

Balatoni nagyfelbontású (egycsatornás) szeizmikus szelvények szedimentológiai, sztratigráfiai értelmezése és korrelációja a Balaton környékén felszínen kibukkanó üledékekkel

T 037724 sz. OTKA zárójelentése, 2002-2006 (4+1 év)

(irta: Sztanó Orsolya és Magyar Imre)

Tartalom

A kutatás célja, tárgya	1
A kutatásban alkalmazott módszerek	1
Szedimentológia	1
Biosztratigráfia és paleoökológia	1
Geofizikai módszerek	2
Ultranagyfelbontású, sekélybehatolású szeizmikus szelvényezés	2
Multielektrodás geoelektromos szelvényezés	2
Földradar mérések	2
Természetes gamma szelvények	2
Nagyfelbontású szekvenciasztratigráfia	
Eredmények	
Földtani, szedimentológiai és őslénytani vizsgálatok a kutatási területtől földrajzilag és öskörnyezetileg távolabb	2
Dél-Dunántúl, Dráva-medence	2
Marosorbó, Erdélyi-medence	3
Gödöllői dombság és Vértes előtere	3
Terepi szedimentológiai, őslénytani vizsgálatok, kapcsolódó, egyéb geofizikai mérések eredményei	4
Kállai és Száki Formáció a Tapolcai-medencében	4
Földradar mérések a Kállai Formációban	5
Somlói Formáció a Budapest, Kozma utcai téglagyári agyagfejtőben	6
Tihanyi Formáció	6
Üledékképződési környezete	6
Természetes gamma szelvénye	8
Kora	8
Szekvenciasztratigráfiai helyzete	9
Ultra-nagyfelbontású szeizmikus szelvények értelmezése	10
Ősföldrajzi, fejlődéstörténeti következtetések (összefoglalás)	12
Irodalomjegyzék	14

A kutatás célja, tárgya

A kutatás célja a Balaton holocén iszapja alatt található pannóniai összlet tér- és időbeli lehatárolása, valamint az elkülönített egységek pontos és részletes komplex szedimentológiai, (lito- és biofáciéseken alapuló) öskörnyezeti és integrált sztratigráfiai értelmezése volt, elsősorban ultranagy-felbontású, sekélybehatolású, egycsatornás szeizmikus szelvények és korrelatív felszíni feltárások alapján. A kutatás végtermékeként a Pannon-tó peremi, tó-melléki kifejlődésű részeinek fejlődéstörténetét, a feltöltődést befolyásoló tényezőket kívántuk megadni. Az üledékes architektúra szeizmikán kirajzolódó elemeinek azonosítása és értelmezése révén, nemcsak a tóperem fejlődéséről kívántunk részletekben gazdag képet rajzolni, hanem általánosítható partfejlődési modell kialakítását is célul tűztük ki.

A kutatás tárgyát a Balaton alatt települő és a tó környezetében felszínre bukkanó pannóniai képződmények, így elsősorban – rétegtani rendben haladva – a Száki, Kállai, Somlói és Tihanyi Formációk alkották. Mivel a szűkebb vizsgálati területen a legfiatalabb cikluszáró alluviális képződmények nem fordulnak elő, a teljesebb megértés érdekében máshol tanulmányoztuk azokat, a Fodor László vezette T.042799 számú OTKA kutatási pályázattal együttműködve. A munka előrehaladtával szükségesnek láttuk, hogy a rétegtani és ösföldrajzi kapcsolatok megértése céljából kitekintsünk a mélymedencék – klasszikusan eltérő szemlélettel leírt – üledékösszleteinek litológiájára, rétegtanára, szekvenciasztratigráfiai problémáira, s e tárgyban együttműködtünk a Juhász György vezetésével azóta lezárult OTKA T.35168 pályázattal.

A kutatásban alkalmazott módszerek

A munkatervben meghatározott fázisokkal összhangban három fő tudományterület mentén végeztük kutatásainkat:

- szedimentológiai adatgyűjtés és értelmezés;
- őslénytani adatgyűjtés és értelmezés;
- geofizikai adatgyűjtés és értelmezés.

Terepi **szedimentológiai** szelvényezést végeztünk ismételt többször is a Lesenceistvánd-billegei kavicsbányában, a tihanyi fehérparton, Balatonfüzfő térségében, a balatonkenesei, akarattyai, aligai és fonyódi magaspartokon, az időközben épülő M7 Balatonboglár-Ordacsehi közti szakaszán, Balatonszentgyörgy térségében és kisebb észak-somogyi homok- és agyagbányákban. Törekedtünk arra, hogy minél hosszabb, egybefüggő szelvényeket rajzolhassunk meg, lehetőleg a rétegtani fiatalodás irányában, de ezzel párhuzamosan azokban a nagyobb feltárásokban, ahol erre lehetőség nyílt, a laterális fácieskapcsolatokat, kiékelődéseket is követtük. A szelvényekben a makroszkóposan (lupéval) észlelhető szemcsenagyság változásokat és ezzel párhuzamosan az üledékszerkezeteket rögzítettük. Kiemelt figyelmet fordítottunk a fokozatos és az éles fáciesváltozások megkülönböztetésére, valamint az üledékföldtani karakterek és az ősmaradványtartalom közötti összefüggésekre.

Őslénytani (**biosztratigráfiai és paleoökológiai**) információt részben saját gyűjtésű anyagból, részben korábbi gyűjtések anyagainak feldolgozásából nyertünk. A terepi szedimentológiai szelvényezéssel párhuzamosan rétegről-rétegre gyűjtöttük a kagyló- és csigamaradványokat, vagy ahol a rossz megtartás miatt erre nem volt mód, a terepen határoztuk meg a fajokat. A gazdagabb faunájú rétegekből nagyobb mennyiségben vettünk mintát laboratóriumi preparálás céljából. A puhatestűek és dinoflagelláták alapján végzett biosztratigráfiai értékelésre MAGYAR ET AL. (1999) zonációját használtuk fel. A kutatás során számos új biosztratigráfiai korrelációs eredmény született. Az egyes képződmények korának minél pontosabb meghatározásához felhasználtuk az egyéb rétegtani módszerrel elért eredményeket is. A környezeti

rekonstrukció során figyelembe vettük az egykori élőlények ökológiai igényeit, és ezekből következtettünk a víz mozgatottságára, sótartalmára, mélységére stb. A testfossziliák vizsgálata mellett nem kerülték el figyelmünket a képződmények nyomfossziliái sem.

Geofizikai adatok alatt az eredeti tervben az 1999, 2000 és 2001 során mért **ultranagyfelbontású, sekélybehatolású szeizmikus szelvényeket** és a projekt keretében 2003, 2004, 2005-ben mért szelvényeket értettük. A Balaton holocén iszapja alatt található rétegösszlet sztratigráfiai és szedimentológiai értelmezésének továbbra is ezen adathalmaz az alapja. A pályázat keretében mért szelvényeket elsősorban szerkezetföldtani értelmezés céljából és a holocén képződmények jellemzésére felhasználták a Márton P. TS.44765 számú OTKA pályázata kidolgozása során is. Terepi vizsgálódásainkat ezen kívül kiegészítettük egyéb geofizikai mérésekkel. Rétegtani korrelációt segítő a Tapolcai-medencében **multielektrodás geoelektromos szelvényezést** végeztünk. Ugyancsak a Tapolcai-medence térségében előforduló kavicstestekben észlelt anomális szállítási-, illetve progradációs irányok magyarázatához, hazánkban úttörő módon félig 3D képet adó, szelvényhálóban telepített **földradar méréseket** eszközöltünk. Kísérleti jelleggel a legfontosabb két feltárásban a litológiai változások egyszerű és gyors leképezése céljából, valamint, hogy a mélyfúrások adataival összevethető képet is kapjunk a Tihanyi Formációról, kvázi folyamatos szelvényben megmértük a rétegek **természetes gamma** sugárzását terepen és a szélsőértékű kontroll mintákét laboratóriumi körülmények között is.

Az előbb felsorolt módszerek mellett az öskörnyezeti értelmezésben felhasználtuk a **nagyfelbontású szekvenciasztratigráfia** alapelveit. A feltárásokban látható néhány méter vastag üledékciklusoknak és a szeizmikus szelvények finom felbontásának köszönhetően, ezek összehangolt értelmezésével, az elsődleges geometria, architektúra figyelembevételével ötödhatodrendű, azaz paraszekvencia léptékű üledékes architektúrát vizsgáltunk.

Eredmények

Földtani, szedimentológiai és őslénytani vizsgálatok a kutatási területtől földrajzilag és öskörnyezetileg távolabb

Elsőként a Balaton környezetétől távolabb eső – az eredeti munkatervben leírtakhoz csak lazán kapcsolódó, ám menet közben szükségesnek ítélt vagy a megértést elmélyítő – vizsgálódásaink eredményét foglaljuk össze.

