

Integrált-sztratigráfiai és fejlődéstörténeti vizsgálatok az Alföld pannóniai s.l. rétegsorában

Integrated stratigraphy and sedimentary evolution of the Late Neogene sediments of the Hungarian Plain, Pannonian Basin

JUHÁSZ Györgyi¹ – POGÁCSÁS György² – MAGYAR Imre³ – VAKARCS Gábor³
(18 ábra)

Tárgyszavak: Pannóniai s.l., ciklussztratigráfia, szedimentológia, biosztratigráfia, fejlődéstörténet, intra-pannon tektonika

Keywords: Late Neogene, Pannonian Basin, integrated stratigraphy, sedimentary evolution, intra-Pannonian tectonics

Abstract

The paper gives an overview about the latest results of integrated stratigraphic research of the Late Neogene (Pannonian s.l.) post-rift sedimentary succession of the Hungarian Plain which represents the central, therefore greatest and deepest part of the Pannonian Basin, Central Europe. A series of regional composite seismic profiles were interpreted in the main routes of sediment supply into the basin from the NW and the NE directions. As a conclusion it was stated that 3rd order cycles were formed by structural changes in the basin while 4th order cycles were driven by large-scale climatic cycles of the Milankovitch band or their multiples (100, 200, or 400 ky). The interrelations in terms of sequence stratigraphy, sedimentology and biostratigraphy as well as their effect on the changes of depositional facies during sedimentary evolution were drawn up by a set of geologic profiles. Among the studied 3rd order cycles the Pa-3 sequence, deposited in the 6.8–9.1 My time frame forms a tectonostratigraphic cycle and seems to play an important role in the evolution of the basin. This cycle represents a huge amount of sediment yield and extremities in facies architecture driven by intra-Pannonian structural changes. During its time frame, after the deposition of an extremely thick prograding to aggrading lowstand wedge, renewed strike-slip movements (appr. 7.2–8.0 My) and tilting in some areas generated a major transgression and therefore relative lake level rise first of all in the E part of the basin. In the W part of the Hungarian Plain the larger delta system could keep up with the lake level rise so aggradation occurred. Then the structural style completely changed and at SB Pa-4 (appr. 6.8 My) a strong relative base level drop occurred all around the basin driven most probably by the onset of inversion in the coeval marginal areas of the basin much earlier than it was thought before. Sedimentation continued at a lower base level from this point on. This phenomena can be seen all around the Hungarian Plain, moreover also in the Drava Basin, based on independent interpretations of sequence stratigraphy by seismic data and facies architecture studies by well logs.

Összefoglalás

A pannóniai s.l. képződmények integrált-sztratigráfiai vizsgálata során a szerzők – az Alföldet a fő behordási irányokban behálózó – regionális szelvények mentén végeztek nagyléptékű, integrált rétegtani, szedimentológiai, őslénytani és ciklussztratigráfiai vizsgálatokat, és ennek nyomán következtéseket vontak le a medence fejlődéstörténetére vonatkozóan. A munka során egyértelművé vált, hogy a pannóniai rétegsorban értelmezett harmadrendű üledékes ciklusok (tehát a hagyományos értelemben vett szekvenciák) kialakulásában a szerkezeti változások játszottak döntő szerepet, míg a negyedrendű ciklusok feltehetően a nagyléptékű Milankovitch klímacyklusokkal (illetőleg ezek többszörösével) mutatnak kapcsolatot (100, 200, 400 ezer éves ciklusok), melyek kialakulásában több tényező együttes

¹MÁFI, 1143 Budapest, Stefánia út 14. juhasz@mafi.hu

²EI,TE, 1117 Budapest, Pázmány P. sétány 5

³Mol Rt., 1039 Budapest, Batthyány út 45.

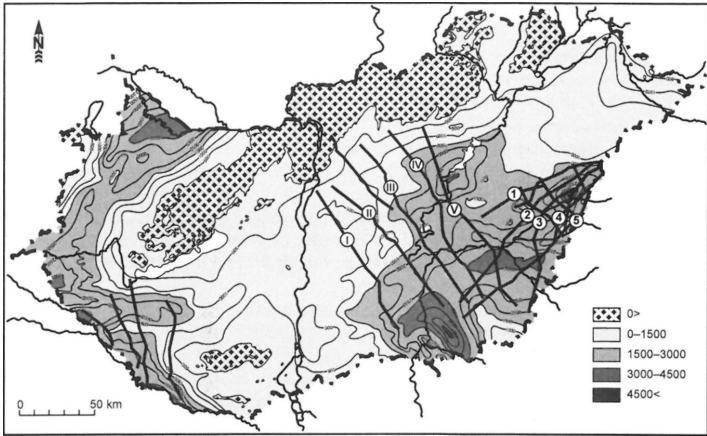
hatása is közrejátszott. Földtani szelvények sorozata mutatja be, milyen kapcsolatban állnak egymással a szekvencia-sztratigráfiai, a biosztratigráfiai és a szedimentológiai-litosztratigráfiai feldolgozások során értelmezett különféle egységek: ciklusok, formációk és biozónák, valamint hogyan jelenik meg ezek hatása az üledékes fáciásekben. Megállapításra került, hogy a 6,8 és 9,1 M év között képződött Pa-3 harmadrendű szekvencia önálló tektonosztratigráfiai ciklust képvisel, amely rendkívül fontos szerepet játszik a medence fejlődéstörténetében, ezért e ciklus vizsgálata külön figyelmet kapott. A Pa-3 szekvencia nagy üledéktömeget, szélsőséges fációs változásokat és komoly intra-pannon szerkezeti mozgásokat képvisel az Alföld pannóniai s.l. rétegsorában, a jelenség azonban nyomon követhető a Dráva-medence üledéksorában is. Széles aggradáló self kialakulása, jelentős transzgresszió, vagyis relatív vízszintemelkedés, majd végül ehhez képest szintén jelentős relatív vízszintesés, vagyis a peremeken körben intra-pannon inverzió jellemzi a harmadrendű szekvenciát. A változások mértéke és az üledékképződésre gyakorolt hatása a medence egyes területein eltérő, de körben az egykori peremeken felfedezhető. Míg ÉK-en erőteljes lepusztulás és a fáciések gyökere átrendeződése jellemzi a harmadrendű szekvenciát a Pa-4 szekvenciahatáron, addig az Alföld ÉNy-i részén jelentős mélységű bevágódott völgyek és kanyonok nyomait fedezhetjük fel. Ezután a behordási irányok mind az ÉNy-i, mind az ÉK-i peremen megváltoztak, megkerülve a legerőteljesebben kiemelkedő területeket. A tó feltöltődése a továbbiakban alacsonyabb relatív vízszint mellett folytatódott. Az eredmények arra engednek következtetni, hogy jelentős oldaleltolódásos mozgások kezdődtek a medencében a Pa-3 szekvencia lerakódása idején, majd ezt követően a Pa-4 szekvenciahatár környékén (cca. 6,8 M év) megindult a medence inverziója, jóval korábban az eddig feltételezettnél. Az inverzió azonban nem volt folyamatos, később a süllyedés területenként eltérő mértékben folytatódott.

Bevezetés

A pannóniai s.l. képződmények kutatása hosszú évtizedek óta az érdeklődés homlokterében áll Magyarországon, tekintettel szénhidrogénföldtani és vízföldtani jelentőségére. A Pannon-medence kialakulása jelenlegi formájában a kora- és középső-miocén során indult meg, amikor még tengeri kapcsolatokkal rendelkezett. A szarmata idejére a tengeri kapcsolatok beszűkültek, és a sótartalom erőteljes ingadozása mellett eleinte még túlsós vízi viszonyok is kialakulhattak (JÁMBOR 1978, 1989). Később megindult a medence vízének kiédesedése, melynek következtében a korábbi fauna nagyrészt kihalt, és új, endemikus fauna alakult ki. A medence-rendszer kialakulásával egyidőben történt az Alp-Kárpáti-hegységrendszer kiemelkedése, amelynek lepusztulása jelentős tömegű üledékanyagot szolgáltatott. A medencét bonyolult tektonika, differenciális süllyedés és több behordási irány jellemezte. Erre a képre rakódik rá a relatív vízszintingadozások által kialakított finom és bonyolult mintázat.

A medence architektúrájának, geometriájának és tektonikájának megismerésében a szeizmikus sztratigráfiai kutatások döntő szerepet játszottak. Kezdve a pannóniai litosztratigráfiai egységeket reprezentáló szeizmikus fáciések elkülönítésétől és leírásától (POGÁCSÁS & VÖLGYI 1982) a mélyfúrásokban harántolt magmás képződmények radiometrikus koradatainak és a MÁFI alapfúrások paleomágneses koradatainak szeizmikus reflexiók alapján történő távkorrelálásáig (POGÁCSÁS 1984, 1987, POGÁCSÁS et al. 1988, 1989, 1994). A szeizmikus sztratigráfiai vizsgálatok mind medenceléptékben (MATTICK et al. 1995, VAKARCS et al. 1994, VAKARCS 1997, TÓTHNÉ-MAKK 2003, LEMBERKOVICS et al. 2005), mind szénhidrogén mező léptékben (SZILÁGYI 2005, JÓSAI et al. 2005) jelentős mértékben hozzájárultak a fejlődéstörténeti eseménysor vizsgálatához.

A pannóniai rétegsor szedimentológiájának megismerésében a Makó-Hódmezővásárhelyi-árok volt az etalon terület (BÉRCZI & PHILLIPS 1985, BÉRCZI 1988). A Békési-



1. ábra. Helyszínrajz, a pannoniai s.l. képződmények talpmélység térképe (Csiký et al. 1987), és a vizsgált regionális kompozit szelvényháló, az ábrákon bemutatott szelvények számával

Fig. 1 Location, structural contour map at the base of the Late Neogene sediments and the studied regional composite profile network

medence szintén jól feldolgozott terület, szedimentológiai és rétegtani felépítését nemzetközi kutatási program keretében népes szakértői gárda vizsgálta (RÉVÉSZ et al. 1989, JUHÁSZ Gy. et al. 1989, MATTICK et al. 1989, TELEKI et al. 1994). Itt a litofáciesek viszonylag homogének, térben is jól követhetők. Itt találkozott az Alföldön az ÉNy-i és az ÉK-i irányból érkező feltöltődés, fáciesösszefogódásokat létrehozva mind a turbiditék, mind a sekélyebb litofáciesek tekintetében.

A Derecskei-árokban az ÉK-i irányú behordás kevesebb és finomabb törmelékanyagot hozott az Alföld K-i részén. A vastag homokos turbidit rendszer az árok tengelyében vonult végig, míg a peremeken vastag pelites sorozat rakódott le, amely nem csak a medencelejtő, hanem a turbiditék kapcsolódó finomszemcsés fácieseit is tartalmazza. A deltafront üledéksora azonban rendkívül erőteljesen ki-vastagszik ezen a területen, és több ritmusban fogazódik össze a lejtő nyíltvízi üledékeivel (JUHÁSZ Gy. 1993, 1994).

A medence fejlődéstörténetének megismerésében nagy előrelépést jelentett a szekvencia-sztratigráfiai szemléletű vizsgálatok bevezetése. Különböző szempontok alapján, különböző vizsgálati módszerekkel sok feldolgozás készült az elmúlt évtizedben, általában részmedencékre vagy kisebb területekre kiterjedően (UJSZÁSI & VAKARCS 1993, JUHÁSZ Gy. 1993, VAKARCS et al. 1994, SACCHI et al. 1999). A MÁFI folyamatos maggal fúrt fúrásai pl. részletesebb elemzésre, nagyobb felbontásra adtak lehetőséget (JUHÁSZ E. et al. 1997, 1999, TÓTH-MAK in rev.). E munkának határt szabott azonban az, hogy ezek a fúrások a medence sekélyebb területein mélyültek, és – mint az utóbb kiderült – közel azonos korú üledékeket harántoltak.

Jelenleg is folyamatban vannak nagyléptékű vizsgálatok a medence különböző területein (LEMBERKOVICS et al. 2005).

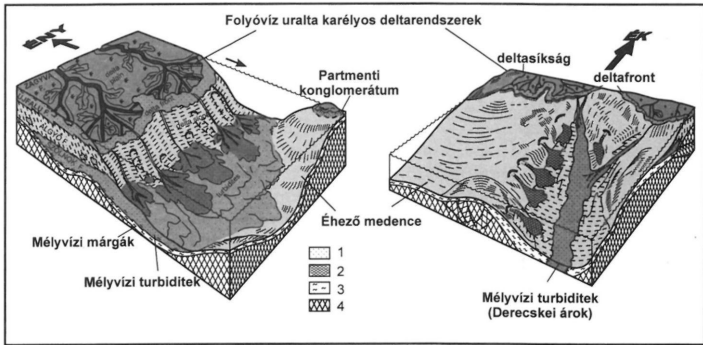
Átfogó, medenceméretű feldolgozások is napvilágot láttak az elmúlt évtizedekben, ezek azonban szakterületenként az adatoknak csak egy bizonyos halmazát ölelik fel, a kialakult kutatási műhelyek általában vagy a szeizmikus anyagok alapján, vagy a fúrási anyagok (magfúrások és mélyfúrási geofizika) alapján, mások őslénytani adatok alapján végeztek elemzéseket (JÁMBOR et al. 1987, JÁMBOR 1989, TARI 1992, POGÁCSÁS et al. 1988, 1993, JUHÁSZ 1992, 1994, VAKARCS 1994, 1997, MÜLLER et MAGYAR 1992, MAGYAR et al. 1999, SAFTIC et al. 2003). A továbblépésre, a medencekitöltő üledékek vizsgálati eredményeinek egységes fejlődéstörténeti modellbe foglalására csak akkor van lehetőség, ha komplex módon próbáljuk megközelíteni a medencebeli képződmények vizsgálatát, az összes lehetséges adatot és a legújabb vizsgálati módszereket is figyelembe véve.

A pannóniai s.l. képződmények integrált-sztratigráfiai vizsgálata során célunk a kijelölt regionális szelvények nagyléptékű, integrált rétegtani, szedimentológiai, őslénytani és ciklussztratigráfiai vizsgálata volt, amelynek során megpróbáltuk párhuzamosítani a különböző léptékű, fúrási adatokból és szeizmikus szelvényekből kinyerhető információkat, értelmezéseket, és következtetéseket levonni a medence fejlődéstörténetére vonatkozóan. A jelenlegi kutatás során regionális szelvények mentén történő, nagyobb léptékű vizsgálatot és értelmezést végeztünk (JUHÁSZ Gy. et al. 2004, 2005), amelyet a jövőben szeretnénk részletesebb vizsgálatokkal folytatni. Jelen tanulmányban az elmúlt 5 év során végzett integrált-sztratigráfiai kutatásaink eredményeit foglaljuk össze. Az Alföld nagy vastagságú pannóniai s.l. üledéksorának vizsgálatában külön figyelmet szenteltünk az ÉK-i és az ÉNy-i behordási irányoknak, ez alapján jelöltük ki a vizsgált regionális szelvényháló. A szelvényeket igyekeztünk dőlésirányban megválasztani, ez alapján az ÉK-i behordást ÉK–DNy-i, az ÉNy-i behordást ÉNy–DK irányú szelvényhálóval térképeztük fel. Készültek vizsgálatok a Dráva-medencében is, ezeknek azonban csak az eredményeit használjuk itt fel, hiszen túl nagy anyagot kellene egyben bemutatnunk.

Az alföldi pannóniai s.l. képződmények szedimentológiai és litosztratigráfiai jellemzése

A Pannon-tóban (beltengerben) mélyvízi, deltalejtő, partközeli, deltafront, deltasíkság és parti síkság, valamint a tó körül folyóvízi üledékképződési környezetek alakultak ki. Az ezen környezetekben lerakódott üledékes fáciesek fácies-asszociációkat (együtteseket) alkotnak, melyek vastagsága több száz métert is elérhet, és térben jól követhetők az egész Alföldön, és a dunántúli medencékben is. A pannóniai rétegsor üledékes modelljét mutatja be a 2. ábra elvi szedimentológiai-rétegtani tömbszelvénye (JUHÁSZ Gy. 1992). Alulról fölfelé haladva a következő üledékes fáciesegységek építik fel a rétegsort.

