

A Balaton környékén előforduló Pannon-tavi üledékek földtana I.

Gilbert-típusú delta a pannóniai Kállai Kavics Tapolca környéki előfordulásaiban

SZTANÓ Orsolya¹, MAGYARI Árpád² és TÓTH Péter^{1,3}

¹ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c (sztano@ludens.elte.hu)

²Magyar Állami Földtani Intézet, 1143 Budapest, Stefánia u. 14. (magyari@mafi.hu)

³jelenlegi címe: Schlumberger, Data and Consulting Services, Dr. Iacob Felix Str. 63-69., 011033, Bucharest, Romania
(ptoth@bucharest.oilfield.slb.com)

Gilbert-type delta in the Pannonian Kálla Gravel near Tapolca, Hungary

Abstract

The main objective of this study is to determine the depositional mechanisms, the environment and controlling factors producing the architecture of the Kálla Gravel, which unconformably overlies the SW rim of the Transdanubian Range. The gravel crops out in large, actively quarried and small abandoned pits near to Lesenceistvánd and Uzsabánya. Three main architectural units can be distinguished based on facies, dip of strata and surfaces of top lap, down lap and/or erosional truncation.

The lowermost 4–15 m-thick unit is built up of 0.2–0.8 m thick, steep (20–30°), southward dipping beds of clast-supported gravel or sandy gravel. Pebbles commonly show a(t)b(i)-type imbrication. The facies of the middle units are the same, but their respective thicknesses vary between 1–5 m and show significantly different dip directions towards N, NE. The uppermost unit is made up of horizontally-bedded sand, pebbly sand and sandy pebble.

The steeply-dipping gravelly units are interpreted as foresets of a shallow-water, Gilbert-type delta prograding — in the case of the thick, lower unit — southward, and for the middle units strangely sideward to north-east. The horizontal beds of the upper unit were deposited on the flat-lying delta-plain. These units represent different phases of delta development. The lowermost units reveal the first step of a relative lake-level rise, followed by deltaic progradation due to a high rate of sediment input. The upper unit is mainly aggradational, indicating continued lake-level rise; the latter was again balanced by sedimentation. Although many small-scale deformational structures (slumps, slides, dewatering) can be seen, these are connected to rapid deposition. Evidence of synsedimentary faulting has not been exposed so far. Therefore the reconstructed, relative lake-level changes are interpreted as an indication of basin-wide subsidence combined with climatically induced (increased humidity) water-level rise.

Keywords: Lake Pannon, Gilbert-type delta, lake-level rise, progradation, aggradation

Összefoglalás

Munkánk célja terepi szedimentológiai vizsgálatokkal a Dunántúli-középhegység délnyugati peremén jelentős diszkordanciával települő Kállai Kavics Formáció üledései viszonyai, környezete, valamint a közettest felépítését befolyásoló tényezők meghatározása volt. A képződmény legnagyobb feltárásaiban, Lesenceistvánd melletti, valamint Uzsabánya környéki kavicsbányákban, felhagyott homokbányában végeztünk részletes megfigyeléseket. A rétegek dőlésviszonyai, üledékföldtani jellegei és az ezeket elválasztó eróziós felületek alapján három kisebb építőegységet különítettünk el.

A 4–15 méter vastag legalsó egységet 0,2–0,8 méteres meredeken dél felé dőlő, szemcsevázú vagy homok mátrixú, gyengébben osztályozott kavicsrétegek építik fel. A kavicsok nagy része a(t)b(i)-típusú fejlett zsindelességet mutat. A középső egységet, 1–5 méter vastag ugyancsak meredek, 20–30° dőlésű kötegekből álló kavics alkotja, melyben a klaszterek nagyobbik része szintén zsindeles. A nagyobb egységek elkülönítésének legfőbb indoka az alsótól eltérő dőlésirány, mely a középső egységben É–ÉK-i. A legfelső egységet horizontális településű homok, kavicsos homok és mátrixvázú kavics váltakozó rétegei építik fel.

Az alsó két egység meredek dőlésű kavicsos egységei sekélyvízi Gilbert-típusú delta dél és meglepő módon északkelet felé épülő frontjának üledékeiként értelmezhetők. A vízszintesen rétegzett kavics és homok rétegei a deltasíkság lapos térszínén ülededhetnek le. Az egységek a delta kiépülésének különböző fázisait képviselik. Az első kettő jelzi, hogy egy kisebb relatív tőszintemelkedést követően a nagymértékű üledékbehordás miatt progradáció

(regresszió) következett be. A harmadik egység a tovább folytatódó tőszintemelkedéssel lépéstartó feltöltődést (aggradáció) mutat. A terepi vizsgálatok során gyakoriak voltak a gyors lerakódáshoz köthető deformációs szerkezetek (csúszások, csuszamlások, vízkiszökések), de eddig nem sikerült közvetlen bizonyítékot találni üledés közben zajló lokális szerkezeti mozgásokra. Így a relatív tőszint változást — egyenlőre — a Pannon-medence egészét érintő általános süllyedéssel és klímatis hatással (csapadékosabb éghajlattal) magyarázhatjuk.