Dél-Dunántúl, Dráva-medence

Már a munkálatok megkezdésekor felismertük, hogy a mélymedence kifejlődésekkel való párhuzamok megértése, rétegtani (szekvenciasztratigráfiai) korreláció, valamint a szerkezeti pozíció átlátása nélkül nem juthatunk eredményre. Ezért áttekintettük a **Dél-Dunántúllal** foglalkozó korábbi publikációkat, értelmeztünk a Balatontól délre mért „ipari” szeizmikus szelvényeket egészen a **Dráva-medencéig**, ahol horvát kollégákkal (Brunó Saftic, Zágrábi Tudományegyetem), és Juhász Györgyivel (MÁFI) kooperációban folyt tovább a munka. A vizsgálataink tárgyát képező Pannon-tavi képződmények egy másodrendű üledékes megaciklus részeként keletkeztek. Ennek alsó, mélyvizi kifejlődésű részei (hemipelágikus márga, turbidit és medence-lejtő pélit) csak a Balaton térségétől délre fordulnak elő, míg a felső, delta progradációhoz kapcsolható részei egyértelműen a mai Dunántúli-középhegység és a Balaton felől épültek ki. A korábbi szekvenciasztratigráfiai értelmezések és korrelációk mindegyike – bár fő vonásaiban helytálló képet ad – számtalan, a lényegét, az okokat és okozatokat tekintve vitatható részletet tartalmaz. A szemle jellegű összefoglaló megjelent a *Geologica Croatica*-ban (SAFTIĆ ET AL., 2003.)

Marosorbó, Erdélyi-medence

A Balaton környékén előforduló pannon üledékek összvastagsága a 200 m-t nem haladja meg. Fúrasi adatok és egyes feltárások alapján tudjuk, hogy a pannon nagy területen szarmata üledékekre települ, de határszelvény – sem folytonos, sem diszkordáns – a térségben nem tanulmányozható. A tó kialakulásának megértéséhez a balatoni kutatási terület pannonjától térben, időben és fáciesében egyaránt távolosó helyzetű képződmények vizsgálata vált szükségessé. Mivel a Pannon-medencében felszínen **folymatos szarmata-pannon rétegsor** ritkán tanulmányozható, ezért ilyen a „negyedkori inverzió” által érintett peremi medencék, pl. az Erdélyi-medence vidékén kerestünk. A **marosorbói szelvény** elemzésére, a minták begyűjtésére és rétegtani, paleoökológiai feldolgozására egy nagyobb csapat verbuválódott: a munkában rajtunk (MI, SzO) kívül Krézsek Cs. (Romgaz), Wanek F. (Sapientia EMT), S. Filipescu (Babes-Bolyai TE), Sütőné Szentai M. (Komló), Summer A. Ostrowski (Wisconsin Egyetem, USA) és Juhász Gy. (MÁFI, OTKA T035168) vettek részt. A szelvény szedimentológiai értelmezése teljesen, rétegtani értelmezése részben elkészült, eredményeinket az Acta Geologica Hungaricában publikáltuk (SZTANÓ ET AL., 2005). Munkánk aktualitását igazolta, hogy nem sokkal később magnetosztatográfiai, geokronológiai szempontból egy holland kutatócsoport is vizsgálta a szelvényt (VASILIEV, 2006). A további rétegtani és paleoökológia eredmények közzlése még várat magára.

Az összesen kb. 100 m vastag szelvény uralkodóan agyagmárga, mészmárga anyagú, melybe aleurolit, homokkő és tufa rétegek települnek. Tradicionálisan a tufabetelepülések megritkulásánál húzták meg a szarmata/pannon határt, integrált biosztratigráfiai vizsgálataink ezt igazolták. A feltárásban a szarmata fölött kimutattuk a legidősebb pannóniai puhatestű- és szervesvázú mikroplankton zónák jelenlétét („*Lymnocardium*” *praeponticum* és *Mecskia ultima* zónák). Ezeket mi regisztráltuk elsőként az Erdélyi-medence területéről, és ezzel megállapítottuk, hogy revízióra szorulnak azok az ösföldrajzi rekonstrukciók, amelyek szerint az Erdélyi-medence a pannóniai korszak elején szárazulat volt, és csak később öntötte el a Pannon-tó vize. A homokkő betelepülések felfele vastagodó, majd vékonyodó üledékciklust alkotnak, melyen belül kisebb, 2-5 m vastag rétegsorozatokat különíthetők el. A homokkő betelepülések a bennük megjelenő gradáció, sík- és keresztlemezesség, konvolúció (Bouma-sorozat) alapján kissűrűségű zagyárok termékei. A turbiditék között ismétlődően agyagosabb vagy meszesebb márga rétegek találhatók, mint nyílttavi háttérüledékek. Emellett a márga gyakran lemezesség és bioturbáltság átmeneti fokozatait mutatja. Az uralkodóan pélites, turbidit-mentes szakaszokon, a nem bioturbált mészmárgákhoz kapcsolódóan gyakori rostos gipsz rétegszerű megjelenése is. A szelvényben tehát a háttérüledék kétféle, egymástól látszólag független ritmikussága figyelhető meg. Az egyik az üledék/víz határon a dyaerob-aerob viszonyok ingadozásával, a másik a vízoszlop felső átvilágított részében a bioprodukciónak változó karbonáttermelő hatásával magyarázható. A bioprodukciónak intenzitásának klimatikus vezéreltsége nyilvánvaló, az üledék/víz határzóna kémiai állapotát a hipolimnion helyzetének megváltozásával szintén klimatikus hatásra vezethetjük vissza. Úgy tűnik, hogy a zagyárok időről-időre oxigén-gazdag vízzel frissíthették a gyakran pangó vizű aljzatot. A zagyár tevékenység intenzitásának változásával létrejövő hígítási ciklusok eredete lehet autociklikus lebegyvándorlás, de lehet szintén klíma-kapcsolatú relatív tószintváltozás is.

Úgy véljük, bár a marosorbói szelvény tanulságai közvetlenül nem voltak hasznosíthatóak a Balaton környéki kutatások során, mégis fontosak a későbbiekben a tó kialakulásának, ösföldrajzi fejlődésének és a mélymedencebeli márga rétegsorok karakterének megértése szempontjából is.

Gödöllői-dombság és Vértes előtere

A Pannon-tó történetét lezáró **foljóvizi üledékképződés** jellegeit a Balaton környékén szintén nem tanulmányozhattuk, feltárások hiányában. Ilyen üledékeket vizsgáltunk azonban két helyen: a Gödöllői-dombságon és a Vértes előterében. A **Gödöllői-dombság** felszínét nagy területen alkotja pliocén („levantei”) tarka agyag és hozzá kapcsolódó homoktestek. A tarka agyagok ártéri keletkezésűek, míg a homoktestek folyók mederövének termékei, arányuk a rétegsorokban kb. 50-50%. Három kisebb feltárás, fúrasi rétegsorok és a gödöllői vasúti bevágás archív dokumentációjának tanulmányozásával rekonstruáltunk egy kb. Tisza méretű meanderező

folyót, mely ÉNY-DK irányban haladva építette kanyarjait. Kellően pontos sztratigráfiai adatok hiányában nem meghatározhatóan, közel egyidőben, de valószínűleg nem egyszerre létezhetett egy hasonlóan nagy méretű fonatos folyó is, melynek öve uralkodóan homok, kavicsos homok felépítésű, alárendelt mennyiségű pélitet tartalmaz csupán. Ez, a valószínűleg nyugati-kárpáti lehordási területről érkező folyó, vagy a klíma szárazabbá válását, vagy a háttér megemelkedését jelzi. A munka eredménye megjelent az Általános Földtani Szemlében (UHRIN, 2005) és a Geologica Carpathicában (UHRIN & SZTANÓ, 2007).

Teljesen más kőzettest felépítménnyel talákoztunk a **Vértes előterében**. A pliocén üledékek (Nagyalföldi Tarkaagyag Vértesacsai Tagozat) felszíni feltárásaiban nagyrészt homok jelenik meg, de fő tömegét ártereken lerakódott pélitek alkotják. A vértesacsai Csönget-völgy, Agyagos-völgy és több környező fúrás rétegsora, valamint az egykori folyómeder elhelyezkedésének meghatározása céljából a feltárás közelében mért geoelektromos szelvények alapján rekonstruálhatók az ártéri agyagok közé települő elszigetelt homoktestetek, melyeket mederkitöltő üledékként értelmezhetünk. A csönget-völgyi homoktest valószínűleg egy stabil helyzetű, vertikálisan gyarapodó meder üledéke, míg az agyagos-völgyi egy folyókanyarulat fejlődését és az ezzel járó oldalirányú övzátany gyarapodást tükrözi. Ezen a területen a pliocén alluviális síkságot kis kanyargósságú, kis esésű, 5-7 m mély medrű, Dk-i és DNy-i szállítási irányú, valószínűleg szövedékes morfológiájú folyók építhették. Az adatok egyenlőre csak kézirat formában, Uhrin A. szakdolgozataként (2006) elérhetők, a munka a Fodor László vezette, T.042799 számú OTKA pályázattal együttműködve készült.