Távol a behordási területektől, a medence legbelső részén, éhező medence alakult ki, ahol igen csekély mértékű, kondenzált üledékképződés folyt, hemipelágikus tavi-, beltengeri agyagos-karbonátos rétegsorokat hozva létre („bazális márgák”), amelyeket mészmárga, márga, agyagmárga rétegsorok képviselnek. Ezek alkotják a pannóniai bázisát képező Endrődi Formáció képződménysorát. Az Alföld déli



2. ábra. Ideálizált 3 dimenziós földtani modell az Alföld ÉNy-i és ÉK-i behordási területén (JUHÁSZ Gy. 1992-nyomán). Jelmagyarázat: 1. finomhomokkő, 2. aleurit, 3. agyagmárga, 4. prepannóniai aljzat

Fig. 2 Idealized 3 D depositional model of the Hungarian Plain with the 2 main sediment input to the basin by river dominated lobate type deltas (after JUHÁSZ Gy. 1992)

részen a szigetek partvonala mentén a hullámverés hatására abráziós homokkő és konglomerátum képződött (Békési Formáció). Ahol sziget volt, ez a parti homok a pannóniai rétegsor kezdő képződménye, és erre települ a mészmárga.

A mélyvízi márgák fölött a medencerészek legmélyebb zónáiban vastag finomhomokos felépítésű turbiditsorozat települ. A gravitációs üledékképződés szinte minden terméke megtalálható ebben a fáciesasszociációban, amelynek rétegsora alkotja a Szolnoki Formációt. Képződése egyrészt tektonikai eseményekkel függ össze. A fokozatos, időnként szakaszosan bekövetkező süllyedés, ill. földrengések során nagy üledéktömegek mobilizálódtak az akárcsak pár fokok instabil lejtőkön. Másrészt a folyók által a medencébe szállított igen nagy mennyiségű hordalékanyagának elsősorban a kisvíz idején történő beszállításával képződött a lejtők lábánál, a deltaelőtérben hosszanti elnyúlt törmelékűpok formájában. Vastagsága a legmélyebb medencerészekben elérheti az 1000 métert (Hód-I, Derecske-I fúrás).

A lejtőn a homokok zagyárként mobilizálódva becsúsztak a mélybe, így ott többnyire csak a finomszemcsés üledékek maradtak állékonyak, amelyek agyagos-aleuritis rétegsora az Algyői Formációba sorolható, és amely közvetlenül a turbiditék fölött települ. A lejtőszög változásának függvényében, kis dőlésszögű rámpák kialakulása esetén azonban vékonyabb-vastagabb homoktestek előfordulnak az Algyői Formációban is, egyes területeken kifejezetten homokos kifejlődésűvé téve azt, pl. alaphegységi kiemelkedések felhalmozódási irányú előtérben és afölött.

A medenceperemek mentén körben partközeli, partmenti környezetben folyt az üledékképződés, amelyekből az üledéksorokban ma a deltaüledékek a dominánsak, hiszen ezek produkálták a legtöbb üledékanyagot. Ennélfogva megőrződési potenciáljuk is sokkal nagyobb az egyéb partmenti képződményeknél, amelyek igen gyakran teljes egészében erodálódnak egy-egy vihar során, a vízszintingadozások

következményeként fellépő eróziós hatásról nem is beszélve. A Pannon-medence feltöltésében jelentős szerepet kaptak azok a bő vízhozamú, nagy mennyiségű törmelékanyagot szállító folyók, amelyek hordalékukat a torkolatuknál rakták le. Az Alföld területén két folyóvíz uralta, karélyos típusú deltarendszer hatása érvényesült elsődlegesen, bár kisebb mértékben más irányokból is történt feltöltődés. A legjelentősebb két delta rendszer ÉNy-Ny-i és ÉK-i irányból érte el a medencét, hasonlóan a mai földrajzi helyzethez „Ős-Dunának” és „Ős-Tiszának” is nevezhetnénk őket. Kisebb volumenű behordás történt DK-i irányból a Batto-nyai hátság területén, amelyet viszont „Ős-Marosnak” hívhatnánk. A folyók beömlési helyeitől távolabb a partvonalak mentén eközben jellegzetes parti üledék-képződés folyt. A folyótorkolatoknál csapdázódott, deltafronton, deltasíkságon és parti síkságon képződött, finom homokban gazdag üledéksor alkotja az Újfalui Formáció nagy részét.

A már feltöltődött területeken folyóvízi-ártéri, tavi, mocsári üledékképződés folyt. Ennek üledékei alkotják a pannóniai üledékképződés legfelső tagját, amelyet a Zagvyai és a Nagyalföldi Formáció képvisel (ez utóbbi a medencében a rendelkezésre álló módszerekkel nem különíthető el, de a folyamatos magvételes fúrásokban megtalálható). Ez a képződménycsoport a medencebelsőben igen nagy vastagságot is elérhet. Elsősorban a magas vízállások során, nagyvíz idején, a deltasíksági, delta-háttéri mocsarakban képződött a Bükkaljai Formáció lignites rétegsora. Lignit-betelepülések, bár nem annyira közismertek, mint a középhegység előterében, a Mátraalján, Bükkalján, de igen gyakoriak szerte a mélymedencebeli deltasíksági rétegsorokban, így például Algyón is (RÉVÉSZ 1980). Ott azonban nem áll módunkban formációs szinten elkülöníteni, így az Újfalui (esetenként a Zagvyai) Formáció részét képezik.

Az egyes üledékes fáciesek és fáciesasszociációk jellemző karottázsképpel, vagyis elektrofácies képpel rendelkeznek, amelyet számtalan magvizsgálati eredmény támasztott alá, azonosításuk régen megoldott (BÉRCZI & PHILLIPS 1985, RÉVÉSZ et al. 1989, GAJDOS et al. 1983, JUHÁSZ et al. 1989). Természetesen csak akkor alkalmazható a módszer, ha magmintákkal kellően fel van tárva, és a teljes rétegsort átlátjuk, mert igen hasonló elektrofácies képet eredményez például egy torkolati zátony és egy turbiditlebeny rétegsora. A behordási-, vagyis dőlésirányú szeizmikus szelvényeken szintén elég jól elkülöníthetők bizonyos szeizmikus fáciesek, amelyek egyes nagyvastagságú üledékes fáciesasszociációkat jelölnek, elsősorban a lejtő, és annak alja, valamint teteje, amennyiben szigmoid deltáról van szó. Éppen ezt használták fel a szekvencia-sztratigráfia elméletének kidolgozásánál. Míg a magminták mikro- és makroméretű vizsgálatokra alkalmasak, addig a karottázsszelvények általában közel méteres felbontást adnak, ugyanakkor a hagyományos 2D szeizmika felbontása nem több 40–50 m-nél. Épp ezért egészítik ki egymást nagyon jól. (Helyenként azonban, főleg a DK-Alföldön a karottázsszelvények (M 1:1000 SP, TG és R) minősége gyakran nem teszi lehetővé a részletes fáciesvizsgálatot, mert pl. rosszul választották meg az amplitúdót, és így gyakorlatilag nincs kitérés, vagy technikai okok miatt nem sikerült megfelelően a szelvényezés.) Az egyes fáciesek akkor értelmezhetők legjobban, ha többféle, különböző felbontású adat is rendelkezésre áll. Ennek előnyeit igyekeztünk kihasználni e munka során.

Az alföldi pannóniai s.l. képződmények korának meghatározása

Az alföldi pannóniai képződmények korhatározása jelenleg két pilléren nyugszik: az életrétegtani rendszeren, amely relatív rétegtani sorrendet ad, és a magnetosztratigráfiai értelmezéseken, amelyek radiometrikus korhatározásokkal kalibrálva, a GPTS-sel (globális polaritás-időskála) való korreláció révén millió években fejezik ki az üledékes kőzettestek korát.

Biosztratigráfiai tagolásra kisebb vízmélység mellett elsősorban a puhatestűek, nagyobb mélység esetén inkább a dinoflagelláták használhatóak (SÜTŐ-SZENTAI 1991, MAGYAR 1991, 1995, MAGYAR et al. 2004). Fontosak lehetnek a kagylósrákok is, amelyek sok esetben az egyedüli preparálható fossziliák (SZUROMI-KORECZ et al. 2004). Bár a pannóniai biozónák átlagos időtartama – tehát a biosztratigráfia időbeli felbontása – 1 millió év nagyságrendű (MAGYAR et al. 1999), az alföldi képződmények biosztratigráfiai értékelésénél jelentős problémát okoz, hogy a tavi rétegsor legfiatalabb részére, az utolsó kb. három millió évre nincs kidolgozva a biozonáció, a felbontás éppen itt a leggyengébb.

Az Alföldön négy fúrásban készült mágneses polaritás mérés: Dévaványa–1, Vésztő–1, Kaskantyú–2, és Tiszapalkonya–1 (ELSTON et al. 1990, 1994; LANTOS et al. 1992). A dévaványai és vésztői fúrás olyan területen – a Körös-völgyben – mélyült, ahol folyamatos üledékképződés zajlott a késő-miocéntől napjainkig. A polaritás zónákat a Brunhes krontól kiindulva a fúrás talpa felé a Gilbert kron Nunivak alkronjának kezdetéig (C3n2n, 4,6 M év) sikerült korrelálni. A kaskantyúi és tiszapalkonyai fúrások viszont aránylag peremi helyzetben mélyültek, mindkettőben diszkordancia volt megfigyelhető a felső-miocén és a pliocén között (JUHÁSZ E. et al. 1996). Ezekben a fúrásokban a polaritás-zónák azonosítása a fúrás alján azonosított hosszú C5n krontól felfelé történt, sokszor biosztratigráfiai megfontolások alapján (ELSTON et al. 1990, 1994; LANTOS et al. 1992). A tiszapalkonyai fúrásban a legfiatalabb azonosított időszak a C3Ar kron kezdete volt (7,15 M év), mintegy 150 m-rel a diszkordanciafelület alatt. A kaskantyúi fúrásban a legfiatalabb esemény a C3An2n kron kezdete (6,8 M év) volt, kb. 50 m-rel a diszkordanciafelület alatt.

A négy fúrás között szeizmikus szelvényeken is megkísérelték a korrelációt (POGÁCSÁS et al. 1994). A kaskantyúi és tiszapalkonyai fúrásokban azonosított késő-miocén, illetve a dévaványai és vésztői fúrásokban kijelölt pliocén dátumok közé eső időtartamot egyenletesen elosztva a szintek közé eső üledékvastagságra, egy közel-folyamatos kronosztratigráfiát lehetett kialakítani. Ez a rendszer természetesen sok bizonytalanságot rejt magában, hiszen már a fúrások mágnesessztratigráfiai értelmezését sem lehet abszolútnak tekinteni, az egyenletes felosztás pedig nem számol sem a törmelékes üledékekben oly gyakori erózióval, sem az egyes üledéktípusok leülepedési sebessége közti nagyságrendekben mérhető különbséggel. Megbízhatóbb módszer hiányában azonban egyelőre – a korábbi mágnesessztratigráfiai értelmezéseket (ELSTON et al. 1994) a jelenleg használatos GPTS-hez igazítva – ezt tudjuk alkalmazni az üledékes képződmények korának meghatározására.

Szekvencia-sztratigráfiai vizsgálatok

A szekvencia-sztratigráfiai vizsgálatokhoz egy közel dőlésirányú regionális kompozit szeizmikus szelvényhálót alakítottunk ki az Alföldön, tehát mind az ÉNy-i, mind az ÉK-i behordási irányban, amelynek nyomvonalai az 1. ábrán láthatók. A szelvényekre eső fúrásokat önállóan vizsgáltuk, majd összevetettük a szeizmikus szelvényekkel.

A szekvencia-sztratigráfiai vizsgálatok során a VAKARCS et al. (1994) és VAKARCS (1997) által azonosított 3. rendű szekvencia-sztratigráfiai szinteket vettük alapul. Ezeket a harmadrendű szekvenciahatárokat követtük a kialakított dőlésirányú szelvényhálóban. A VAKARCS et al. (1994) által publikált nagy szelvényt tekintettük mesterszelvénynek (3. szelvény), amelynek nyomvonala: Derecskei-árok, Békési-medence, Battonyai-hát. A szelvény előnye, hogy a mélyzónákat szeli át, ebből következően hiányossága, hogy alig esik rá néhány fúrás, és azok is többnyire csak az Újfalui Formáció aljáig („alsó–felső–pannóniai” határig, amely megfelel a Peremartoni és Dunántúli Formációcsoport határának) mélyültek le. A sűrűbb fúrási lefedettség a többi szelvényünk esetén részletesebb földtani-szedimentológiai értelmezést tett lehetővé, amikor ezt a karottázsszelvények minősége megengedte.

A 4. rendű szekvenciák értelmezését azonban önállóan, a korábbi munkától (VAKARCS 1997) függetlenül végeztük el szelvényenként. Ezeket a szinteket, bár minden szelvényen azonosítottuk, nem is korreláltuk egymással, hiszen egy-egy delta lebeny nem biztos, sőt nem valószínű, hogy nagyobb távolságban is számottevő, a szeizmika felbontását meghaladó vastagságban megjelenik. A 4. rendű-rendszeregységek azonosítása a szeizmikus szelvényeken a legtöbb esetben meglehetősen bizonytalan, ugyanakkor az is előfordul, hogy még a csökkenő vízi rendszeregység (FSST – PLINT & NUMMEDAL 2000) is jól látható és értelmezhető, így rálapoldások hiányában esetleg ennek segítségével lehet biztosan kijelölni a szekvenciahatárt.

Az alföldi pannóniai s.l. képződmények integrált-sztratigráfiai vizsgálata az Alföld keleti részén

A DK-Alföldön a Pannon-medencét érintő mindkét fő behordási irány megtalálható. A keleti részen (Nyírség, Hajdúság, Derecskei-árok) elsősorban az ÉK-ről érkező deltarendszer hatása érvényesül, míg a Makó–Hódmezővásárhelyi-árok területe ÉNy felől töltődött fel. A két fő behordási irányból érkező nagy deltarendszerek a Békési-medence területén találkoztak, és azt töltötték fel utoljára Magyarországon. Így a vizsgált regionális szeizmikus szelvényeken mindkét behordási irány felfedezhető, ill. az ÉNy-i irány éppen merőleges a délkelet-alföldi regionális szelvényekre, tehát itt meglehetősen monoton, párhuzamos reflexiók képviselik a rétegsorokat, ezért ezen szakaszokról nem készítettünk külön ábrát. Az ÉK-i behordási irányban a szelvényeket a Derecskei-árok környezetére koncentráltuk elsősorban, mint fő erózióbázisra, amely folyamatos erős süllyedésénél fogva a legvastagabb üledéksort csapdázta. Ezek közül két szelvény szekvencia-sztratigráfiai elemzését mutatjuk be, amelyek az árok szárnyhelyzetében futnak.

