs mérések

Ugyan az eredeti munkatervben nem szerepelt gravitációs módszerek alkalmazása, azonban a térség mélyebben fekvő szerkezeti elemeinek vizsgálata céljából ezek a kiegészítő mérések hasznosnak bizonyultak. Az ALCAPA és Tisza-Dácia tereket elválasztó Közép-magyarországi nyírási zóna gravitációs szempontból is jelentős szerkezetnek tekinthető, mely a Balaton tengelyére merőleges irányban a Bouguer-anomáliák meredek változásában testesül meg. A 2004-2005 közötti időszakban a Leeds University hallgatóival és kutatóival együttműködésben két mérési vonal került kitérésre, melyek keresztelték ezt a fő szerkezeti elemet.

A gravitációs kutatómódszerben standard módon alkalmazott korrekciós eljárások, valamint egy 2000 kg/m^3 átlagsűrűséget feltételező Bouguer-korrekció elvégzése után mindkét mérési vonal esetében hasonló mértékű gradiens mutatkozott. ÉNy-DK-i irányban mintegy 8 km-es szakaszon 26 mgal csökkenés volt tapasztalható. Az értelmezés során a csökkenésre egy, kb. 1 km mélyen található, vető feltételezése adott magyarázatot, amely az ÉNy-on található nagyobb sűrűségű kőzeteket választja el a DK-i részre jellemző kisebb sűrűségű kőzetektől (7. ábra).

2006-ban két újabb gravitációs szelvény mentén történtek mérések, amelyek Balatonfőkajártól nyugatra keresztelték az É-D csapású Berhida vonalat. A Berhida törésvonal az ordoviciumi Lovasi Agyagpala formációt választja el az idősebb Balatonfőkajári kvarcfillittől, majd a Balatontól keletre ferdén metszi a Közép-magyarországi nyírási zónát. Korábbi térképezések és más geofizikai módszerek mind oldalirányú mind dőlésirányú elmozdulást kimutattak. Az északabbra található (2006A) szelvényen 5 mgal/3 km mértékű gradiens adódott, amely egy 3 km mélyen lévő vető meglétére enged következtetni. A másik mérési vonal (2006B) egy 3 km széles völgyön haladt keresztül. A normálvető feltételezett helyzete a topográfia emelkedésével esik egybe a nyugati oldalon. Ezen a helyen egyértelműen azonosítható egy 2 mgal nagyságú és 500 m hullámhosszúságú gravitációs anomália. Ez az anomália jelezheti, a Berhida vonal által elvetett kőzettesteket a nyugati oldalon, mivel az anomália helye a vető vélt pozíciójával megegyezik. A gradiens paramétereiből az inverzós számítás a vonal mélységére kb 1 km-es értéket adott. A szelvény keleti oldalán hasonló mértékű anomália volt tapasztalható, amely egy hasonló vetőszerkezetre enged következtetni a Berhida vonaltól 3 km-re keletre.

Összeségében az alkalmazott gravitációs kutatómódszer alkalmas volt a térség főbb szerkezeti elemeinek kimutatására, és azok mélységének meghatározására.



7. ábra

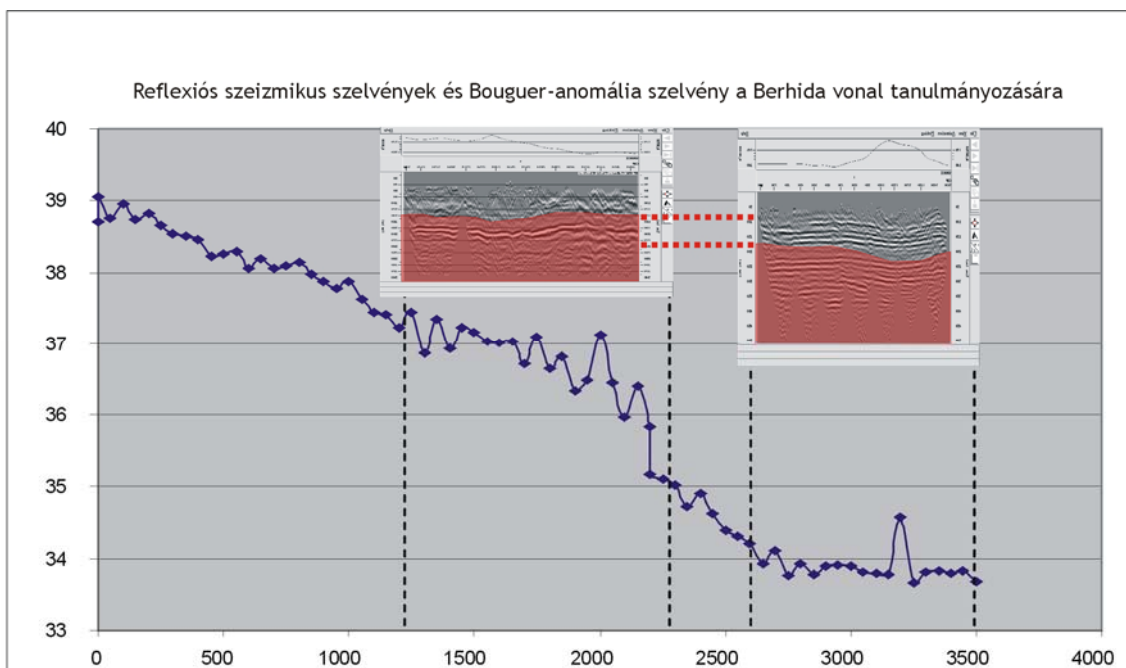
Gravitációs Bouguer-anomália szelvény és annak értelmezése, amely a Balatonhoz kapcsolódó vetőrendszer a szárazföld irányában történő folytatásában igazolja egy vető jelenlétét

8. Szárazföldi szeizmikus mérések

A gravitációs mérésekhez hasonlóan a Leeds Universityvel közösen reflexiós szeizmikus kutatás is zajlott, melynek fő célkitűzése a Közép-magyarországi nyírási zónához kapcsolódó, a pannon előtti aljzatot harántoló vetők szerkezetének megismerése és elhelyezkedése volt. A 2006-os mérési kampányban pedig a Berhida vonalat keresztező szelvények mentén zajlottak a mérések.