Terepi szedimentológiai, őslénytani vizsgálatok, kapcsolódó, egyéb geofizikai mérések eredményei

A Balaton környéki pannont célzó terepi kutatásaink három helyszínre összpontosultak:

- a Száki és Kállai Formáció Tapolca környéki előfordulásaira, ugyanitt feldolgoztuk a Somlói Formáció faunáját;
- a Tihanyi Formáció feltárásaira a Balaton keleti medencéje körül (Tihany – Kenese – Akarattya – Aliga); valamint
- a déli parton (Fonyód, Balatonszentgyörgy) és Észak-Somogyban (Ordacsehi, Balatonboglár, Daránypusztá, Tab, Somogytúr).

Tartalmukban szervesen ide csatlakoznak azok az észleléseink is, amelyeket a Budapest, Kozmatutcai – mára már feltöltött, megszűnt – téglagyári gödörben végeztünk, és amelyek révén megérthettük a Somlói Formáció keletkezési viszonyait is. Hasonlóan részletes észlelésekre alkalmas feltárást a Balaton környékén a rendkívül rossz állapotú raposkai szelvényen kívül nem találtunk.

Kállai és Száki Formációk a Tapolcai-medencében

A **Kállai Formációval**, annak káli-medencei és billegei feltárásaival is foglalkoztunk már egy előző, F.030809 számú OTKA pályázat keretében. Kimutattuk a hullámverés és a viharok szerepét a fövenypartok alakításában, valamint meghatároztuk, hogy a „billegei kavics” egy Gilbert-típusú delta üledékeként keletkezett. A billegei bányában ezentúl rengeteg ellentmondásos észlelési adat gyűlt össze: nem tudtuk megmagyarázni, hogy miként mérhetünk a fő délies szállítási irány ellenére nagyon sok É-i, ÉK-i dőlést; milyen a képződmény szerkezeti meghatározottsága; miként magyarázható a progradáló kavicsostest transzgresszív települési helyzete; mi lehet a kavicsrétegeket átszelő homoktömszök eredete, kora? Az egyre szaporodó kérdések miatt a közlésre előkészített kézirat visszakerült a fiókba, és ezen pályázat keretében újabb vizsgálatokat, méréseket végeztünk.

A litosztratigráfiai kapcsolatok tisztázása céljából szeizmikus méréseket terveztünk a Keszthelyi-medencében, melyeket a balatoni holocén iszap gázszaturáltsága miatt nem lehetett végrehajtani. A probléma megoldására végül archiv **fúrási adatokat** tekintettünk át és

geoelektromos szelvényezést végeztünk a **Tapolcai-medencében**. A geoelektromos szelvények kb. 50 m mélységig képezték le a nagyobb ellenállású, enyhén délre dőlő szarmata mészkő fekére települő kis ellenállású agyagos képződményeket (Száki Agyagmárga) és azok közepes ellenállású (Kállai F.) fedőjét. A geoelektromos és a földtani szelvények alapján a területen kimutattunk pannon üledékképződéssel egyidejű vetőműködést, és fáciesösszefogazódásokat. SÜTŐNÉ SZENTAI MÁRIA (1999) munkájának felhasználásával kimutattuk, hogy a Száki Formáció idősebb a Tapolcai-medencében a Kállai Formáció fekéjében (*Spiniferites bentorii oblongus*, *Pontiadinium pecsvaradensis*, és *Spiniferites paradoxus* kora-pannóniai dinoflagelláta-zónák), mint a Dunántúli-középhegység északi előterében, ahol a Kisbéri Formáció fedőjében települ (*Spiniferites paradoxus* zóna). Ennek alapján a Kállai és a Kisbéri Formációk kora a biosztratigáfiai felbontáson belül azonosnak tekinthető, a két közetrétegtani egység geokronológiai szempontból nem különböztethető meg. A raposkai téglagyári fejtőben a *Congeria czjzeki* szublitorális zóna fiatal részét és a *Lymnocardium ponticum* litorális zónát azonosítottuk a Kállai Formációt fedő helyzetben, a Somlói Formációban.

Az üledékképződés története mindezek alapján a következőképpen rekonstruálható. A **Száki Agyagmárga** képződése korai szakaszában (ca. 11-10 millió éve) a Dunántúli-középhegység széles félszigetként emelkedett a Pannon-tó vízszintje fölé. A „Tapolcai-medence” egy dél felé nyitott öböl lehetett, melynek nyugati és északi oldalán aktív törések mentén triász anyagú tópart állt ki. Az agyagmárga képződési mélysége az öbölben nem haladta meg a néhányszor 10 métert. Ezt követően, mintegy 10-9,5 millió évvel ezelőtt keletkeztek a Kállai Formáció kavics- és homoktestjei, amelyek befedték a Tapolcai-medence peremi vetőit is. A Kállai Kavics rátelepülése az agyagmárgára csakis a relatív tőszint-emelkedést meghaladó mértékű üledékbehordással magyarázható, miközben a Kállai Formáció maga is transzgresszív helyzetű. Nagy üledékbehordási rátával csak a kavics anyagát közvetlenül szolgáltató delta torkolatához közel kell számolni; az erősen progradáló kavics-homok testektől kevéssel délre már agyag-aleurit halmozódott fel. A Kállai Kavicsból álló Gilbert-típusú delta homlokrétegei legalább 20 m-es vízmélységet jeleznek, így nem meglepő, hogy a Száki Agyagmárga rétegei már a hullámbázis alatti nyugodt vízben ülepedtek. Tehát a Kállai Formáció és a Száki Agyagmárga a Tapolcai-medencében részben egymás heteropikus fáciesei, részben ugyanannak a transzgressziós eseménynek a termékei. Mintegy 9,5-9 millió éve nagy változás következett be a terület üledékképződésében. A kavics- és homoktestekre, vagy ahol azok hiányoztak, közvetlenül a Száki Agyagmárgára már egy másik üledékciklushoz tartozó Somlói Formáció aleuritos, homokos rétegei települtek (CSILLAG ET AL, közlésre előkészítve).

Földradar mérések a Kállai Formációban

A Kállai Formációt alkotó Gilbert típusú delta kiépülése egyértelműen dél felé történt, ugyanakkor a billegei bánya délkeleti részén ezzel 90-120°-ot bezáró szállítási irányokat mértünk, teljesen azonos közetösszetételű testek meredek rétegeinek dőlései alapján. Ezek a közettestek mindenütt eróziósan települtek a „nagy” délies dőlésű homlokrétegekre, vagy néhány méter vastag kiékülő kötegekben egymásra. Fedőjük a délre progradáló sorozat fedőjével azonos. Ezen geometria és a **delta test belső szerkezetének megismerése céljából földradar méréseket** végeztünk, három, kvázi háromdimenziós képet adó, 30*30 m-es mérési hálóban. A radarszelvényeket az elmúlt öt év terepbejárásai során készült fényképekkel, a bányafalak földtani, szedimentológiai szelvényeivel vetettük össze. A radarszelvényeken a reflexió elvégződés, az amplitúdó és a folytonosság alapján három radar fácies különül el. Az alsó egység nagy amplitúdójú, meredek, ferde reflexiókkal jelenik meg, a felszíntől legalább 12 m mélységig. Ezek 3D térképezése kimutatta, hogy nagy kiterjedésű, viszonylag sík, DDK felé dőlő rétegekről származnak. Ezt az egységet a délkeleti mérési hálóban lapos szögű, erős reflexiót okozó eróziós felszín metszi, melyre ellentétesen, ÉK felé dőlő, maximum 3 m magas közettestről származó reflexiók következnek. Térképi nézetük alapján laterálisan néhányszor 10 m-es kiterjedésű, karéjos rétegfelszínnek jelenlétére utalnak. A szelvények legfelső részén mindenütt erős horizontális reflexiók láthatók. Mind a nagy-, mind a kisméretű, meredeken délre vagy ÉK-re dőlő

felszínnek a Gilbert-delta homlokrétegei, míg a vízszintes felszínnek annak fedőrétegei. A rétegdőlésekkel egyezően a földradarral kitérképezett progradálási irány déli, délkeleti a fő deltatest esetén. A már leülepedett lebenyeket metsző lapos eróziós felszín vagy néhány méteres vízszintesítés, vagy nagyon nagy csuszamlás révén alakulhatott ki. Az így képződött térbe épült ki a fő épülési irányra közel merőlegesen a kis, karéjos lebenyek sora. A delta test más részein mind a bányafalon észlelhetők, mind a radarszelvényeken láthatók csuszamlási fülkék, és azok kitöltései, ezek azonban a kérdéses köztettnél jóval kisebbek, vékonyabbak. A GPR az üledékes architektúra leképezésének kellően részletgazdag képet adó, gyors, olcsó és hatékony eszközének bizonyult (TÓTH ET AL., közlésre előkészítve).