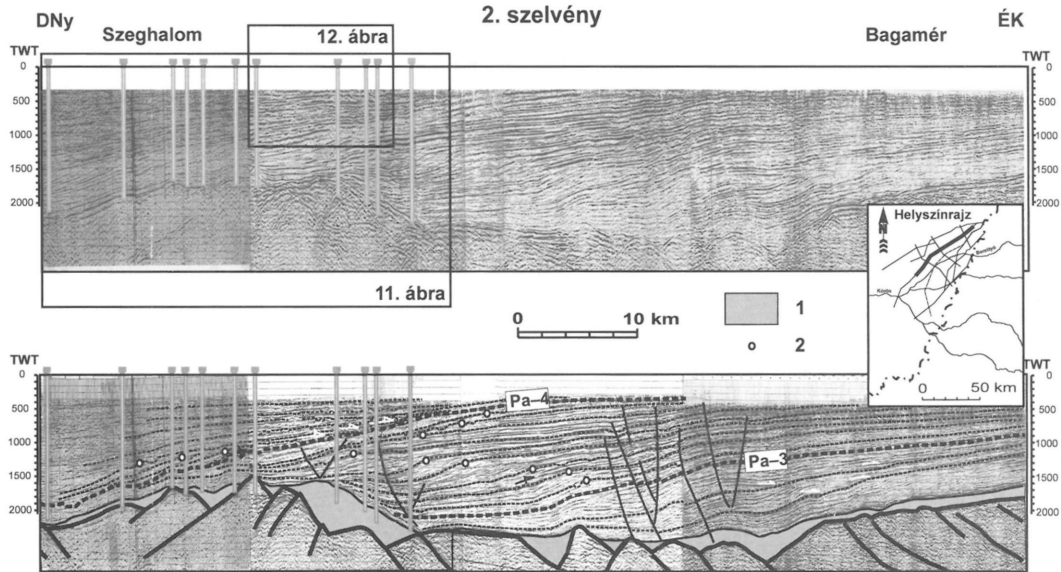
A 2. szelvény északra fekszik a mesterszelvénytől, és közel hasonló nyomvonalon fut, mint az egyik fő oldaleltolódási zóna az árok északi peremén, ill. szárnyán (3. ábra). A értelmezés során mind a harmadrendű (vastagabb szaggatott vonalak jelölik), mind a negyedrendű szekvenciahatárokat (vékonyabb szaggatott vonalak jelölik) meghatároztuk. Folyamatos progradáció, a partvonal előrenyomulása jellemző a szelvény mentén, de ugyanakkor széles morfológiai „self” alakult ki, amely felfelé is épül, vagyis aggradál. (A self szót itt nem az eredeti „kontinentális párkány” értelmében használjuk, hanem morfológiai értelemben, mivel igen széles, lapos, sekély vízzel borított területet takar, amelyet a speciális üledékképződés alakított ki). A szintek a vizsgált szelvényben végig követhetők, nem látszik a kiékelődésük, vagyis a „coastal onlap” a part irányában, egészen az országhatárig. A szelvény DNy-i része, tehát a 3. rendű szekvenciának a disztális, parttól távol eső része fúrásokkal jól feltárt (Szeghalom, Földes térsége), míg attól ÉK felé egyetlen fúrás sem esik rá, tehát a szekvencia központi, ill. proximális, parthoz közelebbi részéről nincs pontos földtani információk ebből a szelvényből. A szelvény DNy-i részén, a Szeghalmi-háthoz közeledve az itt lelapolódó negyedrendű szekvenciák DNy-i elvégződése az aljzatmorfológiát követve fölfelé hajlanak, amely a hátság későbbi, a harmadrendű szekvencián belüli relatív kiemelkedésére utal.

A 4. szelvény a mesterszelvénytől délre fut, amellyel a déli részén metszik egymást, mivel az utóbbi itt délre fordul (1., 4. ábra). A feltöltődés menete hasonlóan alakul a fentebbi 2. szelvényhez. Az erőteljes progradáció a Pa-3 harmadrendű szekvencián belül megtorpan, majd átmegy aggradációs stílusba. A legfelső negyedrendű szekvenciák viszont hátrafelé vastagodó tendenciát mutatnak, amelyek a harmadrendű szekvencia TST egységét alkotják. A Pa-4 harmadrendű szekvenciahatár (SB Pa-4) fölött a behordási irány jelentős változása észlelhető, amelyet gyakorlatilag párhuzamos reflexiók jeleznek számunkra. E reflexiók rálapolódnak (vagyis nekitámaszkodnak) a Pa-4 harmadrendű szekvenciahatárra. A Pa-3 harmadrendű szekvenciahatár még jól követi az aljzatmorfológiát a szelvény ÉK-i részén, majd a negyedrendű szekvenciahatárok fölfelé elsimulni látszanak: az aljzat szerkezeti mozgásai tehát a Pa-3 harmadrendű szekvencia lerakódása folyamán történtek.

*Jellegzetes szeizmikus mintázatok és azok földtani háttere –
a Pa-3 harmadrendű szekvencia az Alföld K-i részén*

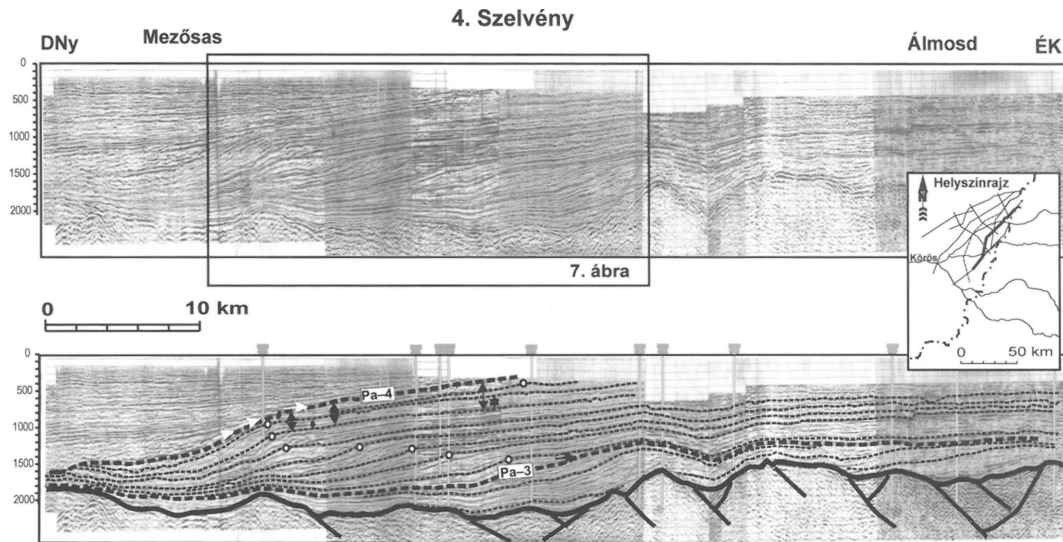
Külön figyelmet szenteltünk a szeizmikus szelvények átlagostól eltérő, különleges mintázatú részeinek és vizsgáltuk azok földtani hátterét. Ilyen szempontból a vizsgálataink egyik fókuszterülete a 6,8–9,1 M év között leülepedett Pa-3 harmadrendű szekvencia üledéksora, ill. a 6,8 M év Pa-4 szekvenciahatár vizsgálata volt, amelyek rendkívül érdekes mintázatot adtak a szeizmikus szelvényeken.

A korábbi szedimentológiai vizsgálatokból ismert volt a delta üledéksor extrém kivastagodása ezen a területen bizonyos fúrásokban (JUHÁSZ Gy. 1993). A vizsgált szeizmikus szelvényeken egy ék alakú, igen erőteljes reflexióköteg jelenik meg, körülötte alul-felül szeizmikusan „transzparens” szelvényképpel, elszórt reflexiókkal. Az egyes reflexiók párhuzamosak, hirtelen végződnek el, és DNy felé dőlnek. Az alsó végükön egyértelműen szigmoid delta foresetekben folytatódnak, progradációra jellemző szelvényképpel.



3. ábra. Szekvencia-sztratigráfiai értelmezés az ÉK-i behordási területen: 2. regionális szelvény. Jelmagyarázat: 1. syn-rift (szarmata badeni) üledékek, 2. self-perem

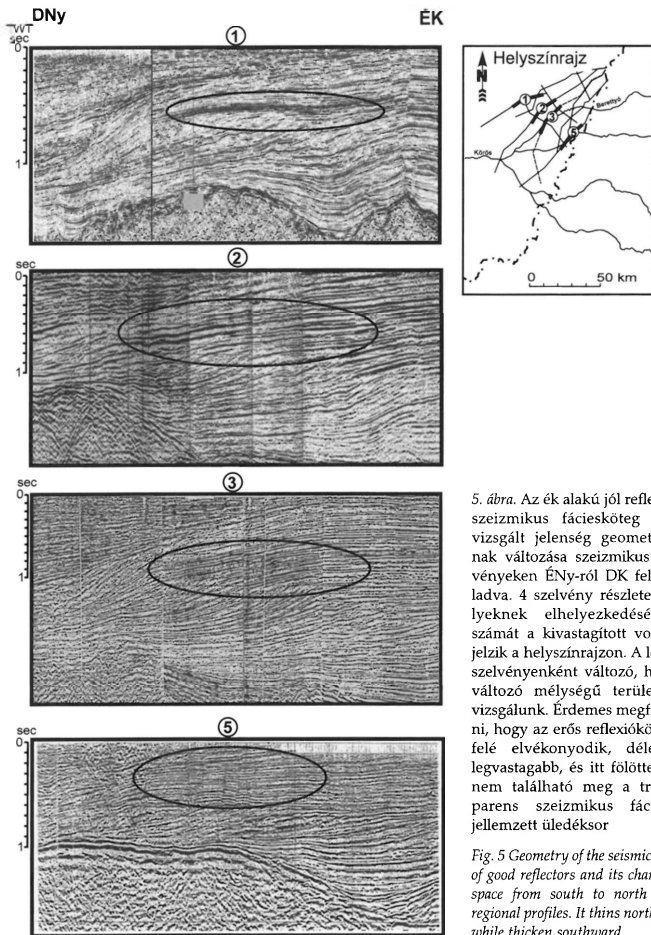
Fig. 3 Sequence stratigraphic interpretation on regional profile 2 in the E part of the basin. Legend: 1 syn-rift sediments, 2 shelf-edge



4. ábra. Szekvencia-sztratigráfiai értelmezés az ÉK-i behordási területen: 4. regionális szelvény. Jelmagyarázatot l. 3. ábrán

Fig. 4 Sequence stratigraphic interpretation on regional profile 4 in the E part of the basin. Legend: 1 syn-rift sediments, 2 shelf-edge

A jelenség megfigyelhető az egész K-Alföldön, de ÉNy-ról DK-i irányban haladva különböző jellegzetességeket mutat (5. ábra). Az árok tengelyében fejlődött ki a legjobban az ék alakú erős reflexiókóteg, míg É felé egyre vékonyodik. A déli szelvényeken látszik, hogy a felső része hiányzik, valószínűleg teljesen erodálódott, és így összeolvad a fölötte megjelenő Pa-4 harmadrendű szekvenciával.

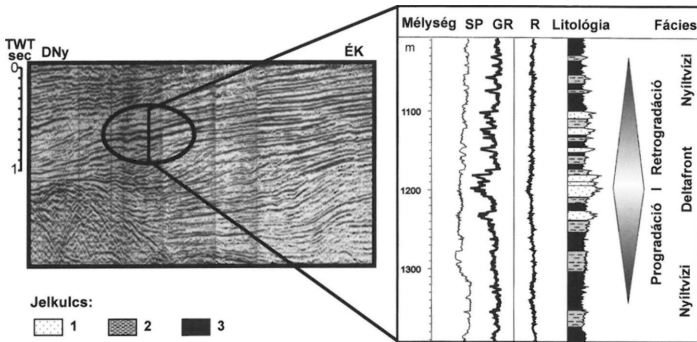


5. ábra. Az ék alakú jól reflektáló szeizmikus fácieskóteg és a vizsgált jelenség geometriájának változása szeizmikus szelvényeken ÉNy-ról DK felé haladva. 4 szelvény részlete, melyeknek elhelyezkedését és számát a kivastagított vonalak jelzik a helyszínrajzon. A lépték szelvényenként változó, hiszen változó mélységű területeket vizsgálunk. Érdeemes megfigyelni, hogy az erős reflexiókóteg É felé elvékonyodik, délen a legvastagabb, és itt fölötte már nem található meg a transzparens szeizmikus faciessel jellemzett üledéksor

Fig. 5 Geometry of the seismic facies of good reflectors and its change in space from south to north on 4 regional profiles. It thins northward while thicken southward

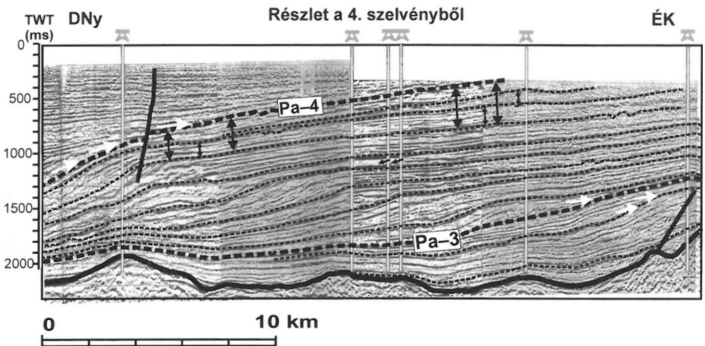
A 2. szelvény elnyújtottabban mutatja azt az érdekes kiemelődő, éles reflexiókkal jellemezhető mintázatot, amelynek a ráeső fúrásokban végzett szedimentológiai, szekvencia-sztratigráfiai vizsgálata egy jelentős progradációs-retrogradációs ciklust jelez számunkra (a 6. ábra szeizmikus szelvényen és egy fúrás rétegsorában mutatja ezt a jelenséget). Az ék alakú reflexiókötég egyes elemeinek elvégződése gyakorlatilag kijelöli a deltafront határát a nyíltvíz irányában, vagyis lehetővé teszi a mindenkori selfperem azonosítását. Ez lefelé egyértelműen látszik is, felfelé azonban, a transzgresszív rendszereztségben a retrogradációt lehet egyértelműen kijelölni a segítségével. A korábban feltételezettnél jóval erőteljesebb, nagyobb területre kiterjedő és gyors transzgresszió történt a Pa-3 harmadrendű szekvencia transzgresszív és nagyvízi rendszereztségében. Ez a transzgresszió Földestől ÉK-re már egészen kis mélységben észlelhető, a kvarter képződmények helyenként közvetlenül nyíltvízi üledékekre települnek, ettől ÉK-re azonban a pannóniai rétegsor legfelső része erodálódott. Vajon mi okozhatta ezt a nagy területre kiterjedő, nagymértékű transzgressziót?

A 4. szelvény részlete, amely a mesterszelvénytől délre húzódik, a 7. ábrán tekinthető meg. Ezen a szelvényen a szeizmikus mintázat nem teljesen tisztán mutatja a transzgressziót, valószínűleg még nagyobb mértékben erodálódott a harmadrendű



6. ábra. A vizsgált szeizmikus jelenség földtani háttere: a kiemelődő erős reflexiókötég és az alatta-fölötte megjelenő transzparens szeizmikus fácies földtani értelmezése egy földesi fúrás rétegsorában. Megfigyelhető, hogy az erős reflexióval jellemzett kiemelődő szeizmikus fácies egy progradáló, majd retrogradáló partközeli, sekélyvízi deltafront üledéksort jelez, míg a fölötte megjelenő transzparens szeizmikus fácies nyíltvízi üledéksort takar, amely a transzgresszió során a széles selfen rakódott le. Ebben a fúrásban mindössze 150-200 m vastag a deltafront, és még több száz m vastag nyíltvízi üledéket találunk fölötte, tehát az Algyői Formációba beekelődik a deltafront üledéksorba. ÉK felé haladva a deltafront rétegsor vastagsága erősen megnövekszik, és ez alkotja az Újfalui Formáció 1000 m vastag üledéksorát, míg a nyíltvízi üledékek részaránya fokozatosan csökken. Helyszínrajz: 1. 5. ábra 2. szelvény. Jelmagyarázat: 1. homokkő, 2. aleurolit, 3. agyagmárga

Fig. 6 Geological background of the studied seismic facies: the pinching out strong reflectors means a prograding-retrograding wedge of deltafront sediments. This gives a good evidence for the strong regional scale 3rd order transgression, built up by 4th order cycles. Location: see Fig. 5, profile 2. Legend: 1 sandstone, 2 siltstone, 3 clay marl



7. ábra. Részlet a 4. szelvényből. Jelentős transzgresszó, a Pa-3 harmadrendű szekvencián belül a felsőbb negyedrendű szekvenciák (3. rendű TST) visszafelé, a partvonal irányába történő vastagodása figyelhető meg. A 3. rendű szekvencia nagyvízi rendszerességége szinte teljesen erodálódott. Helyszínrajz: l. 4. ábra.