2004-ben a Leeds University által rendelkezésre bocsátott 24 csatornás szeizmográfal történtek a mérések. 100 Hz-es geofonok alkalmazásától az alacsonyfrekvenciás felületi hullámok amplitudójának csökkenése volt remélhető a magasabb frekvenciájú aljzatról visszaverődő hullámokhoz képest. A 2005-ös kampányban már egy újonnan beszerzett 48 csatornás berendezéssel történt az adatgyűjtés. A szelvények egy, a fúrési adatokból megerősített és gravitációs valamint mágneses mérésekkel kimutatott, kiemelt helyzetű aljzattopográfiától távolabb egy ÉK-DNy csapású vetőt keresztezve haladtak. A mért adatok sávszűrésével a felületi hullámok hatása könnyen kiküszöbölhetővé vált, azonban jelentős mértékű műszerzaj mutatkozott az egyes csatornákon. Mindezek ellenére kézzelfogható eredmények születtek, melyek világosan mutatták a vető helyét és a pannon üledékek rálapolódását az aljzat magasabban fekvő részére.

2006-ban a szeizmikus szelvények a Berhida vonal térképezését hivatottak megvalósítani reflexiós mérésekkel illetve azt kiegészítő néhány refrakciós szelvényel. A refrakciós beérkezésekből az aljzatról refraktált hullámok sebességére 4 m/s adódott, míg az ezeket fedő pannon üledékek sebessége az 1,4-1,9 m/s-os tartományban mozgott. Sajnálatos módon, egy kritikus helyen a nehéz terepviszonyok miatt a szelvény nem keresztezte a normálvetőt, de helyzete a két oldalán húzódó szelvényekből kikövetkeztethető (8. ábra).



8. ábra

A Berhida vonal környékén felvett szárazföldi szeizmikus szelvények és gravitációs mérések eredményeinek összetevése

9. Balatoni magminták vizsgálata és radiometrikus kormeghatározása

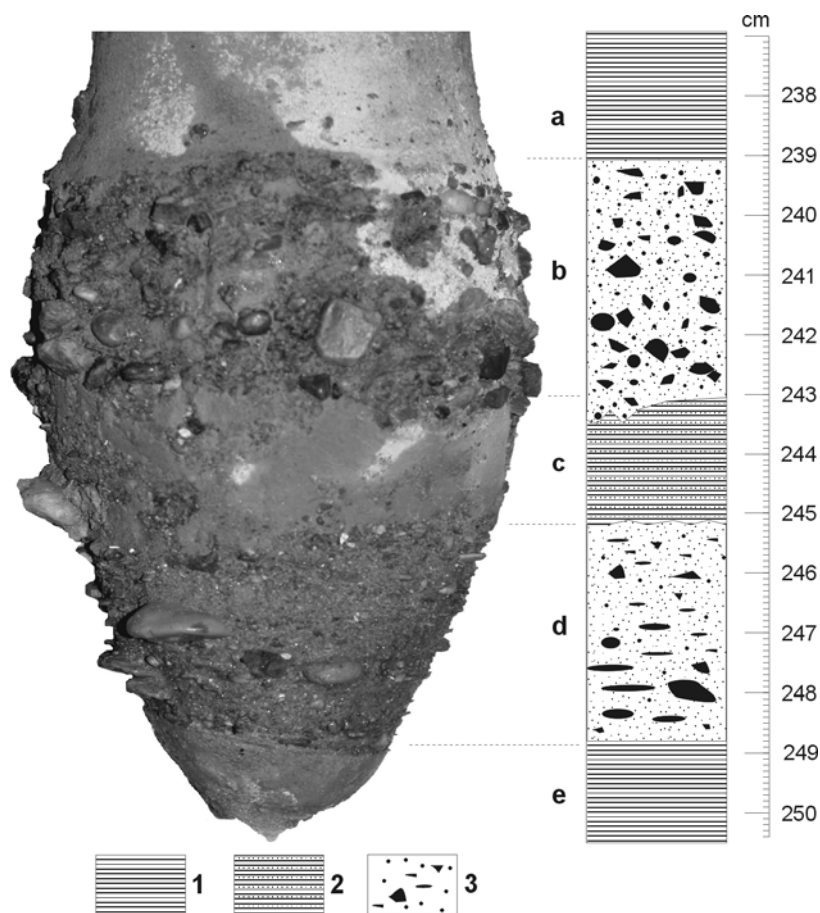
Ásvány-kőzettani, geokémiai vizsgálatok. A kutatás során a Balaton nyugati és keleti medencéjében készítettünk sekélyfúrásokat. A magokat először mágneses szuszceptibilitás mérésnek vetettük alá (*Bartington MS2*) a tekercs (*MS2C*) maximális, 2 cm-es felbontása mellett. A mérésekből a mintatípus mágnesezhetőségéről alkottunk képet, minthogy konszolidálatlan mintákon itthon korábban nem készült ilyen vizsgálat. A kapott szuszceptibilitás görbéket a szedimentológiai jellegzetességekkel vetettük össze. A szuszceptibilitás követi az üledék szemcsméretbeli változásait. A szabad szemmel homogénnek tűnő szakaszokon az érték általában háttérhez közeli, ezért kisebb változásai elhanyagolhatók. Az esetenként tapasztalható jelentősebb változások a geokémiai elemzéshez szükséges minták kiválasztásakor kapott szerepet.

A fúrások által feltárt típus-rétegsor a következőképpen alakul: mintegy 2 méteres szakasz homogén, rétegmentes világosszürke mészszip, amely markáns, de fúrásonként változó képet mutató néhány cm-es kavicsos-homokos-molluszkahéjas összlet szakítja meg 2-2,8 m mélységben. A homogén iszapban itt-ott kagylóhéj-töredékek találhatók. A kavicsos rész alatt folytatódik az iszap (kőzetliszt), az agyagtartalom növekedése mellett. Jellegzetes homokos kőzetliszt mutatkozik a fúrás alsó részben, majd legalul tömött, szürkészöld agyag található.

A fent bemutatott rétegsoron részletes (5 cm felbontású) granulometriai vizsgálatot végeztünk (szitasor, *FRITSCH Analysette-22*), hogy a tavi üledékek képződési környezetének energiái viszonyairól képet kapjunk. Az eloszlási görbéket a szuszceptibilitási görbékkel összevetve megállapítható, hogy a szemcsméret és a szuszceptibilitás jól korrelál. A kavicsréteg feletti homogén mészszip csendesebb, mélyebb vízi környezetet, az az alatti zömében homokos, vagy homoktartalmú rétegek erősebb energiájú közeget jeleznek. A kavicsösszlet kvázi-szárazföldi képződését a kavicsok mérete, morfológiája is megerősíti (v.ö. malakológiai vizsgálat). Az egyes kavicszemcsék eredetének meghatározása a Balaton fejlődéstörténetének megismerése szempontjából fontos. Az 1-2 mm-es kavicsok (kőzetfragmentumok) vékonycsiszolatos vizsgálata szerint jellemzően kvarcit, metahomokkő, mészkő, dolomit és tűzkő alkotta polimikt kavicsösszletről van szó, melynek forrásterülete az összetétel alapján a Balaton-felvidék és a Balatonfő lehet. A morfológiai bélyegek alapján látható, hogy anyaga igen rövid, epizódyszerű szállítást követően kerülhetett a tavi üledékbe. A folyékony nitrogénes fagyasztásos mintavétellel az összlet eredeti települését is nyomon tudtuk követni. Megállapítható, hogy az összlet két, időben és energiáját tekintve is eltérő esemény során keletkezett, melyeket egy nyugodtabb időszak tagolt, mikor ismét tavi üledék képződhetett (9. ábra). A rétegsor legalsó agyagos tagja, melynek teteje eróziós diszkordanciafelület, ugyancsak nyugodt vízi képződésre utal.