Somlói Formáció a Budapest, Kozma utcai téglagyári fejtőben

A **Somlói Formáció**nak csak nagyon gyenge, kicsi feltárásait ismerjük (pl. Tapolca-Diszel, Hajagos-hegy). Faunája ezekben is begyűjthető volt, ám szedimentológiai vonásai megismerésére nem alkalmasak. A Tapolcai-medence megértésének egyik kulcsfontosságú lelőhelye a raposkai téglagyári gödör, melyet azonban az évek során nagyon benőtt a növényzet. Az ott látható fácieshez leginkább hasonlót a **Budapest, Kozma utcai volt téglagyári agyagfejtőben** láttunk. A szelvény felvételét a bányagödör feltöltése előtti utolsó pillanatban végeztük el, leletmentésként. Régi adósságunkat sikerült törlesztenünk, mikor bio- és magnetosztratigráfiai módszerekkel korolt szelvényének vizsgálatát lezártuk. A legfelső 20 m üledékei kb. 8-9 millió évvel ezelőtt, a C4r reverz polaritású zónában, a szublitorális *C. praerhomboides* és a litorális *Lymnocardium decorum* zónák képződése idején keletkeztek. A szedimentológiai és ökológiai (test- és nyomfossilák egyaránt) jellegek összehangzóan a hullámbázis alatti oxigén-szegény aljzat időszakos megszűnését bizonyítják. A kékekesszürke agyagba települő néhány cm-dm vastag síklemezes, keresztlemezes járatokkal gyengén bioturbált homok rétegei viharüledékek. Határozottan elvált a vihart követő opportunist, pionír közösség járatrendszer az őket követő nyugodt vízi állapot nyomaitól. A járatok és az elsődleges üledékszerkezetek megmaradása is az élettevékenység fokozatos megszűntével magyarázható. A nyomegyüttes itt is több hasonlóságot mutat a tengeri *Skolithos* ichnofáciessel, mint az irodalomban elterjedőben levő tavi osztályozásokkal, bizonyítva a Pannon-tó thalasszoid jellegét. Az arasznyi, középszemcsés, limonitos, teljesen bioturbált rétegek alján tág tölcésalakú járatokban kéteknős *Dreissenomya* ülnék, mihez megszólalásig hasonlót a Tihanyi Formációból ismerünk (Balatonszentgyörgy). Az integrált rétegtani, szedimentológiai, őslénytani és paleoichnológiai eredményeinket bemutató tanulmány a Faciesben jelent meg (MAGYAR ET AL., 2006).

A Tihanyi Formáció

A **Tihanyi Formáció**nak sok kitűnő feltárását tanulmányozhattuk. A tihanyi Fehérpart, a balatonkenesei Fánccséroldal és az akarattyai Csittényhegy, bár már Lóczy 1913-as monográfiájában is szerepeltek, mégis mind szedimentológiai, paleoökológiai és szekvenciasztratigráfiai szempontból kiemelkedő jelentőségűek. Az **üledékképződési környezetet** mind a közettani felépítésben, mind a fossziliatartalomban megmutatkozó ciklikusság alapján rekonstruálhatjuk. A 2-8 m vastag kis ciklusok meszes aleuritos agyaggal, agyagos aleurittal kezdődnek, melyre gyenge felfelé durvulással aleuritos finomhomok, középszemcsés homok, majd cikluszáróként szürke, szervesanyag-dús agyag, szenesagyag, esetenként a vörösségig elmenő, rögös őstalaj települ. A mocsári szintek szürke sávjai a feltárásokban messziről azonosítható, korrelatív felszínneknek bizonyultak. A cikluskezdő pélitben sekély, de nyílttavi puhatestűek (*L. decorum*, *L. apertum*, kis *Melanopsis*ok, stb.), feljebb, a homokokban inkább édesebb vízre jellemző formák (*Theodoxus*, *Viviparus*, *Unio*) jelennek meg, illetve dúsulnak helyenként lumasellaszerűen. A cikluszáró mocsári képződményekben *Anodonta* és tüdőscsigák (Planorbidae, Lymnaeidae) gyakoriak. Különösen részletes paleoökológiai feldogozást lehetett végezni a bántapusztai (Várpalota mellett), balatonfüzfői (Papvásár-domb), és egy új balatonalmádi feltárás anyagán. Várpalotán 93, Füzfőn 100, Almádiból 56 taxonból álló együttes a környezeti értékelés alapja. A gondos és szorgalmas

gyűjtés eredményeként mindkét régebről ismert lelőhelyen több mint 30 korábban nem említett faj került elő (KATONA, előkészületben).

Az üledékciklusok zömét alkotó aleuritos, enyhén cementált finomhomok lemezes, keresztlemezes szerkezetet mutat. Utóbbiban hullámvázra utaló szimmetrikus és áramlást jelző asszimmetrikus formák váltakozása figyelhető meg, elszórt apró vertikális járatokkal (*Skolithos* ichnofácies). Az üledék durvulásával párhuzamosan általában nő a bioturbáltság mértéke, eltűnnek a finom szerkezetek. A paleotalajos intervallumokban gyakran jól megfigyelhető a kilúgozás és lejjebb a mészfelhalmozódás. A rétegsorok a hullámbázis feletti sekély víz és a partmelléki láp közötti zónában képződtek, paraszekvenciákat, kis, regresszív félciklusokat alkotnak, melyek elöntés vagy kimélyülés (transzgresszió) során képződő felszínnel kezdődnek és a fokozatosan sekélyedő vízből lerakódott üledékek folyamatos sorozatából állnak. A környezet fentírel pontosabb meghatározását segíti, hogy magát a hullámverte part üledékeit („strand” síkmezes homokja) csupán egyetlen feltárásban, a balatonfüzfői Papvásár-dombon láttuk, és ugyanitt találtuk meg a legnyitabb (mélyebb) vízre utaló puhatestűeket is (*Lymnocardium majeri*, *Congerina praerhomboidea*). A többi feltárás üledéke nagy valószínűség szerint, bár mozgatott vízben képződött rétegekkel kezdődik, mégis a partmelléki láp üledékébe markáns parti rétegek megjelenése nélkül megy át, tehát az erős hullámvázról félig elzárt viszonyokat jelez. Ugyancsak nem hagyható figyelmen kívül, hogy az üledékciklusok felsőbb részén ritkán előfordulnak laterálisan elvékonyodó masszív vagy keresztarétegzett középszemcsés homoktestek, melyek a hullámmozgatott homoktól eltérő jellegűek.

A déli part közelében levő, kissé fiatalabb pannont feltáró kibúvásokban (M7-es autópálya bevágásokban: Balatonlelle, Balatonboglár, Ordacsehi és a balatonszentgyörgyi téglagyári szelvényben) is a Tihanyi Formáció ciklikus felépítésű üledékeit találtuk. A ciklusok a kenesei-aligai képtől szedimentológiailag kissé különböznek. Kezdőtagként gyakoribbak a finomhomokos aleuritok, aleuritos finomhomokok, tehát valamivel durvább átlagos szemcseméret jellemző. A ciklusvastagság kisebb, 1-3 m közötti. Karakteres paleotalaj szinteket nem, csupán szenes-agyagos mocsári szinteket azonosítottunk, a tihanyi-kenesei típusnál nagyobb vastagságban. A szenesagyag szintekben a Helicidae családba tartozó szárazföldi csigákat és a *Pisidium* nemzetségbe, illetve a Planorbidae családba sorolható édesvízi puhatestűeket gyűjtöttünk. Balatonszentgyörgyön a réteghatárok mentén vertikális tölcser alakú járatok figyelhetők meg több szintben is, melyek mellett, vagy melyekben *Dreissenomya* sp. kététnős példányai találhatóak. A bányában laterálisan kiterjedt – a mocsárinál jóval nyitabb, és brakvízi környezetben keletkezett – faunás szint követhető (*Prosodacnomya carbonifera*, *Prososthenia* sp., *Dreissena* sp., *Melanopsis cylindrica* a gyakori fajok), kissé feljebb *Lymnocardium decorumot* gyűjtöttünk

Mindig az előbbieket közelében (alatt) gyakoriak egy-másfél méter vastag felfele finomodó rétegtagok, közép- és durvaszemcsés homok anyagú keresztarétegzett betelepülések (pl. Balatonszentgyörgy, Daránypusztá). Sajnos ezek horizontális avagy tál alakú geometriája, eróziós vagy folyamatos települése az adott feltártsági viszonyok miatt nem eldönthető. Ennek ellenére ezek legalább 2-3 m mély, koncentrált áramló közegről tanúskodnak, és így a part menti síkságon kialakuló medrek üledékének tekinthetők. Ha a mozaik darabjait összeillesztjük, és a sekély, néhol hullámvéreses, másutt kissé zártabb, de még mozgatott vízű öblöt, a partmelléki lápok és a medreket egy üledékképződési rendszerben helyezük el, akkor ez csak egy delta torkolatvidéke, a fő folyóágak közti öblök és azok feltöltődésével kialakuló térszín lehetett. A tihanyi-kenesei és a dél-balatoni rétegek szedimentológiai jegyei közötti kis különbségek is magyarázhatók a deltasíkság modellel. Az északabbi rétegek állandóan a tó peremén ingadozó körülmények között, a deltasíkság alsó, gyakran és nagy mértékben vízzel borított részén rakódtak le. Ezzel szemben a dél-balatoni rétegsor lerakódása idején kialakuló vékonyabb üledékciklusok és gyakoribb folyómedrek a deltasíkság felsőbb, elöntésnek ritkábban kitett, főképp mocsaras térszínén ülepedtek (MAGYAR ET AL.; SZTANÓ ET AL./B, mindkettő előkészületben).