Fig. 7 Detail of Fig. 4 with the expression of a strong transgression. Note the thickening back of the 4th order cycles in the upper part (TST) of the 3rd order cycle. Location: see Fig. 4

szekvencia teteje. A fúrásokban azonban egyértelműen látszik a felfelé durvuló szemcseösszetételű partközeli rétegsorok megjelenése a deltasíksági, és folyóvízi üledékek fölött. Ám a felső részen igen jól látszik a 4. rendű szekvenciák hátrafelé, a part irányában történő kivastagodása, és az egész rendszer hátrálására. Ez a hátrafelé történő vastagodás tektonikai okokra, a terület ÉK felé történő billenésére utal.

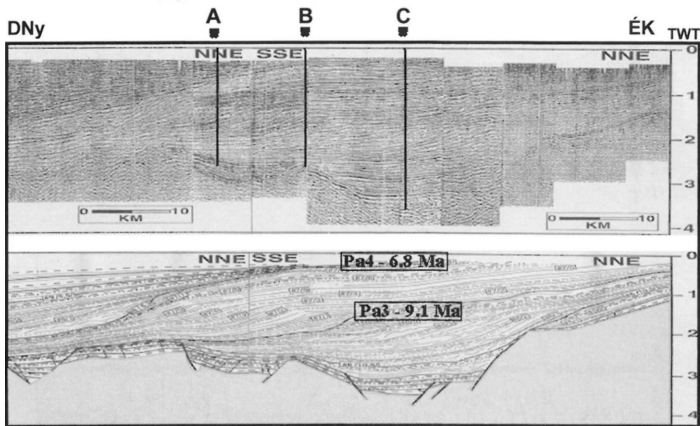
Az erős reflexióköteg tehát a vízszintingadozásra érzékeny, lapos morfológiai selfet minden ciklusban előtűtő tó által létrehozott, azt lepelszerűen beborító nyíltvízi üledékeinek, majd a csökkenő vízszint idején a sekély selfen gyorsan progradáló deltafront nagy kiterjedésű üledékeinek gyakori váltakozását tükrözi.

A Pa-3 szekvencia rétegsora egy széles, az üledékképződés során kialakult morfológiai „selfen” rakódott le, igen vastag és kiterjedt deltafront, és parti síkság üledék-sort létrehozva, ugyanakkor nem jellemzőek hozzá kapcsolódó vastag turbiditerek, illetőleg jelentősebb vastagságú bevágódott völgyek sem, inkább csak maximum 50 m (egy esetben 100 m) vastagságot is elérő bevágódott medrek. Az árok legmélyebb zónájában mélyült Derecske-I fúrás vastag homokos turbiditrétegsorának nagy része még az előző, Pa-2 és Pa-1 harmadrendű szekvenciákhoz tartozik, annak során képződött. A Pa-3 harmadrendű üledékes ciklusban kezdeti gyors süllyedés és az ezzel egyensúlyt tartó, sőt meghaladó delta progradáció után aggradáció következett, majd egy igen erőteljes transzgresszió nyomaira bukkantunk, amely nagy területen a partvonal és a folyóvízi síkság teljes elöntését eredményezte, mélyen benyomulva a szárazföld belseje felé, amely vastag folyóvízi rétegsor fölött, (ma igen sekély mélységben,) nyíltvízi üledéket eredményezett. A transzgresszió ilyen jelentős mértékére az eddigi földtani értelmezések során nem derült fény, fel

sem merült, hogy 3–400 m mélységben nyíltvízi képződményeket keressünk a mélymedence területén, közvetlenül a kvarter talp alatt. A transzgresszió mértékét jelzi az a tény, hogy e nyíltvízi és deltafront rétegsorok, vagyis a jellegzetes karottázs szelvényalak a vizsgált szelvényeinktől igen nagy távolságra, a Gelénes–1 alapkutató fúrásban is megtalálható.

A széles morfológiai self üledéksora a parttól való távolság függvényében

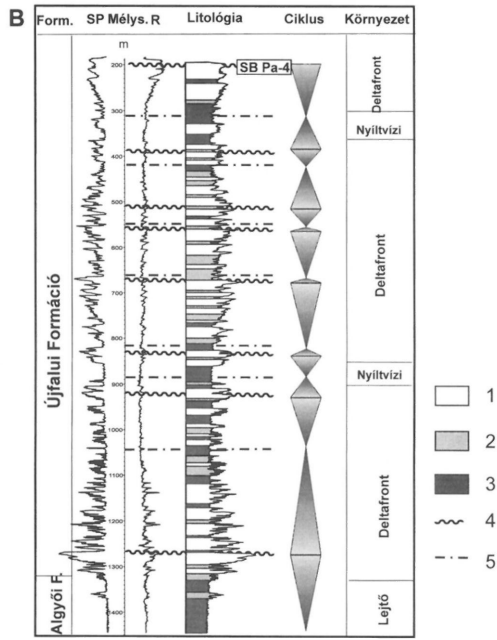
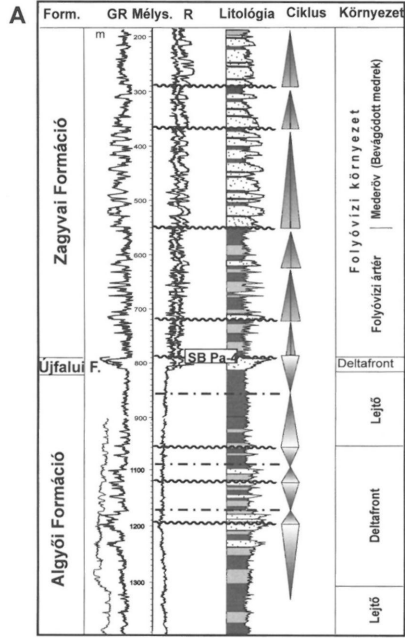
A Pa–3 harmadrendű szekvencia lerakódásának folyamán kialakult morfológiai self különböző részeit jellegzetes rétegsorok építik fel. Ennek szemléltetésére mutatunk be néhány fúrást, amelyek egymáshoz és a selfhez viszonyított helyzete a mesterszelvény (3. szelvény, VAKARCS 1997) aktuális szakaszán látható, habár helyzetük csak idealizált, a valóságban nem esnek egy szelvényre (8. ábra). A jellemző rétegsorok szedimentológiai, litológiai és szekvencia-sztratigráfiai értelmezése látható a self disztális és központi (9/a és b ábra), valamint proximális (10. ábra) részén.



8. ábra. A Derecskei-árok mélyzónájában futó mesterszelvény (3. szelvény, VAKARCS 1994, 1997) és a bemutatott fúrások elvi helyzete a széles morfológiai self disztális, központi és proximális részén

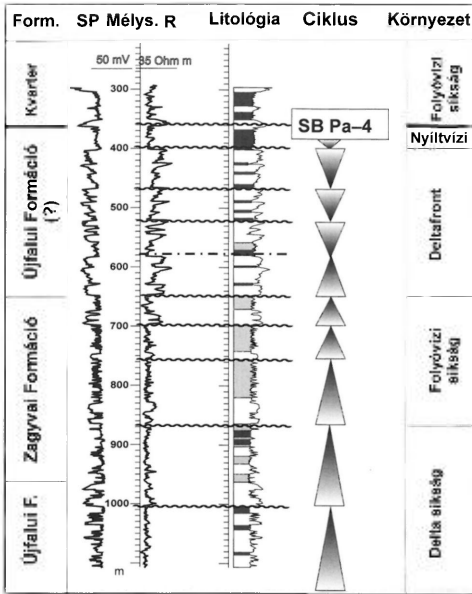
Fig. 8 Profile 3, the master profile by VAKARCS (1994, 1997), and theoretical position of the wells shown below, in the distal, central and proximal part of the wide morphological "shelf"

A morfológiai self disztális (parttól távolabbi) részén a Pa–3 szekvenciát főleg nyíltvízi üledékek építik föl, amelybe közbetelepül a progradáció során leülepedett vastag deltafront sorozat. A felfelé durvuló és vastagodó homokkőrétegek progradációt, míg a fölfelé finomodó és vékonyodó homokkőrétegek a partvonal visszahúzódását jelzik. E fölötte még 250 m vastag nyíltvízi üledéksort találunk, amely jelzi, milyen hosszú ideig tartott a transzgresszió, és mennyi üledék erodálódhatott a Pa–3 szekvencia felső részéből.



10. ábra. Jellemző litológiai és szedimentológiai felépítés, valamint üledékes ciklusok a széles morfológiai „selfnek” a partvonalhoz közelebbi, proximális részén. A fúrás idealizált helyzete a 8. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy a vastag folyóvízi rétegsor fölött újra megjelennek a felfelé durvuló szemcseméretű deltafront üledéksorok, paraszekvenciákat és negyedrendű ciklusokat alkotva. A 6,8 M év Pa-4 szekvenciahatárra a kvarter képződmények települnek. Jelmagyarázat: l. 9. ábra

Fig. 10 Characteristic lithology, sedimentology and depositional cycles in the proximal part of the wide morphological “shelf”. Note that above the fluvial sediments we can see a thick deltafront succession forming coarsening upward parasequences as well as 4th order cycles. Idealistic location: see Fig 8. Legend: see Fig. 9



A morfológiai self központi részén több, mint 1000 m vastag deltafront üledéksor rakódott le, benne ideális, szinte tankönyvi példának kínálkozó szekvencia-sztratigráfiai ciklusokkal. A ciklusok belső felépítése változik a rétegsorban: alul a TST (transzgresszív rendszeregység) a legvastagabb, a rétegsor középső szakaszán főleg a HST-k (nagyvízi rendszeregység) dominálnak, majd a legfelső részen szintén a TST szakasz dominanciája a jellemző. Tehát a legalsó és a legfelső részén a nyíltvízi hatások erősebbek, a deltalejtő közelebb van.

A self proximális részén bemutatott fúrás (10. ábra) a Derecskei-árok legmélyebb zónájában mélyült, itt a rétegsorban csak a legfelső 1000 métert ábrázoltuk. Az ábrázolt szakasz alatt még 1000 m vastag deltafront üledéksor található. A szelvényben megjelenik a deltasíkság több, mint 200 m vastag rétegsora, majd egy ideális szelvényképpel rendelkező folyóvízi rétegsor. Végül e fölött újra megjelennek a felfelé durvuló deltafront üledékek aggradációs jelleggel, és több száz méter vastag-

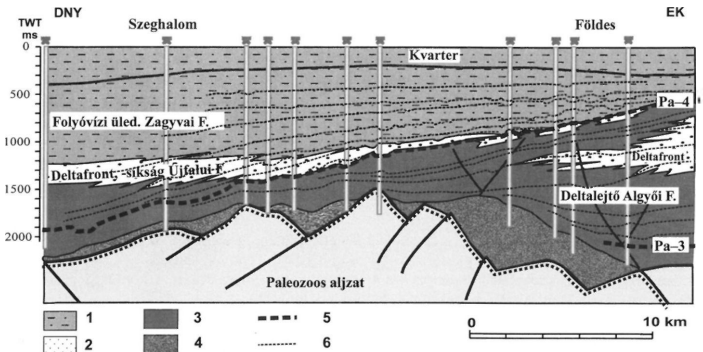
← 9. ábra. Jellemző litológiai és szedimentológiai felépítés, valamint üledékes ciklusok a széles morfológiai „self” különböző részein, a parttól való távolság függvényében. A/ disztális helyzetben, B/ a self központi részén. A fúrások idealizált helyzete a 8. ábrán látható. Jelmagyarázat: 1. homok, 2. aleurit, 3. agyagmárga, 4. szekvenciahatár, 5. maximális elöntési felszín (MFS)

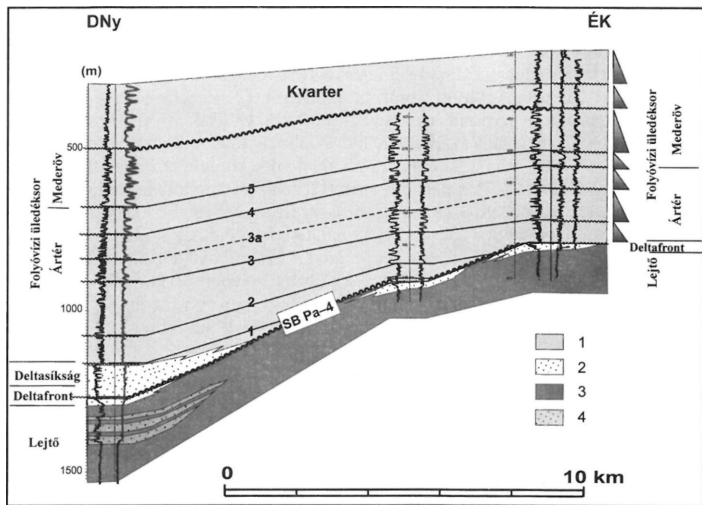
Fig. 9 Characteristic lithology, sedimentology and depositional cycles in the A) distal and B) central part of the wide morphological “shelf”. Idealistic location: see Fig 8. Legend: 1 sandstone, 2 siltstone, 3 clay marl, 4 SB, 5 MFS

ságot is elérnek. A nyíltvízi szakaszok felfelé vastagodnak, majd közvetlenül a nyíltvízi üledékek tetején eróziós diszkordanciával települnek a kvarter képződmények. Itt jelentkezik tehát legpregnansabban a Pa-3 harmadrendű szekvenciában tárgyalt jelentős mértékű transzgresszió nyoma, ahol a 200 m vastag alluvialis rétegsor fölött újra jelentkezik a felfelé durvuló deltafront sorozatok, paraszekvenciák, és fölötté újra megjelenik a nyíltvízi rétegsor, több száz méter vastagságban.

A Pa-4 szekvenciahatár jelentősége

A 6,8 M éves szekvenciahatár szedimentológiai vizsgálata során kiderült, hogy az előző erőteljes transzgresszióhoz képest több száz méter relatív vízszintesés következett be, amelyet a fáciesek gyökeres térbeli átrendeződése kísért, és ezt sikerült rekonstruálni. A szekvenciahatár jellege, az alatta és fölötté települő rétegsorok jellemzői azonban jól követhetők a 2. szelvény fúrással feltárt részén, Dévaványa-Földes térségében (11. ábra). A szedimentológiai-szekvencia-sztratigráfiai szelvényen jól látható az időszintek (harmad- és negyedrendű szekvenciahatárok), valamint az üledékes fáciesek kapcsolata. A szelvény ÉK-i részén látjuk a deltafront előrenyomulását, majd a jelentős transzgresszió (TST) meglehetősen vastag nyíltvízi üledéksort eredményezett. Végül, az igen gyors relatív vízszintesés a kiemelt területeken erózióval járt, és a csökkenő vízi rendszeregységben (FSST – PLINT & NUMMEDAL 2000, PLINT et al. 2001) a deltafront üledékeket csak töredékesen találjuk meg, igen csekély vastagságban, fölöttük közvetlenül folyóvízi üledéksorok települnek. E szint fölött már csak folyóvízi ciklusokat tudunk elkülöníteni egymás fölött, több ritmusban (12. ábra). A fúrási rétegsorokban elkülönített felfelé finomodó tendenciájú folyóvízi üledékciklusok meglepő módon jól látszanak a szeizmikus szelvényen is, és a medersorozatokkal jellemezhető mederöv fáciesek is jelentkezik a szeizmikus szelvényeken kisebb méretű bevágódott mederként, ill. a reflexiók rendellenességeiként (9/a, 11, 12. ábra).