A mikromineralógiai vizsgálat (*sztereomikroszkóp, EMPA*) során a nehézasvány-szegény felső iszapösszletben azonosítottunk néhány nehézasványban dúsabb réteget. Ezek sokkal inkább a tó kémiai változásaira utalnak, mintsem a külső behordás erősödésére. A kavicsréteg alatti homokos összletre kapott nehézasvány-összetétel metamorf eredetre enged következtetni, tehát itt is a Balatonfő vidéke valószínűsíthető forrásterületként, ahogy a kavicsok zöme esetében is.

A minták teljes karbonáttartalmát vizsgálva (*Scheibler-kalciméter*) a homogén iszapban is el lehetett különíteni jellegzetesebb szakaszokat, míg a holocén bázisát jelentő kavicsréteg alatti rész karbonáttartalma teljesen eltérő. A vizsgálatból kiderül, hogy a minták karbonáttartalma a legfinomabb szemcsetartományban van jelen és hogy a karbonáttartalom a kavicsréteg fölött jellemzően 40-60%, alatta végig 20% alatti. Az üledékképződés jellegének megváltozott viszonyai a szervesanyag-tartalom (szerves szén%) értékei is jelzik, bár a vizsgálat szolgáltatja adatokat tájékoztató jellegűnek tekintjük.



9. ábra

A Balaton keleti medencéjéből származó, folyékony nitrogénnel fagyasztott magminta és anyagának szemcseméret szerinti osztályozása

Radiometriai vizsgálatok. A tó felső iszaprétege átkeveredésének mértékét (mely befolyásolja a szeizmikus szelvények és az anyagvizsgálatok értelmezését) a minták ^{137}Cs - tartalmának mérésével (gamma-spektrometria) állapítottuk meg. A mesterséges eredetű bétabomló izotóp nagyrészt az '50-'60-as évek atomkísérletei alatt, emellett a csernobili balesetkor került ki a természetbe. Feltételezhető, hogy a kihullott ^{137}Cs a kihullás idejekor a legfelső 2-5 cm iszapréteghez (annak szerves anyagához) kötődött, és további mozgása az iszappal együtt történt. A balatoni mészszipap felső 1,3 méterét 2,5 cm-es felbontással mintáztuk meg. A mért ^{137}Cs -eloszlás alakja (10. ábra) nagyon hasonlít a tipikusan jellemző bolygatatlan szárazföldi környezetben mérhetőre, ahol a ^{137}Cs évtizedek alatt sem jutott lejjebb a felső néhány centis talajrétegnél. Látható, hogy az elmúlt 50 évben viharok miatt még a felső tíz centi sem keveredett, hiszen már ebben a tartományban is jelentős a koncentráció változása. A ^{137}Cs kb. 25 cm mélységig észlelhető „migrációja” valószínűleg a bioturbációnak köszönhető.

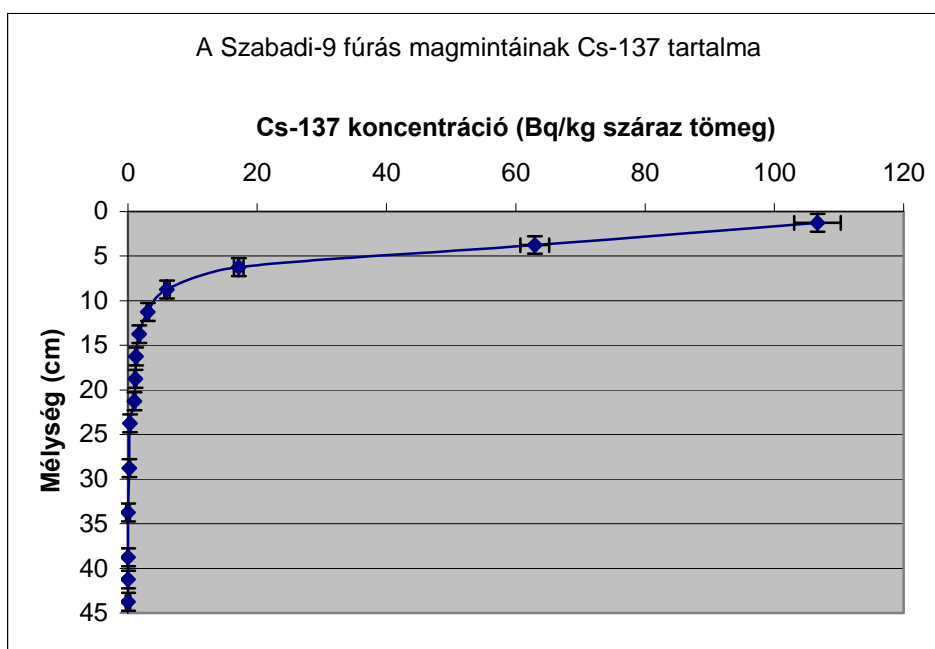
A minták természetes radioaktívem-tartalmának vizsgálata (gamma-spektrometria) alapján az egyik típusfúrásban az U, Ra, Th és K koncentrációit határoztuk meg a mélység függvényében (11. ábra). A tórium-koncentráció jelentős változásai mutatják, hogy az iszapréteg a mesterséges radioizotópok megjelenése előtt (~50 év) sem homogenizálódott. A tórium a vízben nagyon rosszul oldódik, így a jelenleg mért koncentrációértékek tekinthetők az adott iszapréteg leülepedésekor kialakult koncentrációnak.