A **Tihanyi Formáció** ciklikus karaktere kitűnően leképezhető viszonylag egyszerű és gyors **geofizikai szelvényezési** eljárásokkal is. Kísérleti jelleggel a tihanyi Fehérparton egy

természetes gamma (TG) szelvényt, a kenesei magasparton egy gamma és két mágneses szuszceptibilitás (MS) szelvényt mértünk. A mérések célja az volt, hogy e két, a mélyfúrási geofizikában is használt módszert felszíni mérésre adaptáljuk és az eredményeket összevessük a közvetlenül tanulmányozható, mintavételezhető rétegsorral. Végső (még mindig távlati) célunk, hogy a mélymedence rétegsorokban főleg csak karotázs képe alapján felismert deltasíksági rétegsorokkal (Újfalui Formáció) hasonlíthassuk össze a Tihanyi Formációt, mert a két képződményt lokális különbségektől eltekintve azonosnak véljük. A kőzetek természetes radioaktivitását (gamma sugárzását) az urán, tórium és kálium koncentrációja határozza meg. Az elemszelektív mérés időigényessége miatt terepen az együttes beütésszámot mértük, de néhány maximum, minimum és köztes értéknél begyűjtött kőzetminták U, Th és K koncentrációját laboratóriumban, félvezető detektoros gamma-spektrometriával is meghatároztuk. Mindkét mérés a rétegsorral összevethető módon mutatja az üledék szemcseméretének változását. Az MS mérés esetén a rétegek karbonáttartalma is jelentős tényezőnek bizonyult. A TG szelvények alapján elmondható, hogy a várakozásnak megfelelően az agyag magas, a homokrétegek alacsony radioaktivitást (beütésszámot) mutatnak, bár a kontraszt méréstechnikai okokból kisebb a két litológia között, mint lenne az fúrólukbeli mérés esetén. A laboratóriumi kontroll mérések alapján a beütésszám egyértelműen korrelál a Th és K tartalommal, melyet az agyagásványok hordoznak. Az U tartalom változása, meglepő módon, úgy tűnik nem köthető litológiai változáshoz (LENKEY ET AL., előkészületben).

Az eddigiektől eltérő jelenségeket láttunk két nagyobb feltárásban. A terepi felvétel idején még épülő M7 autópálya 140 km-énél a szürke aleurit – finomhomok – szenes aleurit vékony ciklusos felépítésű sorozatába aszimmetrikusan elnyúlt, kb. 6m mély, 30 m széles bevágódással települő, jól osztályozott (!), középszemcsés, keresztarétegzett homoktestet figyeltünk meg. A 0.5-1.5 m-es kötegvastagság legalább 5 m körüli vízmélységű áramló közeget jelez, melyben a szállítási irányok kis szórással DK-re mutattak. Mindezt egy nagyobb folyó medreként értelmezhetnénk, de a folyó hosszabb idejű létének (medervándorlás, ártérépítés stb.) nyomát nem találtuk, így inkább vízszinteséséhez köthető kisebb völgybevágódásnak tartjuk. E felett a feltárás egész hosszában (több száz méter) követhető egy kb. 2m vastag aleurit réteg, mely 5-30 cm-es lumasellával kezdődik. A zömmel kagylóból és kevesebb csigából álló, igen rossz megtartású együttes főként sekély-, brakkvízi formákat tartalmaz (*Congeria balatonica*, *C. triangularis*, *Dreissena auricularis*, *Lymnocardium apertum*, *L. cf. penslii*, *L. cf. secans*, *Unio mihanovici*, *Melanopsis* sp.), mely a völgy és felső deltasíkság ismételt előtérését bizonyítja.

A fonyódi magasparti szelvény legalsó és felső részét a „tipikus” párhuzamosan rétegzett, ciklikus felépítésű lápos, mocsári szintekkel tagolt deltasíksági kifejlődés alkotja, míg a feltárás aljában nagy vastagságú, áthalmazott molluszkákat tartalmazó durvaszemcsés, agyagklasztos keresztarétegzett homok van. Mind a szemcseméret, mind a keresztarétegzés jelentős méretű vízfolyásra utal. Ezen túl bebizonyosodott, hogy ez utóbbi kőzetfácies legalább 500 m széles, 16m mély, többszörös feltöltésekkel, mélyrevágódó eróziós felületekkel tagolt, mely maga is szenes agyagos, aleuritos homok rétegekbe vágódik be. A rétegsor alsó részét a mocsaras felső deltasíkságba bevágódott folyóvölgyként, míg felső részét a transzgressziót követően újra helyreálló deltasíksági üledékeként értelmeztük (NOVÁK ET AL., előkészületben).

A Tihanyi Formáció kora, ennek területenként minél pontosabb meghatározása munkánk egyik alappillére. Fontos korrelációt tett lehetővé a balatonfüzfői Papvásár-domb feltárásában talált *Congeria praerhomboidea*. Ugyanezt a fajt találtuk meg múzeumi anyagban a tihanyi Gödrös-oldalból (a fehérsági rétegek fekvéséből), és ugyanezt gyűjtöttük Kőbányán, a Somlói Formáció agyagos, szublitorális rétegeiből. Ennek az egyébként ritka fajnak az előfordulása a Dunántúli-középhegység délkeleti előterének e három feltárásában geológiai értelemben vett egyidejűséget jelez.

A Tihanyi Formáció típuszelvényének numerikus korát a belőle előkerült emlősmaradványok, a rétegek mágneses polaritása, és a fedő vulkanit radiometrikus kora alapján

próbáltuk meghatározni. Ez utóbbi szerint a szelvény idősebb, mint $7,92 \pm 0,22$ millió év, továbbá normál mágneses polaritású, az emlősmaradványok alapján legvalószínűbben az MN 11 zónával (8,7-7,7) korrelálható, a *Lymnocardium decorum* puhatestű-zónába tartozik, feküjében az előző bekezdés értelmében *Congerina praerhomboides*-s nyíltvízi rétegek vannak, amelyek Budapest-Kőbányán fordított polaritást mutattak, és a *Spiniferites tihanyensis* dinoflagellata-zónába tartozik. Mindezek figyelembevételével a feltárás legvalószínűbben vagy a C4An polaritás zónával, vagy a C4Ar1n alzónával korrelálható. Kora tehát 7,9-8,0 millió vagy 8,2-8,3 millió év.

A tihanyi pannóniai rétegek kor-értelmezését a Tihanyi Formáció egészére kivetíteni azonban nem szabad. A formáció képződése olyan üledékes környezetekhez kapcsolódik, amelyek már jóval korábban és még sokkal később is léteztek a Pannon-tó parti régióiban. A Balaton környéki magaspartok faunája dél felé fiatalodik; Balatonvilágosnál és Balatonszentgyörgynél már nem a *Lymnocoardium decorum* zóna, hanem a *Prosodacnomya* zóna jellegzetes puhatestűit találjuk a felszínen. (MAGYAR ET AL., előkészületben)

A fehérszirti feltárást „hivatalosan” mint a pontusi emelet egyik alemeletének sztratotípusát tartják számon (STEVANOVIĆ ET AL. EDS. 1990). Számunkra sem volt megkerülhető a kérdés, hogy a vizsgált területen vannak-e a Keleti-Paratethys pontusi emeletével egykorú rétegek, és hogy a korrelációnak milyen lehetőségei vannak. A tabi téglagyári fejtőben találtunk egy olyan, oldalirányban lencseszerűen kiemelkedő réteget, amely a *Pseudocatillus ?pseudocatillus* és a „*Lymnocardium*” *ochetophorum* kagylófajok héjait tartalmazta. Ezek a fajok, a Tabról régebben is jól ismert *Prosodacnomya vutskitsiv*el együtt, a Fekete-tenger üledékgyűjtőjében a pontusi emelet bázisát kijelölő 13 szívkaagylófaj közé tartoznak (ott használatos nevük: *Pseudocatillus pseudocatillus*, *Euxinocardium subodessae*, *Prosodacnomya rostrata*). De hogyan juthattak ki ezek a fajok, amelyeknek korábbi fejlődését jól nyomon lehet követni a Balaton környéki és középhegységi feltárásokban, a Keleti-Paratethysbe, illetve a miocén legvégén a Földközi-tengeri „Lagomareba”? Van-e a Balaton környékén, vagy másutt az országban nyoma annak, hogy a miocén végén akár a Földközi-tenger, akár a Keleti-Paratethys megcsapolta volna a Pannon-tavat? Van-e bizonyíték a tó erőteljes – a Fonyódon megfigyelt bevágódásnál nagyságrenddel nagyobb – vízszintcsökkenésére ebben az időszakban? Látunk-e jelentős, harmadrendű szekvenciahatárt, amely ezekhez az eseményekhez lenne köthető? Ezekre a kérdésekre ismét a Dráva-medencében, illetve az Alföldön kerestünk választ szeizmikus szelvények tanulmányozásával. Megfigyeléseink szerint nem volt ilyen jelentős vízszintesítés. A miocén és pliocén határa közelében az akkori medence peremén jelentkező erős diszkordancia tektonikus eredetű, nem egyszerűen a Pannon-tó vízszintjének esése hozta létre (MAGYAR ÉS SZTANÓ 2007, SZTANÓ ET AL. 2007).