12. ábra. A harmadrendű Pa-4 (6,8 M év) szekvenciahatár megjelenése karotázsszelvényeken, és a föllette lévő folyóvízi rétegsor szekvencia-sztatigráfiai értelmezése, valamint a ciklusok korrelációja. A szelvény helyzete a 3. ábrán látható. Jelmagyarázat: 1. uralkodóan aleuritós-homokos rétegsor, 2. finomhomokos rétegsor vékonyabb agyagmárga közbetelepülésekkel, 3. uralkodóan agyagmárga, márga, agyagkő, 4. finomhomokos áthalmozott üledékek

Fig. 12 The 3rd order SB Pa-4 and the correlation of younger fluvial cycles on well logs. Legend: 1 fluvial sediments, 2 deltaic sediments, 3 offshore & slope marls, 4 reworked sediments

← 11. ábra. Földtani-szekvencia-sztatigráfiai szelvény Szeghalom-Földes környezetében, melynek helyzete a 3. ábrán látható. Jelentős fáciesváltozások figyelhetők meg a 6,8 Ma Pa-4 szekvenciahatáron az igen nagy mértékű relatív vízszíncsökkenés hatására. A Pa-3 harmadrendű szekvencia csökkenő vízi rendszerezésében (FSST) a részben erodálódott deltafront homokkővek maradványai a többi homokkőtesttől elszakadva, közvetlenül a jóval fiatalabb folyóvízi üledékek alatt található. E fiatalabb folyóvízi üledékek másutt esetleg közvetlenül a nyíltvízi üledékekre települnek. Jelmagyarázat: 1. Uralkodóan aleuritós-homokos rétegsor, 2. Finomhomokos rétegsor vékonyabb agyagmárga közbetelepülésekkel, 3. Uralkodóan agyagmárga, márga, agyagkő, 4. syn-rift (szarmata-badeni) üledékek, 5. harmadrendű szekvenciahatár, 6. negyedrendű szekvenciahatár

Fig. 11 Geologic and sequence stratigraphic profile around the Szeghalom-Földes basement high. For location see Fig. 3. Overall delta progradation was interrupted by a strong transgression, forming thick offshore sedimentary unit above the deltafront wedge in the NE. Extreme facies changes were caused by large scale relative lake-level fall on SB Pa-4 at around 6,8 My. The stranded parasequences of the FSST can be seen under the SB Pa-4 in the NE part of the profile. Legend: 1 fluvial sediments, 2 deltaic sediments, 3 offshore & slope marls, 4 syn-rift sediments, 5 3rd order SB, 6 4th order SB

Fejlődéstörténeti következtetések a K-Alföldön

A kapott fejlődéstörténeti eredmények nyomán megállapítottuk, hogy a 6,8–9,1 M év között leülepedett harmadrendű szekvencia üledéksora egy tektonosztratigráfiai ciklust alkot, amelynek során a medence szerkezetfejlődése gyökeres változáson ment át. A harmad- és negyedrendű szekvenciák arhitektúrája segítségével datálhatók lehetnek a szerkezetfejlődés változásai, és a medence kompressziójának kezdete. A kompresszió előtt azonban jelentős kimélyülés, a relatív vízszint jelentős megnövekedése, és a part irányába (ÉK felé) történő kibillenés következett be az Alföld K-i részén, ill. a Derecskei-árok környezetében. Ez magyarázható az árok É-i részén, nagyjából a 2. szelvény vonalában futó oldaleltolódás kiújulásával, amely a balralépés következtében transzzenziót eredményezett az árokban, míg transzpressziót a biharnagybajomi magaslat környezetében (RÉDLY 1988, 1990). Az integrált-sztratigráfiai vizsgálatoknak eredetileg nem volt célja a medence szerkezetföldtani tanulmányozása, eredményeink azonban komoly tektonikai változásokra utalnak már a pannóniai korszakon belül.

Az alföldi pannóniai s.l. képződmények integrált-sztratigráfiai vizsgálata az Alföld északnyugati részén

Az Alföldön az egyik fő behordási irányt az ÉNy-ról érkezett, hatalmas üledék-tömeget szállító folyó képezte, amely karéjos típusú deltarendszert alkotva töltötte fel fokozatosan az Alföld medencéinek kétharmad részét. A delta belépési helyét azonban ma sem ismerjük pontosan, ezért kiterjedt kompozit szelvényhálót állítottunk össze. A szelvények egyelőre mégsem adtak erre kielégítő magyarázatot. Érdekes módon a partvonal selfperemeinek kitérképezése (VAKARCS 1997), illetve bizonyos szedimentológiai jelek térképezése (lásd később) azt mutatják, hogy szinte É–D irányú volt a partvonal a Nyugat-Alföldön, tehát északi belépéssel nem, vagy csak jelentéktelen mértékűvel kell számolnunk. Ezen belül azonban a DNy-i részen széles, lapos rámpa, sekély medence alakult ki, igen lassú feltöltődéssel, míg ÉNy-on meredekebb lejtővel, előbb sekélyebb, majd amint elérte a feltöltődés a Jászságot, mélyebb medencével, meredekebb lejtővel számolhatunk. A két legnyugatabbi alföldi regionális szelvényünkön szinte nem is látszik a behordási irány, a ferderétegzett lejtő (foreset) szeizmikus fácies nem nyomozható (1. ábra, I–II. szelvény). Persze a szelvényirányainkat nagy mértékben meghatározta a rendelkezésre álló szeizmikus háló, amely az egész országban ÉNy–DK, illetve DNy–ÉK-irányú, nincsenek NY–K-i szelvényeink. Mivel egy rámpa jellegű, igen lapos, nyugatról jövő feltöltődéssel állunk szemben a Duna–Tisza köze középső részén, a rendelkezésre álló szelvényhálón a csekély vastagságok és a gyenge minőség miatt nem jelentkezik karakterisztikusan a behordás. Egy karéjos típusú delta egyébként is félkörívben sok apró mederrel rendelkezik, és nem egy-egy hosszan benyúló „lábbal”, mint a Mississippi-típusú madárláb-delták. (Ez utóbbiról ma már azt feltételezik, hogy nem természetes, hanem antropogén hatásra alakult ki.)

A Duna–Tisza köze déli részén végzett részletes szekvencia-sztratigráfiai vizsgálatok szerint azonban ennek ellenére a kis vastagságú pannóniai üledéksor a ciklusok szintjén folyamatos a kezdetektől 6 M évig (TÓTHNÉ MAKK 2003, TÓTH-

MAKK in rev.) E szerint tehát itt igen lassú üledékképződéssel számolhatunk, ami nem jellemző egy deltaágra. A deltaágak nyilván a nagyobb süllyedéssel rendelkező területek felé, a mélyebb erózióbázis felé mozdultak el.

A többi (III–V.) regionális szelvényen azonban már a Jászsági-medencében is határozottan látszik a feltöltés, tehát az Alföld ÉNy-i csúcskéből, az aljzati Bugyi-magaslattól északra kb. 9 M évtől kezdve jelentős folyóvízi deltaággal számolhatunk. A Bugyi-magaslat a pannóniai-fáciésekből ítélve már ebben az időben is csak sekély vízzel borított (esetleg időnként kiemelt) hátság volt, és feltehetően elválasztotta a tőle északról és délről beömlő folyókat, illetve deltaágakat. Ez a két terület homokkő mintáinak nehézasvány-tartalmában is jelentkezik (THAMÓNÉ BOZSÓ et al. in print) ennél fogva lehetséges, hogy a 7–9 M éves időkeretben két külön folyóról volt szó a Pa–3 harmadrendű szekvenciában.

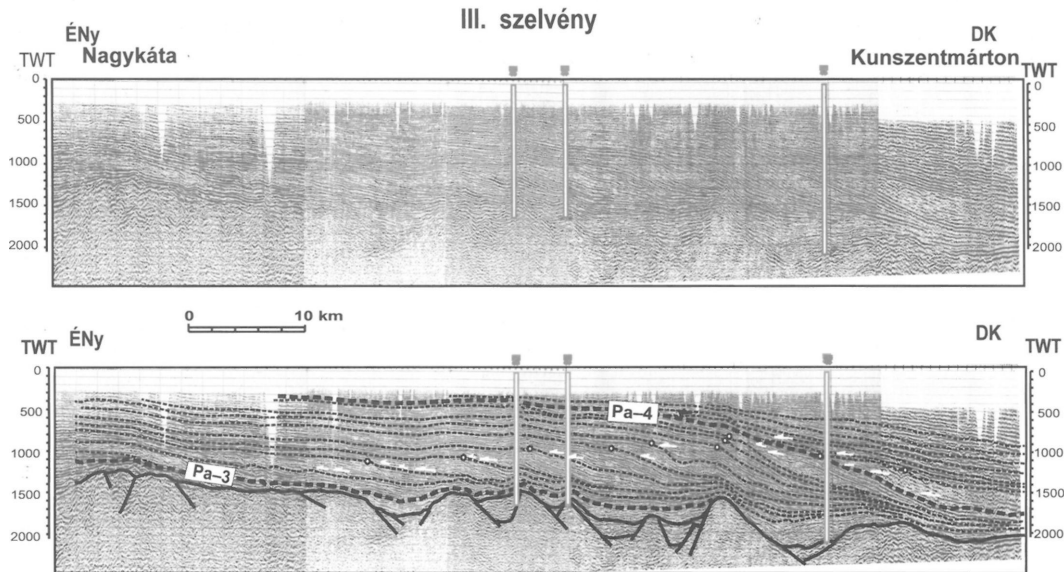
A III. szelvény jól szemlélteti, hogy a Pa–3 szekvenciahatár idején az Alföld ÉNy-i területén még jelentéktelen volt mind az üledékképződés mértéke, mind a vízmélység (13. ábra). Ezután érte el szelvényünket a partvonal, illetve a delta-progradáció. A medencerész folyamatos süllyedése, a vízmélység és a kitölthető tér növekedése jellemezte, amellyel azonban az üledékbehordás egyensúlyt tudott tartani, sőt meghaladta azt. Így erős aggradációval párosult progradáló rétegsorokat láthatunk, jellegzetes szeizmikus szelvényképet, valamint litofácies egységeket létrehozva.

A Pa–4 szekvenciahatáron történt események itt is jelentős változást hoztak, akárcsak a Kelet-Alföldön. Itt is jelentős relatív vízszintcsökkenést tapasztalunk, bár nem olyan gyors és hirtelen csökkenést, mint északkeleten. Keveset tudunk a Pa–4 szekvenciahatáron történt eróziós eseményekről, illetve egy-két töredékes ciklus maradványát láthatjuk, de az ÉK-en jellegzetes szelvényképpel rendelkező kibillenés és erőteljes transzgresszió nyomai egyáltalán nem láthatók a szeizmikus szelvényeken. Fúrásai rétegsorokban azonban tapasztalható kisebb vastagságú, felfelé durvuló deltafront rétegsorok visszatérése a deltasíksági üledékek fölött.

Az ÉNy-i behordási területen is tapasztalható tehát a Pa–3 szekvencia igen erős aggradációja és progradációja. A deltafront és deltasíksági rétegsorok nagy mértékű kivastagodása az egész Duna–Tisza közén, és a Jászság északi részén megfigyelhető. A negyedrendű szekvenciáknak a Pa–4 szekvenciahatárig történő „sztratigráfiai emelkedése” jellemző, ami a selfperemet jelölő karikák egymásutániségében figyelhető meg a 13. ábrán, míg onnan kezdve a relatív vízszint csökkenése indul meg, de határozottan lassabban és fokozatosabban, mint ÉK-en, ami nem vont maga után a litofáciesek oly mértékű drasztikus változását, mint ahogyan azt a szeghalomföldesi szelvényben láhattuk.

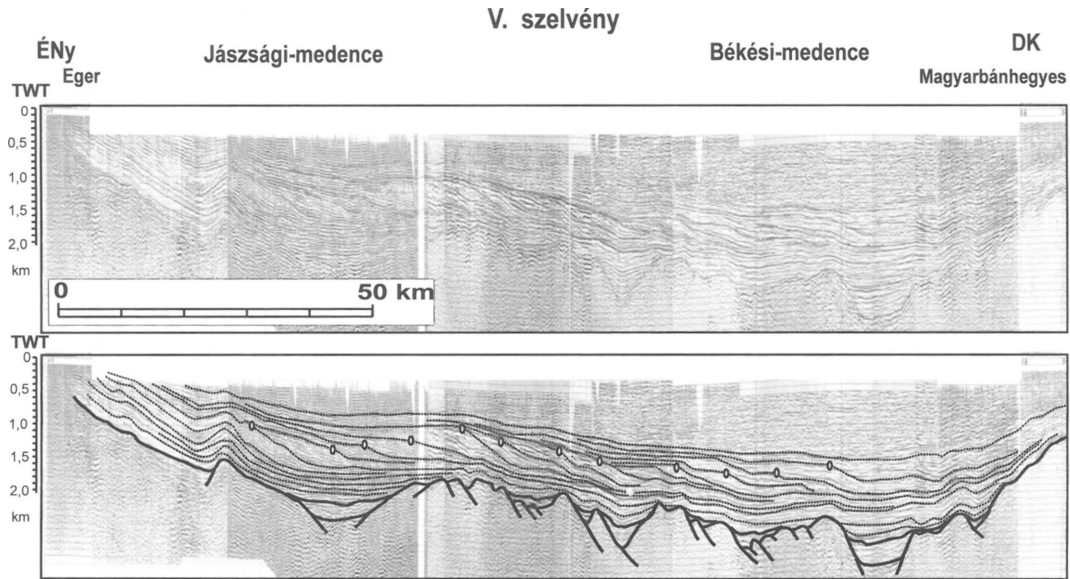
Jellemző még a vizsgált szelvényeken, hogy a jelentős Pa–4 szekvenciahatárhoz kötődő relatív vízszintcsökkenés után a behordási irányok megváltoztak, és a kompresszió nyomán a kiemelkedéseket megkerülve érték el a folyók a medencét.

Végül egy egész Alföldet átszelő szekvenciasztratigráfiai szelvényt mutatunk be, amely a Jászsági és a Békési-medence mélyzónáim fut keresztül, É–ÉNy, D–DK-i irányban Eger, és a Battonyai-hát keleti része között (14. ábra). Ezen a szelvényen a Jászsági-medence süllyedése, a Pa–3 szekvencia lerakódása során történt aggradáció kisebb mértékű, mint az előző szelvényeken, vagyis néhány negyedrendű



13. ábra. III. szelvény szekvenca-sztratigráfiai értelmezése az ÉNy-i behordási területen

Fig. 13 Sequence stratigraphic interpretation of regional profile III in the area of sediment input from the NW. For location see Fig.1



14. ábra. Az Alföldet átszelő V .szelvény szekvencia-sztratigráfiai értelmezése az ÉNy-i behordási területen

Fig. 14 Sequence stratigraphic interpretation of regional profile V throughout the Hungarian Plain in the area of sediment input from the NW. For location see Fig.1

ciklusnál látszik a parti rálapolódás ("coastal onlap"). A rétegtani emelkedés azonban itt is megfigyelhető a Pa-4 szekvenciahatárig, onnantól kezdve azonban csökkenni kezd a selfperemek szintje. A szekvenciák architektúrája kicsit más, hiszen az aljzatmorfológia itt teljesen másképp alakult a különböző időszakokban, mint az eddig vizsgált szelvényeken. Látható, hogy az utolsó értelmezett időszint fölötti (már tisztán folyóvízi, ártéri) rétegsorok által felépített vastag medence-töltés igen fiatal (pliocén) korú, és hogy az időszintek szépen rálapolódnak a Battonyai-hátra. Ez nem jelenti azt, hogy ott korábban nem volt üledékképződés, csak rendkívül kondenzált jelleggel folyt (MAGYAR et. al. 2004). A szelvény északi részén jól látható, hogy a középhegység déli előterében az időszintek kifutnak a felszínre, ami a középhegység későbbi kiemelkedését bizonyítja.