A fúrásokból előkerült mészvázú fossziliák közül hármon, az ELTE FFI Geofizikai Tanszéke Radiometriai Laboratóriumában urán-soros kormeghatározás történt. Az elmúlt évek kutatásainak és fejlesztéseinek eredményeként a módszer alfa-spektrometriás mérésen alapuló változata rutinszerűen zajlik. Jelenleg a jóval pontosabb és kisebb mintatömegekkel is megvalósítható tömegspektrometriás változat kidolgozásának kísérleti jellegű mérései folynak. Ennek keretében két csiga (*Lithoglyphus* sp., *Valvata* sp.) és egy kagyló (*Dreissena* sp.) korának meghatározására került sor. A kapott koradatokat az 1. táblázat tartalmazza. A mérési adatok értelmezésének legnagyobb problémája, hogy a minták a gondos előkészítés ellenére nagyon sok törmelékeny szennyezőt

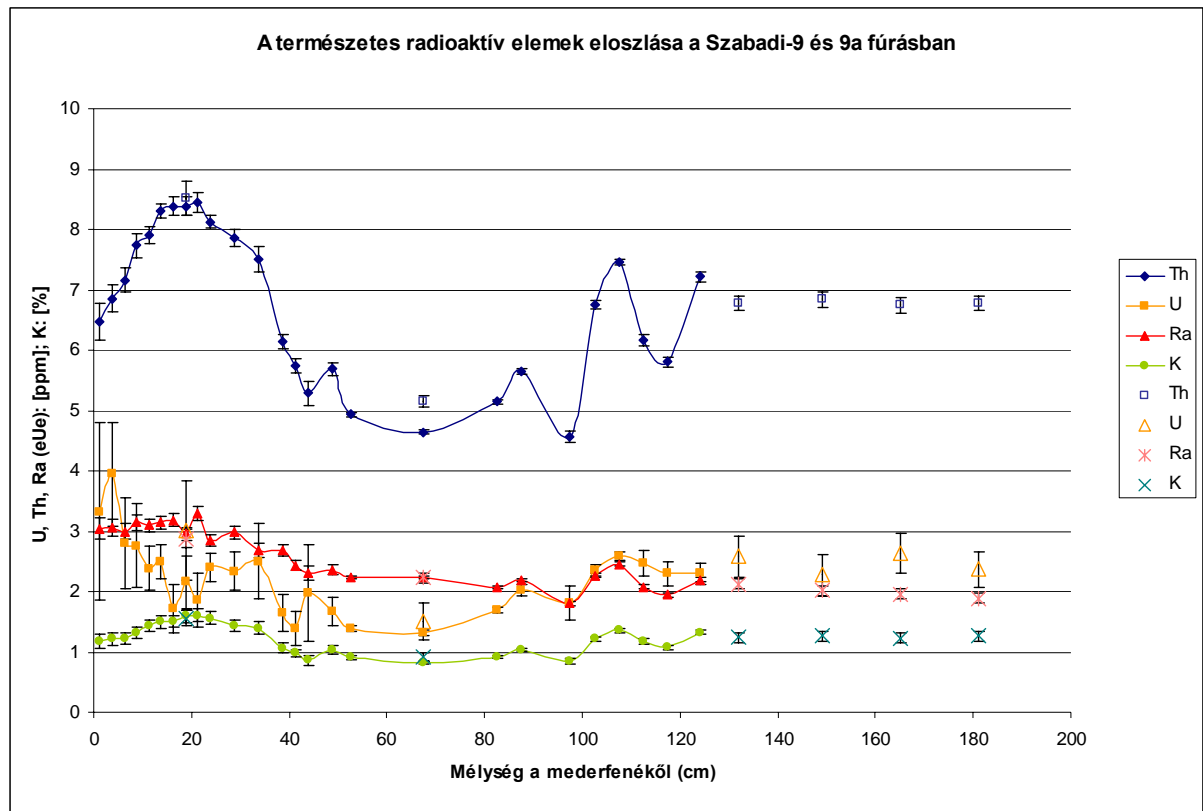
tartalmaztak. Ebből a szempontból akkor lehet biztonsággal tisztának minősíteni egy mintát, ha a mért $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ aktivitásarány legalább 20. Ezzel szemben jelen esetben igen alacsony értékeket mértünk. Ebben az esetben a törmelékes szennyezők miatt a nyers koradatokat nagymértékben korrigálni kell, ez azonban rendkívül lerontja a mérési pontosságot.

Minta neve	Fúrás	Minta mélysége a mederfenéktől	Minta tömeg (g)	Kor (év)	95%-os konfidencia határok (év)	U-tartalom (ppm)	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ aktivitás-arány
<i>Valvata piscinalis</i>	Szabadi-7	2,85m	0,25	3200	1500/4900	0,14	2,03
<i>Dreissena</i> sp.	Blelle-5	0,51m	0,39	750	0/1700	0,44	1,46
<i>Lithoglyphus naticoides</i>	Szabadi-2	2,45m	0,43	7600	3200/11800	0,12	2,41

1.táblázat



10. ábra



11. ábra

Pollenanalitikai és malakológiai vizsgálatok. Részletes pollenvizsgálat három fúrásból készült. A három mintasor összesített eredményei alapján a fúrásokat fentről lefelé szedimentológiailag három részre tagolhattuk: holocén iszap, kavicsréteg, majd pleisztocén üledék. A holocén összlet a boreális fázistól a jelenkorig képviseli a növénytakaró változásait. A kavicsos üledékben megfigyelhető keskeny iszapréteg nagy mennyiségben tartalmaz *Pediastrum kawraiskyi* coenobiumot, ez későpleisztocén üledékképződésre utal. A kavicsréteg alatt a pollenmegtartás rossz volt, néhány taxon (*Tsuga*, *Carya*) alapján azonban ópleisztocén üdékre következtethetünk. A mintaegyüttes összességéből előkerült ép csigaházakon végzett malakológiai vizsgálat alapján elmondható, hogy az előforduló fajok kivétel nélkül holocén kort jeleznek. A *Lithoglyphus naticoides* faj reofil elemként jelenik meg, azaz a süllyedékterületeken a medencék feltöltődésének kezdeti fázisában, a kavicsos aljzaton élhetett.

10. Szintézis

A Balaton kutatása a magyar geográfia, geológia és geofizika egyik legérdekesebb története és az interdiszciplináris tanulmányok eredményességének legszebb korai példája. Lóczy Lajos 32 kötetes Balaton-monográfiája (1891-1920) óta a kutatások változó intenzitással, de szinte megszakítatlanul folytak a tóban és szélesebb környezetében, mindig a kor legfejlettebb technikáját és tudását alkalmazva. Az óriási ismeretanyag ellenére számos alapkérdésben még mindig nincs egyetértés és a kutatások előrehaladtával újabb izgalmas kérdések merülnek fel. Ennek oka alapvetően az, hogy a Balaton olyan „ablak” a magyar föld felszínén, amelyen keresztül jobb megvilágításban láthatjuk meg a Pannon-medence fiatal szerkezetfejlődését és ennek felszíni megnyilvánulásait szárazulati területeken markánsan felülíró környezeti hatásokat.