A Tihanyi Formáció szekvenciasztratigráfiai helyzete, a tihanyi-kenesei és a dél-balatoni, fonyódi kifejlődéseinek korbéli és szedimentológiai különbségei a relatív tőszintváltozások tükrében is magyarázhatók. A néhány méter vastagságú üledékciklusok maguk kb. ötödrendű feltöltődési események, azaz paraszekvenciák, melyeket néhány méter amplitúdójú relatív vízszintingadozások hoznak létre. Ezek oka kis amplitúdójú, néhány ezer év időtartalmú, valószínűleg klimatikus eredetű tőszint-változás, a fekü deltalejtő-deltasíkság üledékek kompakciója által kiváltott süllyedés és részben az előbbi hatására bekövetkező autociklikus meder- és torkolatvándorlás. Az általunk észlelt léptékben részleten jellemzett paraszekvenciák újdonságnak számítanak nemzetközi szinten is. Az északabbi – kissé idősebb – rétegek, melyek a deltasíkság alsó, többnyire vízzel borított részén rakódtak le, azt jelzik, hogy ez idő alatt a kitölthető tér gyarapodásával közel egyensúlyban maradt az üledékfelhalmozódás (kb. korai nagyvíz). Egyik szelvényben sem észleltünk a ciklicitást létrehozónál nagyobb mértékű vízszintváltozásokat. Ezzel szemben a dél-balatoni, kb. 0,5 millió évvel fiatalabb rétegsor lerakódása idején a felső deltasíkság mocsaras térszínén eleve kisebb volt és kevésbé gyarapodott a kitölthető tér (kb. kései nagyvíz). Ugyanezen a területen azonosítottunk bevágódó folyóvölgyet (Fonyód) és több kisebb markáns elöntést (M7 és Balatonszentgyörgy) is. A kisebb mederbevágódásokat a deltasíkság nélkülözhetetlen elemének tekintjük, az autópálya mentén észlelt bevágódás és transzgresszió néhány méteres vízszintesítést és azt követő emelkedést jelez,

míg a fonyódi „nagy” bevágódást a Pannon-tó szintjének legalább negyedrendű, esetleg harmadrendű tőszint eséséhez kötjük.

Ultra-nagyfelbontású szeizmikus szelvények értelmezése

A szeizmikus szelvények kiértékelését az ELTE Általános és Történeti Földtani Tanszékén a Landmark-University Grant program keretében működő GeoGraphix értelmező szoftverrel végezzük.

Elsőként a projektet megelőzően mért nagy- és ultranagyfelbontású szelvényeket tekintettük át. A nagyfelbontású szelvényeken egyéb hasznosítható információt, mint ami SACCHI (1998, 1999) munkáiban megjelent, nem találtunk mi sem. A régi szelvények nyomvonalára mentén észlelt jelenségek, az üledékes architektúra legérdekesebb elemeinek részletes megismerése céljából négy helyen terveztünk mérést, de végül csak két területen készültek gyakorlatilag 3-D térképezést eredményező ultra-nagyfelbontású szeizmikus szelvények. Az egyik vizsgálati terület a Balaton keleti részmedencéjében, a **Kenese-Aliga-Siófok** által határolt területen helyezkedik el. Itt kb. 30 km²-en 230 km összhosszúságban került bemérésre 1 km-es sűrűségű áttekintő alapszelvényháló, ezen belül 5 kisebb részen 100*100m-es szelvénytávval részletes szelvényháló. A másik vizsgálati terület a **Fonyód** előterében található 3,5 km²-nyi terület, ahol 100*200 m-es szelvényhálóban 40 km szeizmikus szelvény lett lemérve.

Az értelmezést, illetve magát a mérést két tényező zavarta, korlátozta. A holocén iszapban évenként változó területen jelentkezett biogén gáz. Az iszap/gáz határon az akusztikus impedancia kontraszt olyan mértékű, hogy a gerjesztett hullám akár teljesen visszaverődik. Ilyen helyeken a behatolás a gáztelített iszapig terjed, azaz a pannóniai rétegösszlet nem leképezhető. Ilyen gázos iszap miatt nem volt értelme a Szemesi- és a Keszthelyi-öbölben mérni. Más helyen az értelmezést az zavarta, hogy a holocén iszap és a pannon között megjelent egy harmadik rétegtani egység, mely a pannonra diszkordánsan települ, és melyet diszkonform módon lenyesve fed a holocén. Ezek lokális, de – ahol kellően sűrű szelvényhálással rendelkezünk – térképezhető mederalakzatok, melyek feltételezett kora (késő?) pleisztocén. Ezen testek oldalazó gyarapodása és feltöltődése olyan litológiát, rétegdőlést eredményezhetett, mely a szeizmikus hullámokat jelentős mértékben elnyelte és így a fekvő alkotó pannonról ilyenkor nem kaptunk értékelhető jelet. Ezt a jelenséget, ha kisebb mértékben, de a pannon öszletben azonosított medrek esetén is tapasztaltuk.

Az ultra-nagyfelbontás esetünkben azt jelenti, hogy a néhány méteres holocén iszap alatt kb. 15-20 m mélységig láthatók részletgazdagon a Pannon-tavi rétegek. A pannont követő gyűrődés és kibillenés miatt ebbe a vastagságba sztratigráfiailag lényegesen nagyobb intervallum leképeződése fér bele. Ennek ára azonban az, hogy egy-egy jelenséget, markáns határfelületet néhány négyzetkilométernél nagyobb területen nem tudunk követni, mert vagy túl mélyre süllyed, vagy kifut a felszínre, ahol a holocén talpa nyesi.

Maga a pannon öszlet néhány száz méteres hullámhosszú és átlag tíz méteres amplitúdójú redőkbe gyűrt. Kisebb szinszediment vetők, ugyancsak szinszediment vetőrajok mellett gyakoriak a holocén talpáig húzódó, látszólag néhány méteres elvetésű vetők is. A kelet-balatoni vizsgálati terület délnyugati végére befut egy már korábban is ismert oldaleltolódási zóna, mely valójában számtalan rövid, kulisszásan elhelyezkedő törésből áll. Az egyedi törések hossza gyakran kevesebb, mint 200 m, majd a deformáció átlép egy másik törésre. A szerkezeti elemek kiértékelése folyamatban van.

Üledékföldtani szempontból az első jellegzetesség, hogy még a párhuzamos reflexiók között is jelentős amplitúdó különbség áll fenn. Vannak **szeizmikusan „kemény” felületek**, melyek az alattuk és felettük megjelenő, kis amplitúdójú, gyakran rossz folytonosságú reflexióképből kitűnő folytonossággal, több nagyságrenddel erősebb amplitúdóval ugranak ki. A „kemény” felületek határolta egységek néhány méter vastagságúak (2-8 m), teljes összhangban a közeli magasparton észlelt rétegsorok kisciklusainak méretével. A legtöbb esetben szögeltérés tapasztalható mind a

fekü, mind a fedő irányában: a nagy amplitúdójú határfelületek alatt gyakoriak a kilapolódások, felette a lelapolódások. Némelyik üledékcsoport vékonyodása, vastagodása is megfigyelhető km-es skálán. Ezeket a felületeket a feltárásokban észleltekhöz hasonlóan **paraszekvencia határként** értelmezhetjük. A környezetétől eltérő amplitúdó és folytonosság a határfelület mentén változó közetfizikai paraméterekkel magyarázható. A litológiai különbség okozta jelalak változásra az alábbi lehetőségek adódnak: 1. Alatta szenes, aleuritos agyag, aleurit, felette kissé meszes agyag, aleuritos agyagmárga van, azaz a hangsúly a határ szervesanyag tartalmának változásában van. 2. Ezt szerencsés esetben szárazulati kitértség is jelzi, azaz vannak erősen paleotalajos (mésztartalma kilúgozva), sőt ténylegesen kemény, repedezett, vörösayagos határok is. Ez utóbbi is magyarázhatja az erős akusztikus különbséget. 3. A határ feletti agyag/aleurit karbonáttartalma jelentősen nagyobb a feké kilúgozott lápi összleténél, a benne nagy számban felhalmozódott molluszkák meszes héjának köszönhetően is. Esetleg maga a néha lumasella-szerű felhalmozódás is magyarázhatja a különbséget.

Fonyód előterében, ahol holocén fedő nélkül a Balaton fenekére bukkannak a pannon rétegejek, megkíséreltük mintagyűjtéssel igazolni a fentieket 2006 nyarán. Az egyik szeizmikus szelvényhez igazodva, egy kb. 1 km hosszú szelvény mentén, egy bűvár közreműködésével vettünk mintákat az üledékből. A gyengébb jelet adó reflexióknak megfelelő kőzet néhány esetben aprószemcsés homoknak, aleuritos homoknak bizonyult. Ahol a legerősebb reflexiónak megfelelő kőzetet vártuk, furcsa, vélhetőleg hidrotermálisan cementált, pannon ősmaradványokat tartalmazó kőtömböket gyűjtöttünk. A képet bonyolította, hogy ezen a kemény aljzaton nagy mennyiségben telepedtek meg a recens *Dreissena* kolóniák is. Hogy ezek a rétegek csupán felszíni előfordulásuk (ez a valószínű), vagy folytatódnak a rétegzettséggel párhuzamosan az üledékben, nem tudtuk kideríteni. A kevés használható minta és a kezdetleges technológia miatt ismételt mintagyűjtés kívánatos lenne.