A bevágódott völgyek jelentősége az ÉNy-i területen

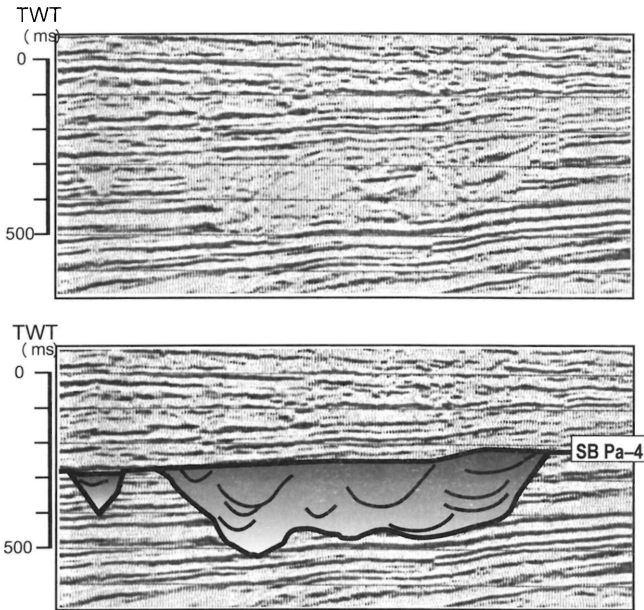
A szelvények részletesebb vizsgálata során kiderült, hogy bizonyos szintekhez, így főleg a 6,8 M éves szekvenciahatárhoz az Alföld ÉNy-i részén igen jelentős bevágódott völgyek, medersorozatok kapcsolódnak. Több száz méter mély, és igen széles völgyek és kanyonok nyomozhatók a szelvényeinken, amelyekből példát a 15. ábrán mutatunk be. A völgyek története több szakaszból állt, többszöri bevágódás nyomai tapasztalhatók, ami azt jelzi, hogy több relatív vízszintes és rajta hagyta a nyomát. Ezt a jelenséget, és a bevágódott völgyeket szeretnénk kitérképezni a közeljövőben, ami remélhetőleg választ ad a behordások irányára vonatkozó megoldatlan kérdésekre.

Diskusszió

Fejlődéstörténeti és tektonikai összefüggések

Az Alföld pannóniai rétegsorában a különböző behordási irányokból vizsgált feltöltődés menetét tekintve harmad- és negyedrendű üledékes ciklusok kerültek azonosításra. Ezek közül az Alföldön legjelentősebb a 6,8–9,1 M év között felhalmozódott Pa-3 jelű harmadrendű szekvencia, amelyet érdekes szeizmikus mintázat, valamint szélsőséges szedimentológiai felépítés jellemez körben a medence területén. A jelenség fejlődéstörténeti, illetőleg tektonikai okokra vezethető vissza. Az integrált-sztratigráfiai eredmények alapján úgy véljük, hogy a 6,85–9,15 M év között leülepedett harmadrendű szekvencia üledéksora egy tektonosztratigráfiai ciklust alkot, amelynek során a medence szerkezetfejlődése gyökeres változáson ment át. A harmad- és negyedrendű szekvenciák architektúrája segítségével datálhatók lehetnek a szerkezetfejlődés változásai, és a medence kompressziójának kezdete.

Az ÉK-i behordás területén a Pa-2 szekvencia leülepedése idején, vagyis 9,1–11 M évvel ezelőtt a Derecskei-árok és környezete még nem volt nagyon mély, bár környezetébe képest akkor is üledékgyűjtő volt, hiszen a központi részén a legmélyebb árokban felhalmozódott 1000 m vastagságot elérő turbidit összlet jó része a legidősebb Pa-1 szekvenciához, kisebb része a Pa-2 harmadrendű szekvencia legalsó részéhez kötődik, tehát a tengelyében folyamatosan süllyedt. Kb. 8–9 M évvel ezelőtt a partvonal progradációja elérte az árok DNy-i peremét, és ezzel



15. ábra. Bevágódott völgykitöltések a folyóvízi összleten belül a Pa-4 (6,8 M év) szekvenciahatárhoz kapcsolódóan az Alföld ÉNy-i részén

Fig. 15 Incised valley fills connected to the Pt-4 (6.8 My) sequence boundary in the NW part of the Hungarian Plain

befejeződött annak feltöltése. Mielőtt azonban a progradáció tovább folytatódott volna, kb. 8 M évvel ezelőtt az oldaleltolódásos mozgások aktivizálódtak, és megindult a Pa-3 harmadrendű szekvencia kialakulása. A balos oldaleltolódásos mozgások a mélyzónákban (a Derecskei-árokban) transztenziót, erős kimélyülést, a kiemelt peremterületeken (Biharnagybajom, Szeghalom) transzpressziót eredményeztek, ami a látszólagos (?) kibillenés, a szekvenciák hátrafelé történő kivastagodásának oka lehet. Ez a mélyzónákban az üledékbefogadó potenciál (azaz az akkomodációs tér) erőteljes növekedését idézte elő. Az igen nagy mértékű üledék-képződés először egyensúlyt tudott tartani vele, majd a süllyedés meghaladta az üledékbehordás mértékét.

E szerkezeti mozgások jelentős transzgressziót eredményeztek, a parti síkság és a folyóvízi síkság nagy területei újra víz alá kerültek, az egész rendszer visszalépett a Pa-3 szekvencia lerakódásának transzgresszív fázisában. A legmagasabb vízszintet, a legnagyobb elöntést (MFS) kb. 7,2–7,5 M év közötti időszakban érte el a tó (belten-ger), kialakítva a jellegzetes szekvencia-sztratigráfiai mintázatot, és mivel az üledék-

behordás mértéke még mindig igen jelentős volt, a széles morfológiai self központi részén helyenként 1000 m vastag deltafront rétegsor rakódott le. A hátrafelé billenés/vastagodás azonban nem csak a mélyzónát, hanem az egész K-i területet érintette.

Az integrált-sztratigráfiai vizsgálatok lehetőségeit és konklúzióit mutatjuk be egy szelvénytársítottal (16a, b, c ábra). Jól látható, milyen kapcsolatban állnak egymással a szekvencia-sztratigráfiai, a biosztratigráfiai és a litosztratigráfiai feldolgozások során értelmezett különféle egységek: ciklusok, formációk és biozónák, valamint hogyan jelenik meg ezek hatása az üledékes fáciesekben. Ezen a szelvényen a folyóvízi és deltafront–deltasíksági képződmények határának változásán látszik első sorban a vízszintingadozás hatása.

A Pa–4 szekvenciahatár környékén, kb. 6,8 M év körül, jelentős kompresszió vette kezdetét a medenceperemeken, így a Derecskei árokban is, vagyis megkezdődött a medence inverziója, míg a medencebelsőben (Békési-medence, Makó–Hódmezővásárhelyi-árok) a süllyedés folytatódott. Ez eredményezte a Pa–4 szekvenciahatár kialakulását, és a relatív vízszint igen jelentős mértékű csökkenését a Pannon-medence K-i területein. Ez a kiemelkedő területeken a Pa–3 szekvencia felső részének igen erőteljes erózióját okozta. Ez az erózió differenciált módon zajlott le a partvonalon különböző részein.

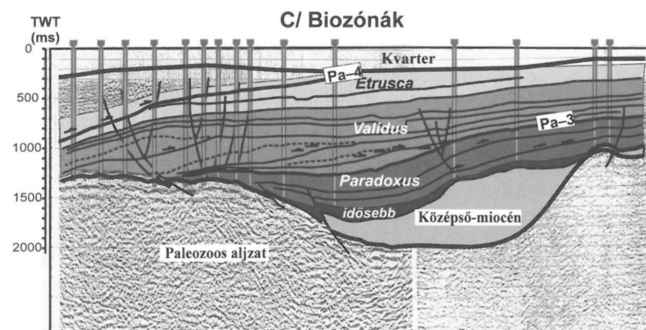
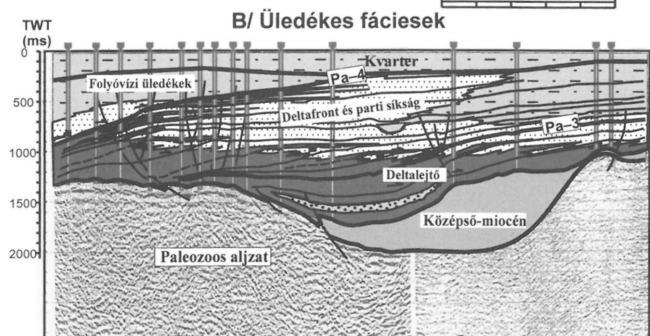
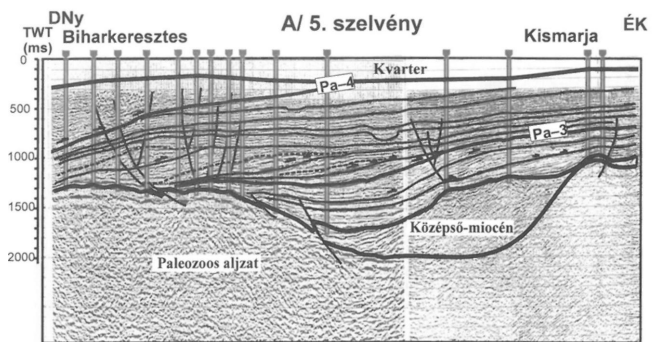
Az Alföld ÉNy-i részén szintén megfigyelhető a deltarétegsor kivastagodása, bár itt inkább aggradáció tapasztalható, egymásbavágódott medrek sorozata egymás fölött, és nem deltafront üledékeké. A szeizmikus szelvényeken szintén követhető ez az erőteljes aggradációval párosuló lassú progradáció a Pa–3 harmadrendű szekvencia rétegsorában. A keleten oly jellegzetes ék alakú reflexióköteg azonban nem látható, tehát itt a kibillenés, a transzgresszióra utaló jegyek a szeizmikus szelvényeken, annak felbontásában nem észlelhetők. Mindazonáltal transzgresszióra utaló nyomok itt is felfedezhetők a fúrási rétegsorokban magasabb szintekben. A transzgresszió és a vízszintcsökkenés mértéke és sebessége azonban sokkal kisebb amplitudójú, így egészen különböző jelenségeket hozott létre, mint keleten. Így a fáciesek térbeli elrendezése, a radikális fáciesváltozások sem jellegzetesek.

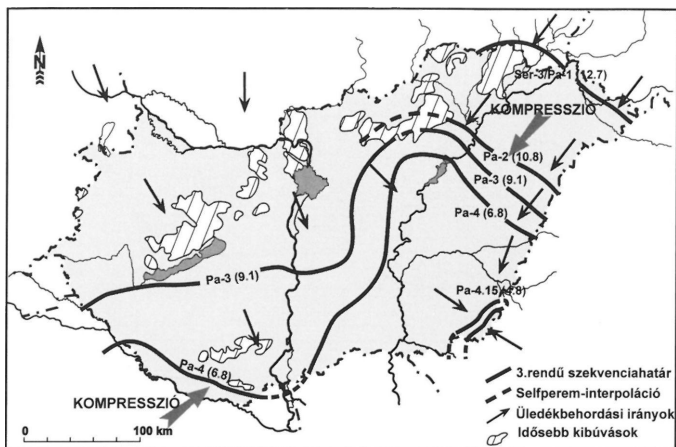
Fúrásokban ÉNy-on inkább aggradáló rétegsorok jellemzőek, a nagyobb deltarendszer nem reagált olyan érzékenyen a relatív vízszintingadozásokra, és a szerkezeti változások sem voltak olyan szélsőségesek és erőteljesek. A lassúbb relatív vízszintcsökkenés mély bevágódó völgyek és kanyonok kialakulását eredményezte a Nyugat-Alföldön.

A delta rétegsor kivastagodása körben felfedezhető az Alföld peremén, és ez egyúttal mindenütt a Zagyvai Formáció folyóvízi rétegsorainak kiemelkedését, illetőleg jelentős elvékonyodását is okozza (17., 18. ábra). Ez a deltafront–deltasíksági kivastagodási zóna folytatódik a Dráva-medence pannóniai rétegsorában is. Kitérképezése, amely tisztán szedimentológiai alapon, fúrási rétegsorok segítségével

16. ábra. → Integrált-sztratigráfiai vizsgálatok összehasonlító elemzése a pannóniai s.l. rétegsorban. A/ szekvencia-sztratigráfia, B/ szedimentológiai értékelés C/ biosztratigráfiai értékelés

Fig. 16 Comparative study on regional profile 5 based on integrated stratigraphic research in the Late Neogene sedimentary succession. A/ sequence stratigraphy, B/ sedimentology, C/ biostratigraphy





17. ábra. A selfperem helyzete a harmadrendű szekvenciahatárok környezetében a Pannon-medence feltöltődése során (VAKARCS 1997)

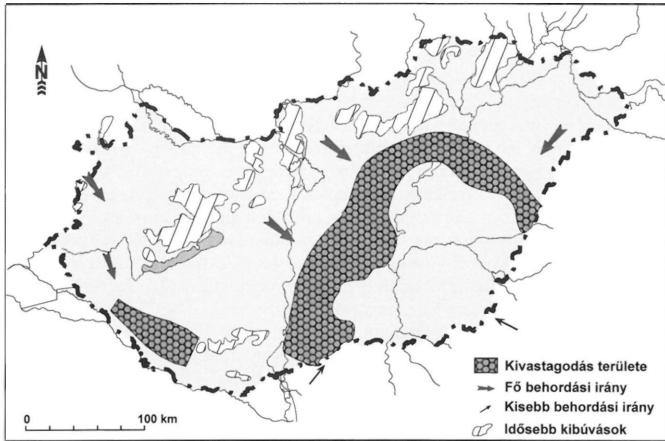
Fig. 17 Isochrons of the shelf-edge of the 3rd order sequence boundaries during the infilling of the Pannonian Basin according to seismic and sequence stratigraphic interpretation (VAKARCS 1997)

történt, rendkívül jó egyezést mutat a Pa-4 szekvenciahatár selfperemének földrajzi elhelyezkedésével, vagyis a Pa-3 és a Pa-4 harmadrendű szekvenciahatárok selfpereme közötti terület elhelyezkedésével (VAKARCS et al. 1994, VAKARCS 1997).

Az üledékes ciklusokat kialakító tényezők a Pannon-medencében

A pannoniai képződményekben gyakran megfigyelhető ciklitás értelmezése az utóbbi másfél évtizedben különböző modellekhez vezetett. POGÁCSÁS et al. (1988, 1994), VAKARCS & VÁRNAI (1991), CSATÓ (1993), és VAKARCS et al. (1994) az Alföld középső és északi részein szeizmikus szelvényeken több diszkordancia felületet azonosított és követett. Ezeket harmadrendű szekvenciahatároknak értelmezték, amelyeket a Pannon-tó vízszintjének medenceméretű relatív változásai hoztak létre. A rendelkezésre álló geokronológiai adatok alapján felvetődött annak a lehetősége, hogy a Pannon-tó vízszintje a globális eusztatikus változásokkal azonos fázisban emelkedett, illetve süllyedt (POGÁCSÁS et al. 1988, 1994; CSATÓ 1993; VAKARCS et al. 1994).

MATTICK et al. (1994) a Békési-medencében másfajta konklúzióra jutottak. Itt csak lokális üledékhányokat figyeltek meg a szeizmikus szelvényeken, amelyek oldalirányú kiterjedése nem haladta meg a 30 km-t. Ezeket deltalebenyek áthelyeződésével magyarázták, és negyedrendű rétegtani ciklusokként értelmezték.



18. ábra. A deltafront-deltasíkság üledékek szedimentológiai vizsgálatok alapján szerkesztett kivastagodási területe, egyben a folyóvízi üledékek kiékelődési területe a magyarországi medenceterületeken, amely szinte teljesen egybeesik a szeizmikus vizsgálatok alapján szerkesztett selfperem-térkép Pa-3 és Pa-4 szekvenciahatárok közé eső területével. Ez a térkép egyik bizonyítéka annak, hogy a Pa-3 szekvencia egy tektonosztratigráfiai ciklust képvisel, és az egyes területeken részleteiben ismertetett megfigyelések nem pusztán lokálisak, hanem regionális jelenségről van szó, amely legalábbis a Pannon-medence területén érzékeltette hatását

Fig. 18 Area of extreme thickening of the deltaic unit, as well as the pinchout zone of the fluvial succession according to sedimentologic investigations based on well-log interpretation. Note the coincidence with the isochrons of the shelf-edge in between Pa-3 and Pa-4 3rd order sequence boundaries. This coincidence gives the evidence that the conclusions of the investigations are regional of a basin scale which can be found all over the Pannonian Basin

Az utóbbi években több kísérlet is történt annak bemutatására, hogy a pannóniai emelet „negyedrendű” rétegtani ciklusait a MILANKOVICH-féle éghajlati ciklusok okozzák (JUHÁSZ E. et al. 1997, 1999; KÖRPÁS-HÓDI et al. 2000; SPROVIERI & SACCHI 1999; SPROVIERI et al. 2003; SACCHI & MÜLLER 2004; HARZHAUSER et al. 2004). A próbálkozások és érvelések mögött egyelőre nem áll megbízható és egyértelmű geokronológiai háttér, elméletileg azonban megalapozottnak látszanak.