A tudományos iskola keretében végzett módszerfejlesztések és azok alkalmazásával kapott környezetgeofizikai eredmények integrált értelmezése három területen hozott kiemelkedő eredményt:

A tó iszapjából és az alatta lévő pannóniai rétegből felszabaduló, valószínűleg döntően metán gáz jelenléte;

- A longitudinális (hosszanti irányú) vetők kimutatása, jellegének és recens aktivitásának bizonyítása, valamint a harántirányú lineációk nem tektonikus eredetének valószínűsítése;
- A jégkorszak utáni klímaváltozások legnyilvánvalóbb dokumentumait a Balaton kialakulása, tómeder feltöltődésének és a vízzel borítottságának története jelentik.

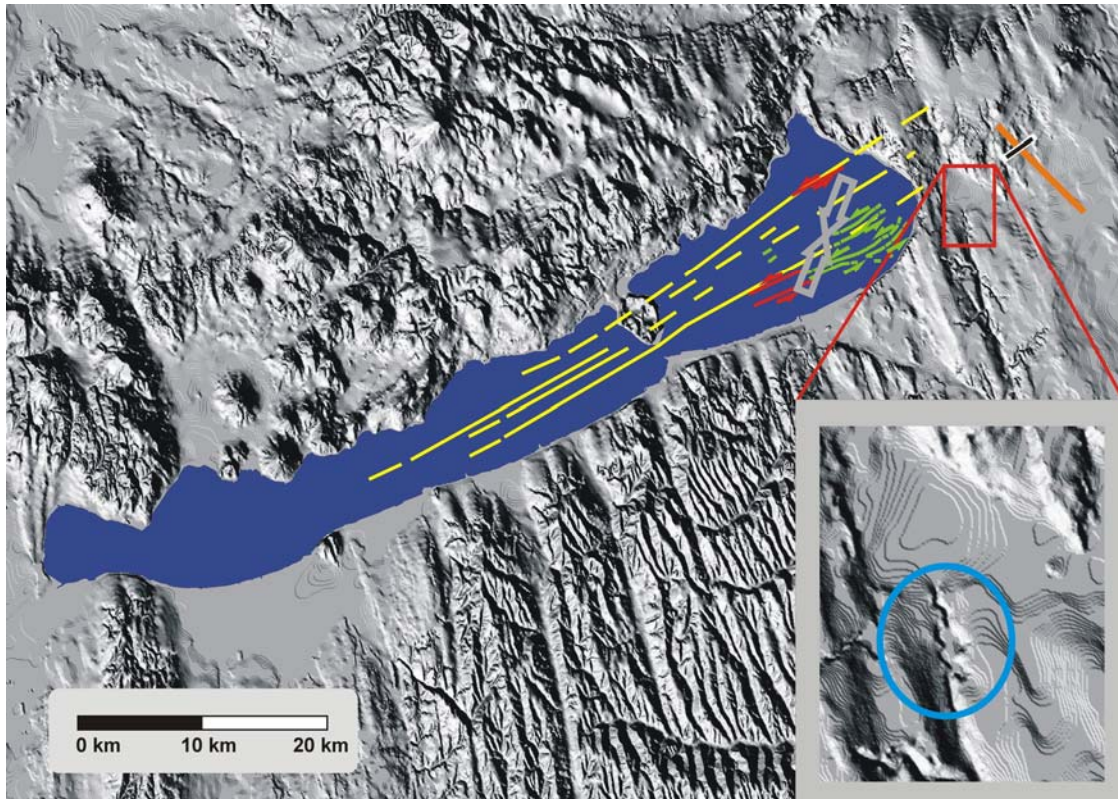
Gázfeláramlás a tó alatti üledékekből

Az ultranagy felbontású vízi szeizmikus méréseket megnehezítő, gyakran lehetetlenné tévő hatásként találkozunk a partmenti iszap gázosságával. Ez például a Keszthelyi-medencében olyan mértékű, hogy még az öblözet centrális részében sem engedi meg a szeizmikus hullámok behatolását, s ezúton az akusztikus kutatást. Ezt követően észlelték a gázos rétegek területi kiterjedésének szezonális változásait, valamint a gáz foltszerű megjelenését különböző rétegtani szinteken (6. ábra). Kiderült az is, hogy nem specifikus balatoni jelenség felfedezéséről van szó, hanem a világ számos tavi és tengeri területén észlelt gáz migrációról, amely sok helyütt intenzív kutatások tárgya. Jelentősége többek között abban áll, hogy kvantifikálni lehet az ily módon a légkörbe jutó metánt, s ennek hozzájárulását az üvegházhatás kialakulásához.

Fiatal (aktív) tektonika

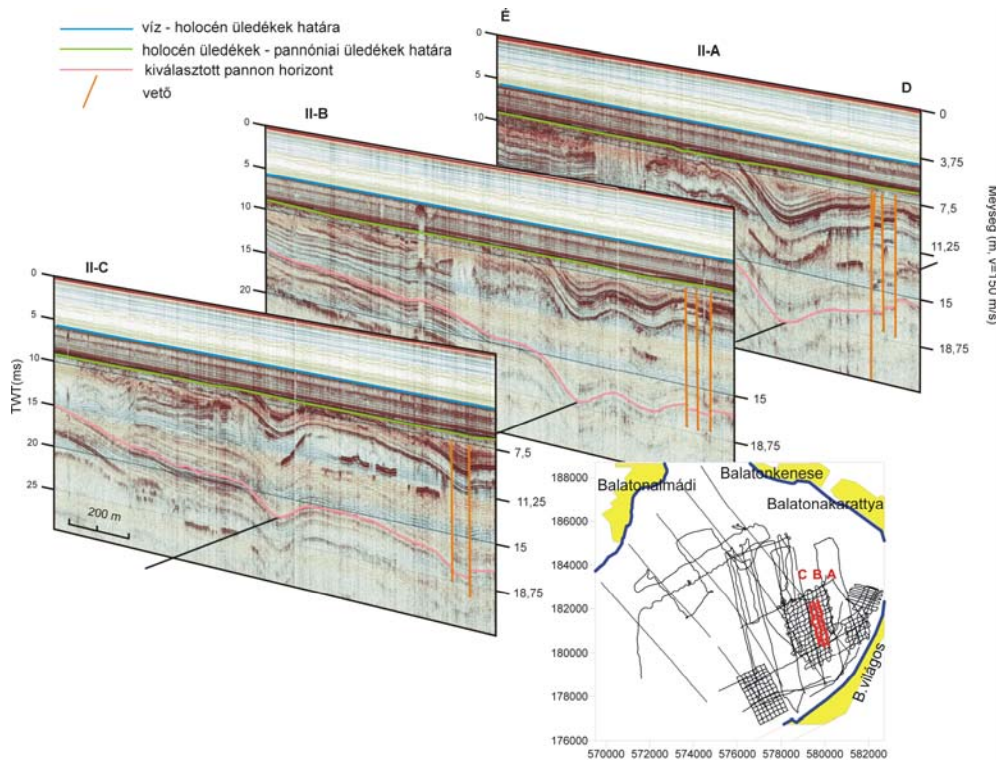
A Balaton és a kapcsolódó somogyi-zalai területek voltak a szülőföldjei annak a tektonikai modellnek, amely közel merőleges (longitudinális és meridionális) szerkezeti vonalak rendszerével magyarázta a Balaton kialakulását és környezetének felszínfejlődését. Vízi szeizmikus mérések, kiegészítve szárazföldi szeizmikus, gravitációs, geoelektromos mérésekkel és geomorfológiai megfigyelésekkel megteremtették a szükséges integrált kutató-eljárást ennek a modellnek a verifikálására.