Az unkonformitások határolta paraszekvenciákon belül néhány helyen nagyon kifejezett a **progradáció**, másutt látszólag konform a település. A progradáció szöge rendkívül lapos; még ott is, ahol jól látható, mindössze 0,8-0,2° közötti. Egyes helyeken a dőlésszög felfele csökken. Nehezen eldönthető, hogy ezek a felszínek éppen aktívan kiépülő deltalebenyek (torkolati zátonyok) leképződései, vagy nagyobb deltaágak előreépülése közötti területen képződő öblök feltöltései, vagy a deltaágaktól oldalirányban távolabb eső (viszonylag kis behordási rátával jellemezhető) fővenyparti topográfia lejtését, illetve a homokpart iszapos nyíltvízbe váltását (mélyülését) tükrözik-e. A Balaton középső medencéjében egyes szelvényeken felmerül a progradációs egységek gyűrődéssel egyidejű képződésének gyanúja, mivel egyes paraszekvenciák látszólag az antiformokon vékonyodnak el. Ugyanakkor a részletesebben tanulmányozott keleti részmedencében az unkonformitások leginkább párhuzamosak egymással. Ez utóbbi azt is kizárja, hogy erőltetett regressziós, azaz nagyobb vízszintesésekhez köthető kőzettesteket látnánk. A keleti medencében nem találtunk sem markáns eróziós felszíneket, völgybevágódásokat, sem elmerült turzásokat vagy vulkáni felépítményeket. Ugyanitt a progradáció iránya K-DK-i. Az öskörnyezeti értelmezés kulcsát néhány 1-5 méter mélységű, ám több tíz méter (akár 80m!) szélességű, szabálytalan alakú eróziós felszín adta meg. Ezek mindig közvetlenül a paraszekvencia határok alatt helyezkednek el, tehát az idősebb paraszekvencia felső részén. A „mélyedések” kitöltése rendkívül gyenge amplitúdójú, kaotikus reflexióképet eredményezett. Ezeket mederbevágódként értelmeztük, a dél-balatoni feltárások középszemcsés, keresztarétegzett homokjai analógiájaként. A reflexiókép vagy a befogadóétól eltérő kőzetminőséggel, vagy a keresztarétegzettségéből adódó „szóródásokból” adódhat. A feltárások ismeretében inkább utóbbi a valószínű. Ezek a medrek általában ott jelennek meg, ahol a leglátványosabb progradációt figyelhetjük meg. Így az üledékbehordástól távol eső fővenypart modelljét elvethetjük. A dőlésszög-csökkenés inkább az öbl feltöltődést, mintsem a lebenyépülést valószínűsíti. A keleti részmedencében a holocén iszap alatt hasonló földtani felépítésű, de kissé idősebb szinttája lehet a Tihanyi Formációnak, mint a közvetlenül mellette levő magasparti szelvényekben. Ha figyelembe vesszük az összlet néhány fokos déli dőlését, akkor az Aliga előtti rétegek kb. az Akarattyá-kenesei magasparti szelvény szintjével korrelálnak (SZTANÓ ET AL./C, előkészületben)

Fonyód előterében is megfigyelhető a „kemény” reflexiót és a kis folytonosságú, kis amplitúdójú jelet adó rétegek váltakozása. A pannon összlet itt D-DDK-i irányba dől, enyhe ívű gyűrődést mutat. Töréses szerkezeti elemek nem voltak a szelvényeken. A „keményebb” reflexióképű felszínnek mentén lapos – elnyúlt és rövid, de mély – eróziós bemaródások is észlelhetők, lelapolódások, progradáló ferde reflexiók nem voltak gyakoriak. A vizsgált szeizmikus blokk jelentőségét az a 15-20 m-t meghaladó mélységű, több üledékciklust is átmetsző eróziós felszín adja, melyet a terület délnyugati részén ki lehetett térképezni. Belső szerkezete alig látszik, gyenge, kaotikus reflexiók között elmosódottan többszöri feltöltődés, ismételt bevágódás nyomán létrejövő felületek láthatók. Ezt a szerkezetet nagy méretű **völgybevágódásként** értelmeztük. Mivel pontosan szemben található a fonyódi magasparti feltárásban topográfiailag kb. 60 m-rel feljebb észlelt bevágódott folyóvölgygel, felmerül a két közötti azonosságának kérdése, hiszen ilyet másutt nem észleltünk, tehát nem lehet gyakori jelenség. Az egyik lehetséges megoldás szerint a feltárás és a szelvények helye között húzódik egy, kb. a parttal párhuzamos, legalább 60 m elvetésű vető. Ilyennek azonban sem a szeizmikán, sem a feltárásban nyomát nem láttuk. A másik lehetőség, hogy mivel a falban a völgy alja nincs feltárva, a fekü szenes agyagos összlet néhány méterrel nyugatabbra táru fel, mint maga a völgybevágódás, elképzelhető, hogy a bevágódás a Balaton szintjéig, illetve az alá még folytatódik. Ez esetben egy valóban jelentős völgybevágódást tudunk kimutatni, melyet bátran köthetünk akár harmadrendű tószint-eséshez, szekvenciahatárhoz (NOVÁK ET AL., előkészületben).

A Kenese-aligai szeizmikus blokk értelmezése még nincsen kész, alaposan alulbecsültük a szelvények teljeskörű kiértékeléséhez szükséges időt. A régebben mért szelvényeken is maradt több leírni, értelmezni való jelenség, de azok a lényegi képet valószínűleg már nem változtatják meg. A jövőben még el szeretnénk készíteni a meghatározott kb. 10 paraszekvencia vastagságtérképét, ki kívánjuk térképezni minden azonosított progradációs üledéksomag kiépülési irányát, „lejtőjének” morfológiáját. Ehhez nélkülözhetetlen a pannon redők morfológiájának kitérképezése és retrodeformációja is.

Ösföldrajzi, fejlődéstörténeti következtetések (összefoglalás)

A Balaton tágabb környékén előforduló Pannon-tavi rétegek a tó kialakulásának és feltöltődésének két fázisáról tanúskodnak. A tófejlődés időbeli menetének megértését a tóban felvirágzó, változatos közösségeket alkotó, páratlanul gazdag endemikus élővilág teszi lehetővé. A sekély és mélyebb vízi molluszkagyüttesek időbeli változásai révén nemcsak az egyes környezeti zónák módosulásai, de azok térbeli elterjedései is kitűnően követhetők.

A tó kialakulásának korai fázisában, mikor a legmélyebb medencékben (Kisalföld, Dráva-medence, Nagyalföld területén) pelágikus, hemipelágikus márga üledett, a Dunántúli-középhegység pásztája félszigetként állt ki a tóból. A félsziget környezetében sekélyvízi márga, agyagmárga, míg partján különféle kavics- és homoktestek képződése zajlott, melyeket főképp a Káli-medencében, a Tapolcai-medence északi részén és attól északra találunk. Hasonló kifejlődések ismertek a Móri-árok és a Vértes környékén is. Ezek egyöntetűen a tó relatív vízszintjének fokozatos emelkedését tükrözik, miközben az üledékbehordási ráta part menti változékonysága révén Gilbert-típusú delták üledékei és hullámveréses fővenyparti homok található egymás szomszédságában. A kavicsos delta vagy a kisebb vízfolyások által a félsziget déli peremére szállított üledékanyagot a sekélyebb partokon a hullámverés és a partmenti áramlások tovább osztályozták, a tagolt perem öbleibe beszállították, létrehozva ismert üveghomok lelőhelyeinket. A kb. 10-20 m mély tóba épülő kisméretű kavics-delták intenzív progradációját a „Bakonyi-félszigetről” lepusztuló, főképp dél-délnyugat felé szállított kavics, elsősorban a Csatkai Formáció anyaga táplálta, miközben a félsziget északi peremén ugyanebből csak kisebb abrziós kavicsok képződtek. A tó transzgressziója végül – talán csak a legmagasabb csúcsok kivételével – a Bakonyi-félsziget eltűnéséhez vezetett, és kb. 9,5 millió évvel ezelőtt kialakult a tó legnagyobb kiterjedésű

egységes víztükre, mely nagy mértékben egyenlőtlenül süllyedő mélyebb medencéket, és viszonylag sekély, de vízzel borított platókat rejtett.