A regionális szelvények mentén történő integrált-sztratigráfiai értelmezés folyamán a pannóniai rétegsorban értelmezett üledékes ciklusok eredetének, az azok kialakításban közrejátszó tényezők tekintetében jelen munka során az alábbi következtetésekre jutottunk:

A Pannon-medence alföldi részmedencéiben a fő behordási irányokban, a dőlés-irányú szelvények mentén jól azonosíthatók mind a negyed-, mind a harmadrendű ciklusok. A harmadrendű ciklusokat, a fentebb vázolt vizsgálataink alapján, alapvetően a medencebeli jelentősebb tektonikai mozgások, szerkezeti változások alakították ki. A negyedrendű ciklusok kialakulását azonban alapvetően klimatikus

hatásokra kell visszavezetnünk, melyben több tényező együttes hatása is közrejátszott. Így a háttérterületek, környező hegységek emelkedése, a lehordási területek kőzetminősége, vagyis ennek változása (pl. flis, kristályos, illetőleg vulkáni területek) és a folyók által szállított üledékanyag mennyisége befolyásolhatta még a ciklusok geometriájának alakulását. Ez utóbbi tényező szintén klimatikus hatást tükröz, hiszen csapadékosabb klíma esetén nagyobb a folyók vízhozama, üledékszállító képessége, valamint nagyobb az erózió is a háttérterületeken. Ez utóbbi tényezők szerepe annyiban más, hogy komolyabb időeltolódás szükséges, amíg a folyók által és a háttérterületeken elszennvedett ciklusok változások hatása a medencében érvényre juthat.

Összegezve tehát úgy gondoljuk, hogy tengeri kapcsolat nem lévén a Pannon-medencében, az eusztatikus tengerszintváltozások nem lehettek közvetlen hatással a medencében kialakult ciklusokra. Mivel azonban a harmadrendű eusztatikus tengerszintingadozások a jégsapkák olvadásán, ill. növekedésén keresztül szintén a globális klíma változásától függenek, ezért természetes, hogy bizonyos összhang látszott VAKARCS (1997) vizsgálataiban a globális görbével. Legújabb vizsgálataink alapján a harmadrendű ciklusokat (tehát a hagyományos értelemben vett szekvenciákat), a szerkezeti változások alakították, vagyis hozták létre, míg a negyedrendű ciklusok feltehetően a nagyléptékű MILANKOVICH klímaciklusokkal (illetőleg ezek többszörösével) mutatnak kapcsolatot (100, 200, 400 ezer éves ciklusok).

Kitekintés a Mediterráneumra: korrelációs lehetőségek a Földközi-tenger medencéjével

Régóta foglalkoztatja a kutatókat, hogyan lehetne korrelációs lehetőségeket találni a földközi-tengeri eseményekkel. A messinai krízisnek hatalmas irodalma van, az újabb kutatási eredmények azonban rendre megváltoztatják az aktuális elméleteket. Az érvényes korolásokat és tengerszintingadozási görbéket a tengeri fúrások eredményei alapján próbálják megadni, részben oxigén izotópos vizsgálatok, másrészt a szapropél- és tufarétegek alapján.

A jelenlegi álláspont szerint a messinai események kétszattatúságot mutatnak, megkülönböztetnek alsó, és felső messinai eseményt, és bebizonyították, hogy a messinai krízist tektonikai események sora hozta létre (KRIJGSMAN et al. 1999, HILGEN et al. 2000, 2001, FORTUIN & KRIJGSMAN 2003). Anélkül, hogy itt bármilyen szinten részletekbe bocsátkoznánk, az időbeli korrelációs lehetőségekre szeretnénk egy-két ponton kitérni. KRIJGSMAN et al. (1999) rámutatott, hogy pl. bizonyos délkelet-spanyolországi medencékben, amelyek egykor a Földközi-tenger részei voltak, folytatott vizsgálatok alapján maximális tengerelöntés következett be 7,2 M év körül, majd 6,7 M évvel ezelőtt erős kompressziós eseményeket, és szekvenciahatárt állapítottak meg.

Ez utóbbi két esemény lehetőséget ígér a Pannon-medencebeli rétegsorokkal történő korrelálásra, bármennyire is kételyeink vannak az alföldi koradatokat terhelő hibák nagyságrendjét illetően. Hiszen a vizsgálatok során közel azonos korokat állapítottunk meg: a Pa-4 harmadrendű szekvenciahatárhoz köthető kompresszió 6,8 M év, és az alatta levő Pa-3 MFS (maximális elöntés), vagyis a tárgyalt jelentős transzgresszó kora 7,2–7,5 M évre tehető. Megállapítottuk, hogy a Pa-3 szekvencia egy tektonosztratigráfiai ciklust alkot, amelynek során a Pannon-medence egész magyarországi része szerkezetfejlődése gyökeres változáson ment át.

A korok ilyen egybeesése azt jelentheti számunkra, hogy a Pannon-medencét ért szerkezeti változások (NEMCOK et al 2005) egy nagyobb léptékű, Európa több térségét érintő szerkezeti átalakulás részét képezték. A legújabb vizsgálatok (KRIJGSMAN et al. 1999, HILGEN et al. 2000, 2001, FORTUIN & KRIJGSMAN 2003) alapján a dátumokkal datálják a messinai krízis első fázisának kezdetét.

Következtetések

Az alföldi pannóniai s.l. képződmények integrált-sztratigráfiai vizsgálatának során elemeztük az alföldi pannóniai képződmények harmad- és negyedrendű szekvencia-sztratigráfiai felépítését, különös fontosságúnak találtuk az ÉK-i és ÉNy-i behordási irányokat. Kisebb behordás jellemző Battonya környezetében DK-i irányból. Az egyes egységek rétegtani, szedimentológiai és őslénytani vizsgálata alapján a következő megállapítások szűrhetők le:

1. Az üledékciklusokat kialakító tényezők tekintetében az euszatikus tengerszintváltozások szerepe nem bizonyítható a Pannon-medencében. Az integrált-sztratigráfiai vizsgálatok során egyértelművé vált, hogy a harmadrendű ciklusokat (tehát a hagyományos értelemben vett szekvenciákat) létrehozó relatív vízszintváltozások elsősorban a Pannon-medence rendszer szerkezeti fejlődéséhez köthetők. A negyedrendű ciklusok feltehetően a nagyléptékű MILANKOVICH-féle excentricitás klímaciklusokkal (illetőleg ezek többszörösével) mutatnak kapcsolatot (100, 200, 400 ezer éves ciklusok), melyek kialakulásában azonban több tényező együttes hatása is közrejátszott.

2. Földtani szelvénsorozat mutatja be, milyen kapcsolatban állnak egymással a szekvencia-sztratigráfiai, a biosztratigráfiai és a szedimentológiai-litosztratigráfiai feldolgozások során értelmezett különféle egységek: ciklusok, formációk és biózónák, valamint hogyan jelenik meg ezek hatása az üledékes fáciesekben.

3. Megállapítottuk, hogy a 6,8 és 9,1 M év között képződött Pa-3 harmadrendű szekvencia önálló tektonosztratigráfiai ciklust képvisel, amely rendkívül fontos szerepet játszik a medence fejlődéstörténetében, és jelentős intra-pannóniai szerkezeti mozgások meglétét bizonyítja, ezért e ciklus vizsgálatára külön figyelmet szenteltünk. A szeizmikus szelvények szekvencia-sztratigráfiai, valamint ettől teljesen függetlenül, a mélyfúrások szedimentológiai vizsgálata alapján végzett térképezés egybehangzóan arra enged következtetni, hogy e tektonikai aktivitás nem pusztán lokálisan, hanem az egész Pannon-medence területén regionálisan érvényesült.

4. A Pa-3 harmadrendű szekvencia nagy üledéktömeget, szélsőséges fácieseloszlásokat és komoly szerkezeti változásokat képvisel az Alföld, valamint a Dráva-medence rétegsorában. A deltafront, deltasíkság képződmények rendkívül nagy vastagságot értek el ebben az időkeretben körben a medencében Ennek oka egy jelentős progradációs-retrogradációs ciklus, melynek létrejöttéért a Pa-3 ciklus közepén kiújult oldaleltolódásos szerkezeti mozgások és a jelentős süllyedés a felelős. Ez a ciklus transzgresszív rendszeregységében nagy amplitudójú transzgressziót okozott, elsősorban a K-Alföldön.

5. A ciklust a Pa-4 szekvenciahatár zárja 6, 8 M évben. Ennek során megindult a medence tektonikai stílusának változása, a peremi területeken kompresszió, vagyis

a medence inverziója, mialatt a medence középső részei tovább süllyedtek. E szerkezeti változások nagyon szépen nyomozhatók voltak a nagy vastagságban kifejlődött pannóniai képződmények integrált-sztratigráfiai, szedimentológiai és fejlődéstörténeti vizsgálata során. A szerkezeti mozgások a szekvenciák korolásával és architektúrájának vizsgálatával pontosabban helyezhetők el az időben.

6. A Pa-4 szekvenciahatár előtti és utáni események a K-Alföldön igen nagy mértékű és gyors relatív vízszintesést, ennél fogva nagymértékű eróziót és az üledékes faciesek nagyléptékű eltolódását vonták maguk után.

7. A Ny-Alföldön, az ÉNy-i behordás területén a relatív vízszintcsökkenés mértéke és sebessége kisebb volt, a folyamatok lassúbb lefolyása és kisebb amplitúdója nem okozott olyan drasztikus fáciesváltozásokat. Ebben közrejátszott az is, hogy a nagyobb deltarendszer kevésbé érzékenyen reagált a változásokra. A vízszintcsökkenés után azonban mind keleten, mind nyugaton megváltoztak, illetőleg átalakultak a behordási irányok, a belépő folyók megkerültek a kiemelkedő területeket.

8. A Ny-Alföldön a vízszintcsökkenés következtében jelentős, több 100 m mély és igen széles bevágódott völgyek és kanyonok jöttek létre, amelyek jelenléte szeizmikus és karottázs szelvényeken is nyomozható. A K-Alföldön ilyen méretű völgyeket nem láttunk (legalábbis a vizsgált szelvényhálóban), a ma látható bevágódott völgyek mélysége csak 50-100 m-es nagyságrendű, és több szintben is előfordulnak. Bevágódott víz alatti kanyont egy-két esetben észleltünk a mélyvízi medence-síkságon, mélyen elszakadva a szekvencia „testétől”.

9. A tó feltöltődése a továbbiakban alacsonyabb relatív vízszint mellett folytatódott. Jelentős, közel 1500 m vastag folyóvízi üledéksor rakódott azonban le a pannóniai s.l. legfiatalabb szakaszában a DK-Alföldön. A pliocén során, a tó magyarországi részének feltöltése után még igen jelentős süllyedéssel, a DK-Alföld legmélyebb zónáiban nagy területeken a pliocén-kvarter határig folyamatos üledékképződéssel kell számolnunk, jelentősebb hiatus nélkül. Ezek a területeken a pliocén üledéksor tehát teljes egészében képviselve van.

10. A Mediterráneum felé történő kitekintés alapján táplálunk bizonyos reményeket arra vonatkozóan, hogy a Pa-3 harmadrendű ciklus maximális előntés (MFS) idejére (kb. 7,2–7,5 M év), illetőleg a Pa-4 szekvenciahatár 6,8 M év korát illetően talán korrelálni lehet a mediterráneum egyes részeivel a Pannon-medence fejlődéstörténeti eseményeit. (Például a Mediterráneum Ny-i részével, ahol a kétosztatú messinai krízis első fázisa is e időtájt kezdődött). Ott 7,2 M év körül maximális előntés, és 6,7 M év ezelőtt pedig kompressziós esemény következett be, amelyet egy erőteljes szekvenciahatár jelez. Ez némi reményre adhat okot arra vonatkozóan, hogy a nagyobb léptékű szerkezeti változásokhoz kapcsolódó relatív vízszintváltozások (több körülmény szerencsés egybeesése esetén) korrelációs lehetőség lehet Európa egyes medencerendszerei között, melyeknek a Pannon-medence is részét képezte.

Köszönetnyilvánítás:

A kutatás elvégzéséhez anyagi támogatást az OTKA (T-035168) nyújtott, tudományos és erkölcsi támogatást, valamint intézményi háttérrel pedig a MÁFI és esetenként az ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszéke biztosított számunkra. Köszönettel tartozunk a Mol Rt-nek és az MGSZ-nek a szükséges

adatok rendelkezésre bocsátásáért. Köszönjük Dr. JÁMBOR Áron és Dr. BÉRCZI István gondos lektori munkáját és értékes tanácsait.

Irodalom – References

- BÉRCZI, I. 1988: Preliminary sedimentological investigation of a Neogene depression in the Great Hungarian Plain. – In: ROYDEN, L. & HORVÁTH, F. (eds): *The Pannonian Basin: A Study in Basin Evolution*. – *American Association of Petroleum Geologists Memoir* **45**, 107–116.
- BÉRCZI, I. & PHILLIPS, R. L. 1985: Processes and depositional environments in Neogene deltaic – lacustrine sediments, Pannonian Basin, SE Hungary. – *Geophysical Transactions* **31**, 55–74.
- CSATÓ, I. 1993: Neogene sequences in the Pannonian basin, Hungary. – *Tectonophysics* **226**, 377–400.
- CŠIKY G., ERDELYI Á., JÁMBOR Á., KÁRPÁTNÉ RADÓ D. & KÓRÓSSY L. 1987: A pannóniai s.l. képződmények talpmélység térképe. – MÁFI, Budapest.
- ELSTON, D. P., LANTOS M. & HÁMOR T. 1990: Az Alföld pannóniai (s.l.) képződményeinek magnetosztratigráfiája. – *A MÁFI Évi Jelentése az 1988. évről* I. rész, 109–134.
- ELSTON, D. P., LANTOS, M. & HÁMOR, T. 1994. High resolution polarity records and the stratigraphic and magnetostratigraphic correlation of Late Miocene and Pliocene (Pannonian s.l.) deposits of Hungary. – In: TELEKI, P. G., R.E. MATTICK, R. E. & KÓKAY J. (eds), *Basin Analysis in Petroleum Exploration. A case study from the Békés basin, Hungary*. – Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 111–142.
- FORTUIN, A. R. & KRIJGSMAN, W. 2003: The Messinian of the Nijar Basin (SE Spain). – *Sedimentary Geology* **160**, 213–242.
- GAJDOS I., PAP S., SOMFAI A. & VÖLGYI L. 1983: Az alföldi pannóniai s.l. képződmények litosztratigráfiai egységei. – MÁFI, Budapest, 70 p.
- HARZHAUSER, M., DAXNER-HÖCK, G. & PILLER W. E. 2004: An integrated stratigraphy of the Pannonian (Late Miocene) in the Vienna Basin. – *Austrian Journal of Earth Sciences* **95/96**, 6–19.
- HILGEN F. J., IACCARINO, S., KRIJGSMAN, W., VILLA, G., LANGERIS, C. G. & ZACHARIASSE, W. J. 2000: The global boundary stratotype section and point (GSSP) of the Messinian stage (Uppermost Miocene). – *Episodes* **23/3**, 172–178.
- HORVÁTH, F. 1995: Phases of compression during the evolution of the Pannonian basin and its bearing on hydrocarbon exploration. – *Marine and Petroleum Geology* **12**, 837–844.
- HORVÁTH, F. & CLOETINGH, S. 1996: Stress-induced late-stage subsidence anomalies in the Pannonian basin. – *Tectonophysics* **266**, 287–300.
- JÁMBOR Á. 1978: Új elképzelések a magyarországi neogén tengerek vízének sótartalomváltozásairól. – *MÁFI Évi Jelentése 1976-ról* 261–265.
- JÁMBOR, Á. 1989: Review of the geology of the s. l. Pannonian formations of Hungary. – *Acta Geologica Hungarica* **32**, 269–324.
- JÁMBOR Á., BALÁZS E., BÉRCZI I., BÓNA J., GAJDOS I., GEIGER J., HAJÓS M., KORECZ A., KORECZ-LAKY I., KÖRÖSI-HÓDI M., KÖVÁRY J., MÉSZÁROS L., NAGY E., NÉMETH G., NUSSZER A., PAP S., POGÁCSÁS Gy., RÉVÉSZ I., RUMPLER J., SÜTÖNÉ SZENTAI M., SZALAY Á., SZENTGYÖRGYI K., SZÉLES M. & VÖLGYI L. 1987: General characteristics of Pannonian s.l. deposits in Hungary. – *Annales Instituti Geologici Publici Hungarica* **69**, 155–167.
- JÓSVAI J., NÉMETH A., KOVÁCSVÖLGYI S., CZELLER I., SZUROMINÉ KÖRECS A. 2005: A Zala-medence szénhidrogén kutatásának földtani eredményei. – *Földtani Kutatás* **48/1**, 9–15.
- JUHÁSZ, E., MÜLLER, P., RICKETTS, B. D., TÓTH-MAKK, Á., HÁMOR, T., FARKAS-BULLA, J. & SÜTŐ-SZENTAI, M. 1996: High-resolution sequence stratigraphy and subsidence analysis of the Late Neogene in the Pannonian Basin, Hungary. – *Acta Geol. Hung.* **39**, 129–152.
- JUHÁSZ, E., Ó. KOVÁCS, L., MÜLLER, P., TÓTH-MAKK, Á., PHILLIPS, R. L. & LANTOS, M. 1997: Climatically driven sedimentary cycles in the Late Miocene sediments of the Pannonian Basin, Hungary. – *Tectonophysics* **282**, 257–276.
- JUHÁSZ, E., PHILLIPS, L., MÜLLER, P., RICKETTS, B., TÓTH-MAKK, Á., LANTOS, M. & Ó. KOVÁCS, L. 1999: Late Neogene sedimentary facies and sequences in the Pannonian Basin, Hungary. – In: DURAND, B., JOLIVET, L., HORVÁTH, F. & SÉRANNE, M. (eds): *The Mediterranean basins: Tertiary extension within the Alpine orogen*. – *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* **156**, 335–356.