Az eredmények világossá tették, hogy csak a Balaton hossz tengelyével közel párhuzamos, longitudinális vetők léteznek a tó alatt és ezek folytatódnak a szárazföldi területeken is (12. ábra). Ezek jellege pedig balos elmozdulás (13. ábra), amelyek nem egyetlen vonalat, hanem széles nyírt zónát alkotnak. A meridionális irányú csatornához-hátakhoz nem kapcsolódnak vetősíkok, ilyen irányú szerkezeti vonalak a Balaton medencéjében nem mutathatók ki (5. ábra). Ebből következik, hogy megerősíthető a szélerózió alapvető szerepe a fiatal felszínformálásban.



12. ábra

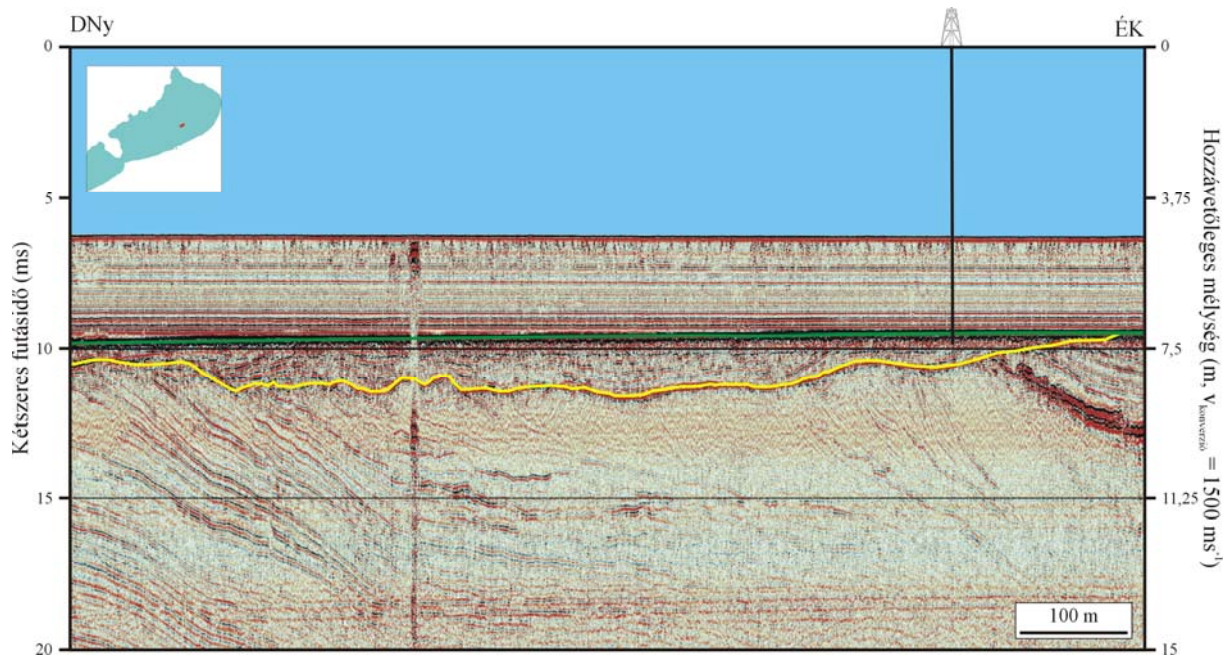
Különböző geofizikai módszerek eredményeinek és geomorfológiai kutatások integrálása a főbb szerkezeti elemek meghatározása során



13. ábra

Ultranagy felbontású szeizmikus szelvények a balos elmozdulás illusztrálására

Ugyancsak kijelenthető vizsgálataink fényében, hogy a Balaton nem árkos beszakadás, hanem az oldalelmozdulásos zóna mentén fellazult rétegek deflációval és abrúzióval kialakított depressziója. A depresszió eróziós kialakulását és ennek több fázisban történő végbemenetelét bizonyítja az a megfigyelésünk, hogy a balatoni iszap és a pannóniai (pontusi) rétegek diszkordáns határa helyenként szétválík (14. ábra). Itt egy pontusinál idősebb és a holocénnél fiatalabb üledékes öszlet maradványa található, amelynek a korát a fúrással felszínre hozott anyag vizsgálata ópleisztocénnak határozott meg. Ezen eróziós roncsok feltérképezése és egykori kiterjedésének a rekonstruálása a negyedidőszaki környezeti állapotok megismerésének egyik kulcsa.