A tó fejlődésének későbbi menetét továbbra is az egyenetlen süllyedés és az azt meghaladó mértékű üledékbehordás határozta meg, de ez utóbbi immár a Pannon-tó körül emelkedő hegykoszorúból eredeztethető. Az alpi előtér területekről és a Nyugati-Kárpátok felől érkező elő-Duna nagyon hamar feltöltötte a Bécsi-medencét, majd a 9,5-9 ma intervallumban a Kisalföld területét is. A folyók hordaléka előbb a több száz méter mély medencéket turbiditokkal töltötte fel, majd ezt követően a már csak néhány száz méter mély tóban az uralkodóan agyag-márga litológiájú lejtő nagyon gyors kiépülését eredményezte. A főképp homok méretű üledék a lejtőtől a medenceperem felé terjedő sekély (selfszerű) régióban halmozódott fel, gyakran helyet változtató, gyors előreépülésekkel, a vízszintemelkedések során ismétlődően hátralépő self-delták révén. Mikor a Kisalföld medencéjének feltöltődésével ez a progradáló delta-rendszer elérte a Dunántúli-középhegység sekély vízzel borított területét, a süllyedés valószínűleg viszonylag kis mértéke korlátozta a kitölthető tér gyarapodását, így a progradáció üteme tovább gyorsult, a mai hegységi pásztától délebbre elhelyezkedő medencék felé haladva ismét valamelyest lelassulhatott. Mindenesetre kb. 7 millió évvel ezelőtt a self/lejtő határ már a Dél-dunántúlon járhatott. A delta sekély nyíltvizi előterében hullámbázis alatti, néha feletti régióban vegyes aleurit-finom homokos üledékképződés zajlott, gazdag és változatos nyíltvizi faunával, melyet felszínen a valamivel fiatalabb balatonfelvidéki bazaltvulkánok lejtőin tanulmányozhatunk. A delta torkolatok előreépülésével a deltasíkságon kisebb-nagyobb öblök képződtek, melyek rétegsorát a rövidtávú (ötöd-hatodrendű) tószintváltozásoknak és a gyakori torkolat-áthelyeződéseknek köszönhetően aleurit-finomhomok-huminites agyag ciklusok építik fel. A balatoni magasparton Tihanytól Kenesén, Aligán át Fonyódig ennek az intervallumnak a jellegzetességei tanulmányozhatók. A sekélyedést jelző litológiai változásokkal párhuzamosan a rétegek faunája is a nyíltvizitől a mocsáriig változik, melyet a következő üledékciklus éles litológiai és faunabeli változással követ. A feltárásokban jól elkülöníthetők az 5-8 m vastag, gyakran és sokáig vízzel borított alsó-deltasíksági és az 1-3 m vastag, többnyire mocsári körülményeket tükröző felső-deltasíksági üledékciklusok. Az utóbbi típusban gyakoriak az üledékciklus felső részén előforduló, főleg középszemcsés homokból álló, néhány méter vastag, kiékelődő homoktestek, melyek a deltasíksági lápokot behálózó medrekben rakódtak le. Ilyeneket a nagy szélesség/mélység arányuknál fogva a feltárásokban nehéz követni, viszont a Balaton holocén iszapja alatti pannon rétegsorban egysatornás vízi szeizmikán kiválóan kirajzolódnak. Ezek a szelvények az öbölfeltöltések progradáló karakterét is leképezik. Fonyódon a deltasíksági rétegekbe vágódó, egyszerű folyómedernél jóval nagyobb bevágódott folyóvölgy is rekonstruálható, mely nagyobb mértékű (negyed- vagy harmadrendű) tószint csökkenéshez köthető. A Balaton környékén a delta elvonulását követő folyóvizi rétegsor a „pliocén inverzió” során lepusztult. A pannóniai képződményeket sok helyen az erózió ellenálló, keményebb kőzetek, pl. a késő miocén kovás homokkövek (kötengerek), az édesvízi mészkövek, vagy a kisebb részben miocén, zömében pliocén bazaltok őrizték meg a plio-pleisztocén denudációtól.

Irodalom

- MAGYAR I., GEARY D.H., SÜTŐ-SZENTAI M., LANTOS M., & MÜLLER P., 1999. Integrated biostratigraphic and chronostratigraphic correlations of the Late Miocene Lake Pannon deposits; *Acta Geologica Hungarica*, 42/1: 5-32.
- SACCHI ET AL., 1998, Seismic stratigraphy of the Late Miocene sequence beneath Lake Balaton, Pannonian basin, Hungary. *Acta Geologica Hungarica* 41, 63-88
- SACCHI M., HORVÁTH F. & MAGYARI O., 1999, Role of unconformity-bounded units in the stratigraphy of the continental record: a case study from the Late Miocene of the western Pannonian Basin, Hungary. In: Durand, B., Jolivet., Horváth F. & Séranne, M. (eds) The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geol. Soc. London. Spec. Publ. 156, 357-390
- STEVANOVIĆ, P. M., L. A. NEVESSKAYA, F. MARINESCU, A. SOKAĆ, AND Á. JÁMBOR (eds.), 1990, Chronostratigraphie und Neostatotypen, Neogen der Westlichen ("Zentrale") Paratethys 8, Pontien. *Zagreb-Beograd, Jazu and Sanu*, 952 p.
- SÜTŐNÉ SZENTAI M., 1999, A Dunántúli-középhegység DNy-i részének ösföldrajzi képe a pannóniai (s.l.) emelet idején, szervesvázú mikroplankton (Dinoflagellata etc.) maradványok tükrében. – *Folia Musei Historico-Naturalis Bakonyiensis* 14, 21–47.
- VASILIEV, I., 2006, A new chronology for the Dacian basin (Romania). Consequences for the kinematic and paleoenvironmental evolution of the Paratethys region: *Geologica Ultraiectina* 267, 193 p.

Az összefoglalóban hivatkozott már megjelent, vagy nyomdában levő publikációk (időrendben)

- SAFTIC B., VELIC J., SZTANÓ O., JUHÁSZ GY. & IVKOVIC Z. 2003, Tertiary subsurface facies, source rocks and Hydrocarbon reservoirs in the SW part of the Pannonian Basin (Northern Croatia and South-Western Hungary). *Geologica Croatica* 56/1: 101-122, Zagreb
- SZTANÓ O., KRÉZSEK CS., MAGYAR I., WANEK F. & JUHÁSZ GY. 2005, Sedimentary cycles and rythms in a Sarmatian to Pannonian transitional profile at Oarba de Mureş/Marosorbó, Transylvanian Basin. *Acta Geologica Hungarica* 48/2: 235-256
- MAGYAR I., MÜLLER P.M, SZTANÓ O., BABINSZKI E. & LANTOS M. 2006, Oxygen-related facies in Lake Pannon deposits (Upper Miocene) at Budapest-Kőbánya. *Facies*, 52/2: 209-220, Springer
- UHRIN A. & SZTANÓ O. 2007, Reconstruction of Pliocene fluvial channels flowing to Lake Pannon. *Geologica Carpathica* 58/3

Absztraktok

- MAGYAR I., SZTANÓ O. 2007, (benyújtva extended abstract formájában) Is there a Messinian unconformity in the Central Paratethys? "Stratigraphy"
- MAGYAR I., SZTANÓ O. 2007. Terminal Miocene events in the Pannonian basin. *Joannea Geologie und Paläontologie*, volume 9
- SZTANÓ O., MAGYAR I. 2007 Deltaic parasequences on gamma logs, ultra-high resolution seismic images and outcrops of Lake Pannon. *Joannea Geologie und Paläontologie*, volume 9
- SZTANÓ O., MAGYAR I. & HORVÁTH F., 2007, Changes of water depth in the Late Miocene Lake Pannon revisited: the end of an old legend. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 9, 38897836

Közlésre előkészítve (a Földtani Közlöny tervezett 137. évi (2007) különszámába)

(A kötet megjelenítéséről szerződést kötöttünk a felelős kiadó MFT elnökével)

- CSILLAG G., MAGYAR I., HÁMORI Z. ÉS SZTANÓ O.: A Kállai Kavics települési helyzete a Tapolcai-medencében geoelektromos., szelvények és fúrási adatok tükrében

- SZTANÓ O., MAGYARI Á. ÉS TÓTH P.(A): Gilbert-típusú delta a Pannon-tó peremén: a Kállai Kavics szedimentológiája Tapolca környéki előfordulásaiban
- TÓTH PÉTER, SZAFIÁN P. ÉS SZTANÓ O.: Egy pannóniai korú Gilbert-delta felépítése földradar (GPR) mérések alapján
- MAGYAR I., SZÓNOKY M., SZTANÓ O., LANTOS M. ÉS MÜLLER P.: Újabb adatok a Tihany-fehérrparti szelvényről: a Tihanyi Formáció sztratotípusának üledékközzettani jellemzése és kora
- KATONA L.: A Tihanyi Formáció ősmaradványai két balatonfő környéki lelőhelyen
- SZTANÓ O., MAGYAR I., MÜLLER P., KATONA L. ÉS BABINSZKI E.(B): Az őskörnyezet ciklikus változásai a Pannon-tó peremén (Tihanyi Formáció)
- SZTANÓ O., MAGYAR I. ÉS SZAFIÁN P.(C): Üledékciklusok ultranagy-felbontású szeizmikus szelvényeken a Balaton iszapja alatti pannon összetbe
- NOVÁK D., SZTANÓ ORSOLYA, SZAFIÁN P. ÉS MAGYAR I.: A fonyódi hegyen és a Balaton fenekén kibukkanó pannóniai üledékek ősmaradványai és ülepedési viszonyai
-
- LENKEY L., LIPOVICS T., MAGYAR I., SURÁNYI G., BARABÁS A. ÉS SZTANÓ O.: Természetes gamma és mágneses szuszceptibilitás szelvények a kenesei magasparton (Tihanyi Formáció, pannon)