- JUHÁSZ Gy. 1992: A pannóniai s.l. formációk térképezése az Alföldön: elterjedés, fácies és üledékes környezet. – *Földtani Közlemények* **122**, 133–165.
- JUHÁSZ Gy. 1993: Relatív vízszintingadozások rétegtani–szedimentológiai bizonyítékai az Alföld pannóniai s.l. üledékösszetételében. – *Földtani Közlemények* **123/4**, 379–398.
- JUHÁSZ Gy. 1994: MAGYARORSZÁGI neogén medencérszék pannóniai s.l. üledéksorának összehasonlító elemzése. – *Földtani Közlemények* **124/4**, 341–365.
- JUHÁSZ Gy., MOLENAAR C. M., BÉRCZI I., RÉVÉSZ I., KOVÁCS A. & SZANYI B. 1989: A Békési-medence pannóniai (s.l.) üledékösszetételének rétegtani viszonyai. Stratigraphic framework of the Pannonian s.l. sequence in the Békés basin. – *Magyar Geofizika* **30**, 129–145.
- JUHÁSZ, Gy., POGÁCSÁS, Gy., MAGYAR, I. & VAKARCS, G. 2004: Late-Neogene facies, sequences and basin subsidence in the eastern part of the Pannonian Basin (Hungary). – IAS 2004 Coimbra, Portugal, Abstracts p.155.
- JUHÁSZ, Gy., POGÁCSÁS, Gy., VAKARCS, G. & MAGYAR, I. 2005: Sedimentary evolution and integrated stratigraphy: a key to structural evolution in the Eastern Pannonian Basin, Hungary. – *EGU, Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7, (CD melléklet) EGU05–A–09682.
- KORPÁS-HÓDI, M., NAGY, E., NAGY-BODOR, E., SZÉKELY, K., & Ó. KOVÁCS, L. 2000: Late Miocene climatic cycles and their effect on sedimentation (west Hungary). – In: HART M. B. (Ed.): *Climates: Past and Present*. – *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* **181**, 79–88.
- KRIGSMAN, W., HILGEN, F. J., RAFFI, I., SIERRO, F. J. & WILSON, D. S. 1999: Chronology, causes and progression of the Messinian salinity crisis. – *Nature* **400**, 652–655.
- KRIGSMAN, W., FORTUIN, A. R., W., HILGEN, F. J. & SIERRO, F. J. 2001: Astrochronology for the Messinian Sorbas Basin (SE Spain) and orbital (precessional) forcing for evaporite cyclicity. – *Sedimentary Geology* **140**, 43–60.
- LANTOS, M., HÁMOR, T. & POGÁCSÁS, Gy. 1992: Magneto- and seismostratigraphic correlations of Pannonian s.l. (Late Miocene and Pliocene) deposits in Hungary. – *Paleontologia i Evolució* **24–25**, 35–46.
- LEMBERKOVICS V., BÁRÁNY Á., GAJDOS I., VINCZE M. 2005: A szekvencia-sztratiográfiai események és a tektonika kapcsolata a Derecskei-árok pannóniai rétegsorában. – *Földtani Kutatás* **42/1**, 16–24.
- MAGYAR, I. 1991: Biostratigraphic revision of the Middle Pontian (Late Neogene) Battonya sequence, Pannonian basin (Hungary). – *Acta Geol. Hung.* **34**, 73–79.
- MAGYAR, I. 1995: Late Miocene mollusc biostratigraphy in the eastern part of the Pannonian basin (Tiszántul, Hungary). – *Geologica Carpathica* **46**, 29–36.
- MAGYAR I., GEARY, D. H. & MÜLLER, P. 1999: Paleogeographic evolution of the Late Miocene Lake Pannon in Central Europe. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **147**, 151–167.
- MAGYAR, I., GEARY, D. H., SÜTŐ-SZENTAI, M., LANTOS, M. & MÜLLER, P. 1999: Integrated biostratigraphic, magnetostratigraphic and chronostratigraphic correlations of the Late Miocene Lake Pannon deposits. – *Acta Geol. Hung.* **42**, 5–31.
- MAGYAR I., JUHÁSZ Gy., SZUROMI-KOBEZ A., SÜTŐ-SZENTAI M. 2004. A pannóniai Tótkomlósi Mészmarégy Tagozat kifejlődése és kora a Battonya–pusztaföldvári-hátság környezetében. – *Földtani Közlemények* **133/4**, 521–540.
- MATTICK, R., RUMPLER, J. & PHILLIPS, R. 1985: Seismic stratigraphy of the Pannonian basin, SE Hungary. – *Geophysical Transactions of the ELGI, Special Edition* **31/1–3**, 13–55.
- NEMCOK, M., POGÁCSÁS, Gy. & POSPISIL, L. 2005: Activity timing of the main tectonic systems in the Carpathian–Pannonian region in relation to the rollback destruction of the lithosphere. – In: GOLONKA, J. & PÍCHA, F. (eds): *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources: AAPG Memoir* **84**, Chapter 27
- PLINT, A. G. & NUMMEDAL, D. 2000: The falling stage systems tract: recognition and importance in sequence stratigraphic analysis. – In: HUNT, D. & GAWTHORPE, R. L. (eds): *Sedimentary responses to forced regressions*. – *Geological Society, London, Special Publications* **172**, 1–17.
- PLINT, A. G., MCCARTHY, P. J. & FACCINI, U. F. 2001. Nonmarine sequence stratigraphy: Updip expressions of sequence boundaries and systems tracts in a high resolution framework, Cenomanian Dunvegan Formation, Alberta Foreland basin, Canada. – *AAPG Bull.* **85/11**, 1967–2001
- POGÁCSÁS, Gy. 1984: Seismic stratigraphic features of the Neogene Sediments in the Pannonian Basin. – *Geophysical Transactions* **30/4**, 373–410.
- POGÁCSÁS, Gy. 1987: Seismic stratigraphy as a tool for chronostratigraphy: Pannonian Basin. – *Annales Instituti Geologici Publici Hungarici* **70**, 55–64.

- POGÁCSÁS Gy. & VÖLGYI L. 1982: A Pannon litosztratigráfiai és litogenetikai egységek szeizmikus reprezentációjának vizsgálata Kelet-Magyarországon. – *Magyar Geofizika* **23/3**, 82–93.
- POGÁCSÁS Gy., JÁMBOR Á., MATTICK, R. E., ELSTON, D. P., HÁMOR T., LAKATOS L., LANTOS M., SIMON E., VAKARCS G., VÁRKONYI L., VÁRNASI P. 1989: A nagyalföldi neogén képződmények kronosztratigráfiai viszonyai szeizmikus és paleomágneses adatok összevetése alapján. – *Magyar Geofizika* **30/2–3**, 41–62.
- POGÁCSÁS, Gy., LAKATOS, L., UJSZÁSI, K., VAKARCS, G., VÁRKONYI, P., VÁRNASI, P. & RÉVÉSZ, I. 1988: Seismic facies, elektro facies and Neogene Sequences, Chronology of the Pannonian basin. – *Acta Geol. Hung.* **31/3–4**, 175–207.
- POGÁCSÁS, Gy., MATTICK, R. E., ELSTON, D. P., HÁMOR, T., JÁMBOR, Á., LAKATOS, L., LANTOS M., SIMON, E., VAKARCS, G., VÁRKONYI, L. & VÁRNASI P. 1994: Correlation of Seismo- and Magnetostratigraphy in Southeastern Hungary. – In: TELEKI, P. G., MATTICK, R. E. & KÓKAI, J. (eds): Basin analysis in petroleum exploration. A case study from the Békés basin, Hungary. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 143–160.
- POGÁCSÁS, Gy., MÜLLER, P. & MAGYAR, I. 1993: The role of seismic stratigraphy in understanding biological evolution in the Pannonian lake (SE Europe, Late Miocene). – *Geologia Croatica* **46**, 63–69. Zagreb.
- RÉDLY P. 1988: Szerkezeti viszonyok vizsgálata, a fáciesövek tektonikai összefüggései. – In: JUHÁSZ K., MILOTA K., RÉDLY P., SZENTGYÖRGYI K. 1988: A Biharnagybajom–Földesi kutatási területek közzétett, rétegtani és szénhidrogénföldtani feldolgozása. – Kutatási jelentés, SZKFI 46–78.
- RÉDLY P. 1990: Az oldalelőldódás rendszerek kompressziós/transzpressziós zónáihöz kapcsolódó szénhidrogén csapadékozás lehetőségei és korlátai alföldi példákban. – *Alkotó Ifjúság Pályázat*, 68 p.
- RÉVÉSZ I. 1980: Az Algyő–2 telep földtani felépítése, üledékföldtani heterogenitása és ősföldrajzi viszonyai. – *Földtani Közlöny* **110**, 512–539.
- RÉVÉSZ I., BÉRCZI I. & PHILLIPS, R. L. 1989: A Békési-medence alsópannoniai üledékképződése. – *Magyar Geofizika* **30**, 98–113
- ROYDEN, L. H. & HORVÁTH, F. (eds) 1988: The Pannonian Basin – A study in basin evolution. – *AAPG Memoir* **45**, 1–394.
- SACCHI, M. & MÜLLER, P. 2004: Orbital cyclicity and astronomical calibration of the Upper Miocene continental succession cored at the Iharosberény–I well site, western Pannonian basin, Hungary. – In: D'ARGENIO, B., FISCHER, A. G., PREMOLI SILVA, I., WEISSERT, H. & FERRERI, V. (eds): Cyclostratigraphy: Approaches and case histories. *SEPM Special Publication* **81**, 275–294.
- SACCHI, M., HORVÁTH, F. & MAGYARI, O. 1999: Role of unconformity-bounded units in the stratigraphy of the continental record: a case study from the Late Miocene of the western Pannonian Basin, Hungary. – In: DURAND, B., JOLIVET, L., HORVÁTH F. & SÉRANNE, M. (eds): The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogene. – *Geol. Soc. London. Spec. Publ.* **156**, 357–390.
- 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 southwestern Hungary). – *Geologica Croatica* **56/1**, 101–122.
- SPROVIERI, M. & SACCHI, M. 1999: Correlation between Paratethys and Mediterranean events during the Tortonian: a working hypothesis. – *Neogene Newsletter* **6**, 60–70.
- SPROVIERI, M., SACCHI, M. & ROHLING, E. J. 2003: Climatically influenced interactions between the Mediterranean and the Paratethys during the Tortonian. – *Paleoceanography* **18**, 1034.
- SÜTÖ-SZENTAI M. 1991. Szervesvázú mikroplankton zónák Magyarország pannoniai rétegösszletében. Újabb adatok a zonációról és a dinoflagelláták evolúciójáról. – *Őslénytani Viták* **36–37**, 157–200, Budapest.
- SZUROMI-KÖRECS, A., SÜTÖ-SZENTAI, M. & MAGYAR, I. 2004: Biostratigraphic revision of the Hód-I well: Hungary's deepest borehole failed to reach the base of the Upper Miocene Pannonian Stage. – *Geologica Carpathica* **55/6**, 475–485.
- SZALAY Á., SZENTGYÖRGYI K. 1979: Adatok a szénhidrogénkutató fúrások által feltárt medencebeli pannon képződmények litológiai tagolódásának ismeretéhez trendelemzés alapján. – *MTA X. osztály közleményei* **12/4**, 401–423.
- SZILÁGYI I. 2005: A Mol Rt szénhidrogén kutatási tevékenysége napjainkban. – *Földtani Kutatás* **42/1**, 4–8.
- TARL, G., HORVÁTH, F. & RUMPLER, J. 1992: Styles of extension in the Pannonian basin. – *Tectonophysics* **208**, 203–219.
- TELEKI, P. G., MATTICK, R. E. & KÓKAI, J. (eds) 1994: Basin Analysis in Petroleum Exploration. A case study from the Bekes basin, Hungary. – Kluwer Academic Publishers, 330 p.
- THAMÓNÉ BOZSÓ E., JUHÁSZ Gy., Ó. KOVÁCS L. 2006: A pannoniai s.l. üledékek nehézsaványtani összetétele és változásának tendenciái az Alföldön. – *Földtani Közlöny* (in print).

- TÓTHNÉ MAKK Á. 2003: szekvencia-sztratigráfiai vizsgálatok a Duna–Tisza köze középső és déli részének késő miocén rétegsorában (Sequence stratigraphy of Late Miocene deposits of the Danube–Tisza interfluvium). – Unpubl. PhD thesis, ELTE Budapest, 156 p.
- TÓTH-MAKK, Á. (in rev): Sequence stratigraphy of the Late-Miocene series of the Kiskunhalas–Mélykút region, Pannonian Basin, Hungary: How do core, seismic and electric log data fit together.
- UJSZÁSZI, K. & VAKARCS, G. 1993: Sequence stratigraphic analysis in the south Transdanubian region, Hungary. – *Geophysical Transactions* 38, 69–87.
- VAIL, P. R., AUDEMARD, F., BOWMAN, S. A., EISNER, P. N. & PEREZ-CRUZ, C. 1991: The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology – an overview. – In: EINSELE et al. (eds): *Cycles and events in stratigraphy*, 617–659, Springer.
- VAKARCS, G. 1997: Sequence stratigraphy of the Cenozoic Pannonian Basins, Hungary. – PhD thesis. Rice University, Houston, Texas, 514 p.
- VAKARCS, G., VAIL, P. R., TARI, G., POGÁCSÁS, Gy., MATTICK, R., E. & SZABÓ, A. 1994: Third-order Middle Miocene–Early Pliocene depositional sequences in the prograding delta complex of the Pannonian basin. – *Tectonophysics* 240, 81–106.
- VAKARCS, G. & VÁRNAI, P. 1991: A Derecskei-árok környezetének sztratigráfiai modellje.. – *Magyar Geofizika* 32, 38–50.

Kézirat beérkezett: 2005. 11. 28.