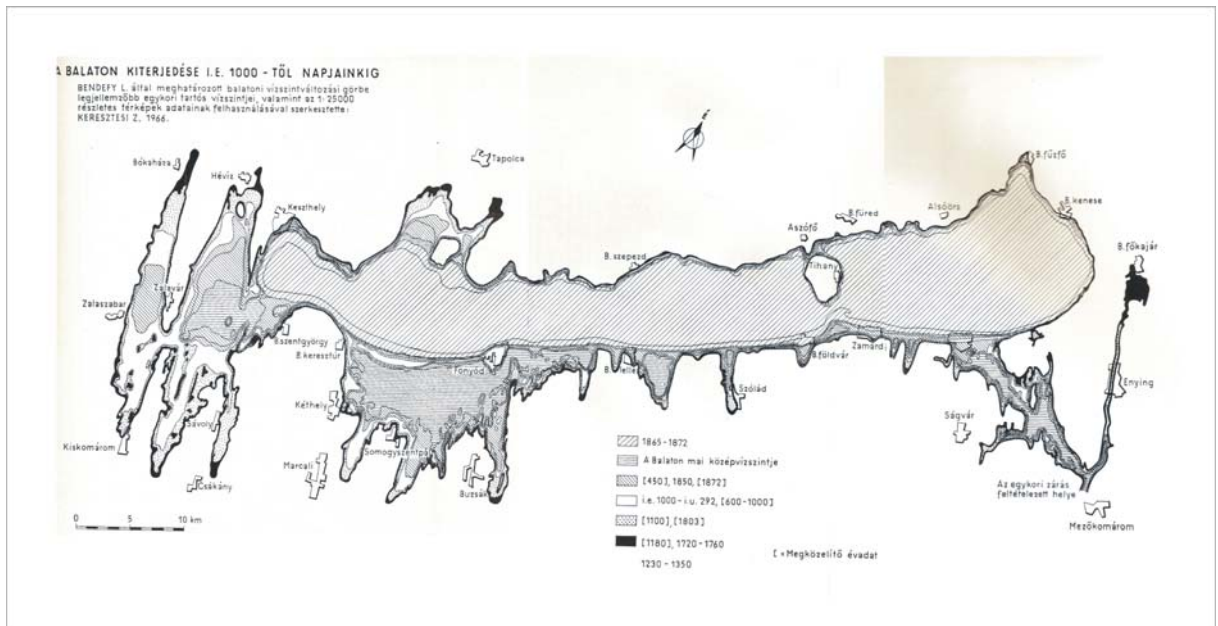


14. ábra

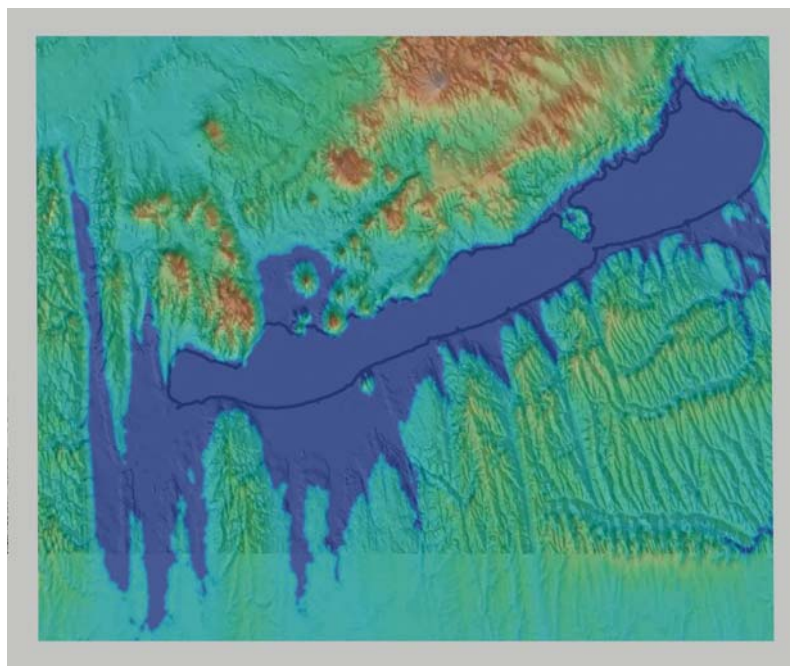
Példa a balatoni iszap és a pannóniai üledékek diszkordáns határának szétválására. A köztés üledéket sekélyfúrás harántolta, melynek anyagát a 9. ábrán bemutatott magminta tartalmazza

Negyedidőszaki klímaváltozások

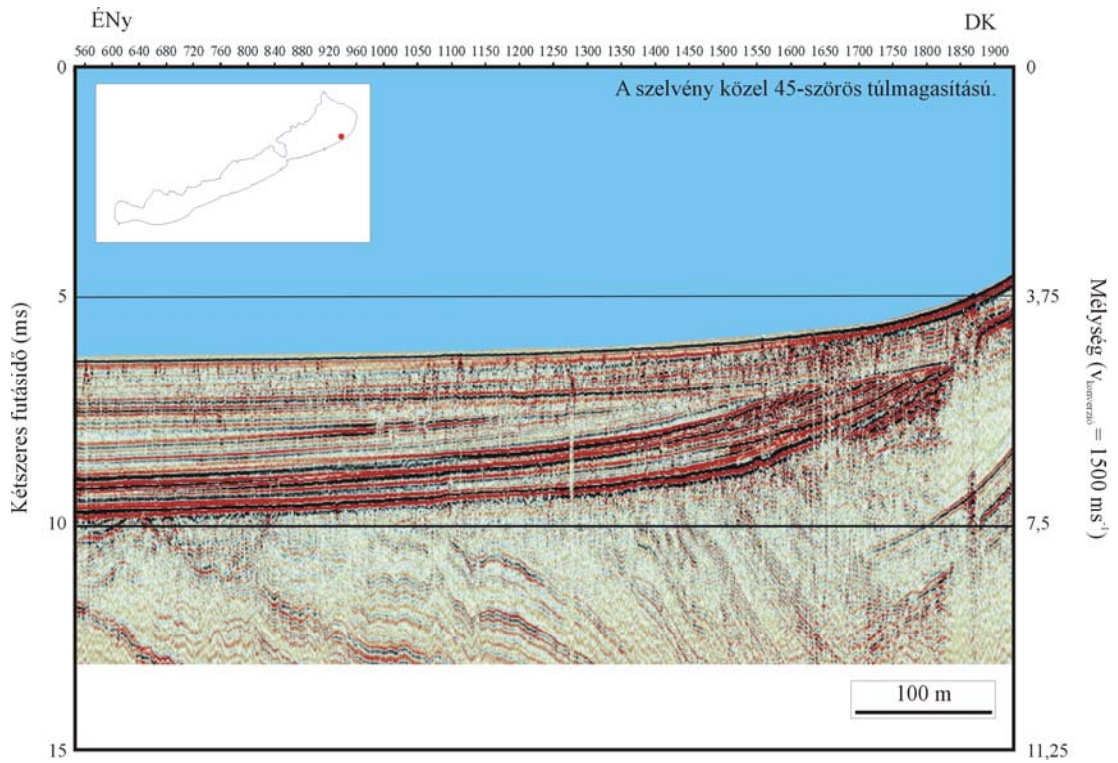
A rendelkezésre álló (alapvetően ősélettani adatok) jelentős klímaváltozásra utalnak, de annak menetét egyelőre csak ellentmondásosan képesek rekonstruálni. Általános egyetértés van abban, hogy egy olyan nagyterjedésű, de sekély tó, mint a Balaton a hőmérséklet és a csapadékmennyiség változásaira érzékeny műszerként reagál. Ez a válasz a tóban lévő vízmennyiség markáns ingadozásainak következtében beállt partvonal-változásokban (15. ábra), az ennek hatására kialakult morfológiai elemekben és a képződött üledékek elterjedésében és jellegében van kódolva. A 16. ábra azt mutatja, hogy ha a mai átlagos vízszintet 8-9 méterrel elvben megemeljük, akkor kapjuk meg azt a vízzel borítottságot, amit a balatoni üledékek maximális elterjedtsége alapján rekonstruálni lehet. A partvonal markáns eltolódásának új bizonyítékait tárta fel a vízi szeizmikus mérés (17. és 18. ábra). Ezek a szelvények a mai partvonalon jelentősen túlterjedő vízszintemelő esemény hatására bekövetkezett többméteres víz alatti erózióval lefejezett rétegeket mutat. Ez valószínűleg az atlantikumi klíma-optimum után következett be. A rétegsorban található diszkordanciafelület és a réteglapolódási viszonyok értelmezésével további klimatikus információ nyerhető az adatokból.



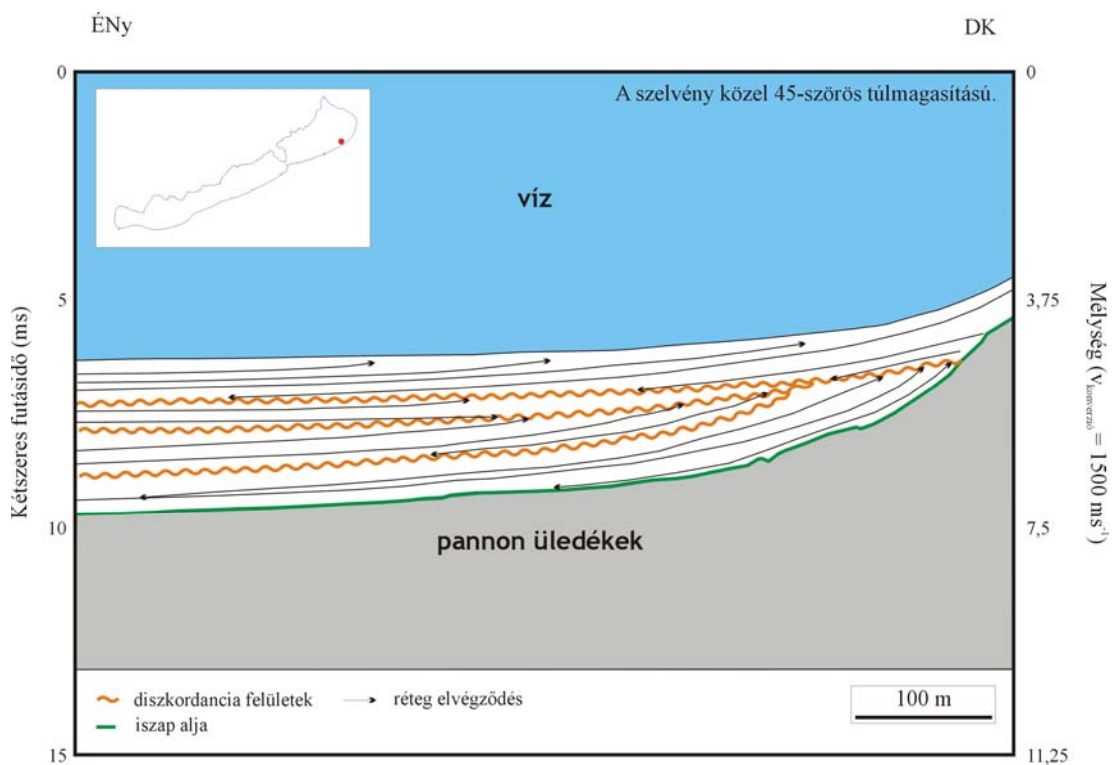
15. ábra
 A Balaton partvonalának évszázados változásai (Benedffy és Nagy, 1969 nyomán)



16. ábra
 A Balaton kiterjedését bemutató modell, amely a jelenlegi átlagos vízszint 8-9 méterrel történő megemeléseinek eredménye



17. ábra
A Balaton partvonalának eltolódását illusztráló partközeli szeizmikus szelvény



18. ábra
A fenti szelvény értelmezése, bemutatva a diszkordancia felületeket és réteg elvégződéseket, amelyek jelentős partvonal változásra utalnak.

Befejezésül megállapítható, hogy a vízi és szárazföldi geofizikai módszerek integrált alkalmazásával olyan módszertant sikerült kialakítani, amely a negyedidőszaki környezeti állapotok megismerésének új és szabatos eszköztárszerét szolgáltatja.

A fenti kutatások eredményéről monográfiát tervezünk megjelentetni a Földtani Közlöny című folyóirat különszámaként. Az előzetes tartalomjegyzék a következő:

Horváth Ferenc

A balatoni kutatások jelentősége a magyar tektonikai gondolkodás fejlődésében

Timár Gábor, Székely Balázs, Molnár Gábor

A Balatont ábrázoló topográfiai térképekről

Tóth Tamás

Balatoni szeizmikus mérések áttekintése

Zlinszky András, Molnár Gábor, Hámori Zoltán, Horváth Anita

Medermélyesség és iszapvastagság a Balaton alatt

Sztanó Orsolya, Magyar Imre, Szafián Péter

Az üledékes architektúra legérdekesebb elemei a Balaton pannóniai képződményeiben ultranagy felbontású szeizmikus szelvények alapján.

Sztanó Orsolya, Szafián Péter (a szerzők listája még nem végleges)

Főnyodi vizsgálatok

Bada Gábor, Szafián Péter, Vincze Orsolya

Szerkezetföldtani vizsgálatok a Balatonon mért egy- és többcsatornás vízi szeizmikus mérések alapján

Szafián Péter, Darai Eszter, Horváth Anita

Sekély gázfelhalmozódások a Balaton alatt

Barabás Ambrus, Surányi Gergely

Balatoni üledékek magmintáinak komplex vizsgálata

Molnár Gábor, Dövényi Péter, Graham Stuart, Székely Balázs

Újabb adatok a Balatonfő földtani és szerkezeti felépítéséhez

Márton Péter

A Balaton üledékeinek paleomágneses vizsgálata

Lipovics Tamás, Lenkey László, Csontos András

Mágneses mérések a Tihanyi-félszigeten

Lenkey László, Lipovics Tamás, Magyar Imre, Surányi Gergely, Sztanó Orsolya

Természetes gamma és mágneses szuszceptibilitás szelvények a kenesei magasparton (Tihanyi Formáció)

Mártonné Szalay Emő, Márton Péter és Zajzon Norbert

Környezeti mágnesség (mágneses szuszceptibilitás mérések alkalmazása a környezetszennyezés kimutatására).

Székely Balázs, Molnár Gábor, Ferencz Edit, Dövényi Péter, Ingrid Krumrei, Timár Gábor

Adalékok a Balatonfő felszínfejlődéséhez: komplex neotektonikai vizsgálatok a Cinca-Csíkgát vízgyűjtőjének régiójában

Timár Gábor, Székely Balázs, Molnár Gábor, Síkhegyi Ferenc (a szerzők listája még nem végleges)

A Balaton maximális holocén kiterjedésének rekonstrukciója az északi és a déli part eltérő kiemelkedési ütemének figyelembevételével