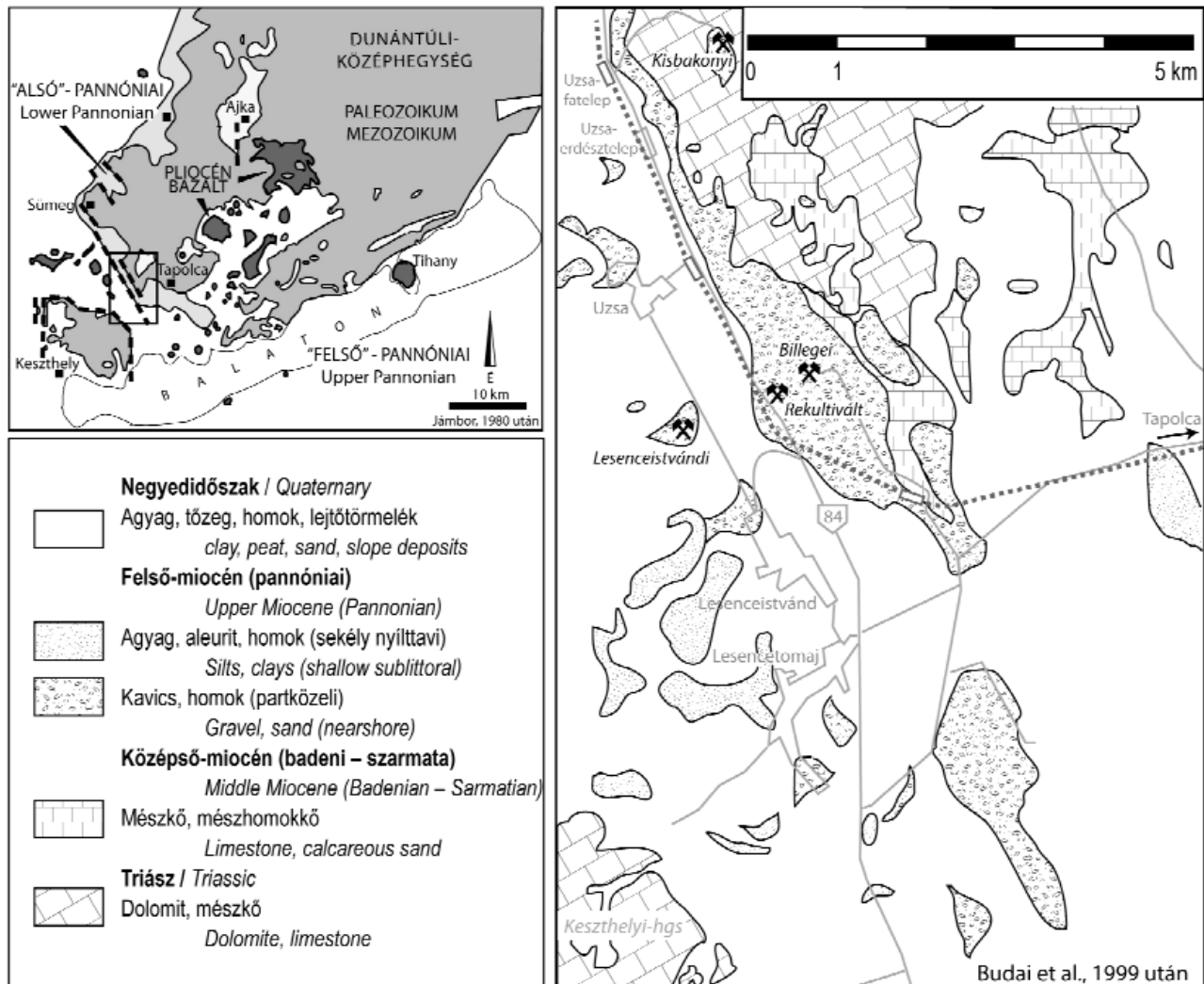
Tárgyszavak: Pannon-tó, Gilbert-típusú delta, vízszintemelkedés, progradáció–aggradáció

Bevezetés

A Dunántúli-középhegység déli, délnyugati peremén jelentős diszkordanciával mezozoos vagy középső-miocén kőzetekre települő, pannóniai tóparti-tóperemi környezetben képződött üledékek találhatóak (1. ábra), melyeket a nagy mennyiségű, kerekített, koptatott, áttetsző kvarckavics tartalma miatt „gyöngykavics”-nak is neveznek (JÁMBOR 1980).

Ma a vizsgált kőzettesteket a Kállai Formációba soroljuk. A Bakony, majd később a Balaton-felvidék térképezése

(JOCHÁNE EDELÉNYI 1984, BENCE & BUDAI 1987, BUDAI et al. 1999) során leírták kőzettani jellegeiket, kapcsolatukat a káli-medencei rokon képződményekkel. Fúrási adatok, geoelektromos szelvények és néhány újabb lelőhely faunájának kora alapján települési helyzetét, rétegtani kapcsolatait CSILLAG et al. (2010) elemezték. E szerint a Tapolcai-medence északi peremén, valamint a Keszthelyi-hegység keleti peremén késő-szarmata-kora-pannóniai vetőkkel kiemelt alaphegységi blokkokra települ transzgresszívén, míg a medence-belsőben a konglomerátummal részben egyidős Száki Agyagmárgára regresszívén. Tehát kialakulását rela-



1. ábra. A vizsgált feltárások és a pannóniai képződmények vázlatos elterjedése a Tapolcai-medence környékén (BUDAI et al. 1999 után)

Figure 1. The location of studied outcrops and the simplified geological map of the Tapolca Basin (after BUDAI et al. 1999)

tív vízszintemelkedés és jelentős mértékű üledékbehordás határozhatta meg.

A kvarc mellett kvarcittfélék, különböző színű tűzkö-kavicsok, alárendelt mennyiségben metahomokkő és egyéb metamorf összetevők, csekély mennyiségben mezozoos karbonátok, valamint változó mennyiségű, kitűnően osztályozott, tiszta kvarchomok is található az összletben. A Kállai Kavics két kifejlődési típusát különítették el: a limonitos kötőanyagú tömböket tartalmazó „billegei kavicsot” (JÁMBOR 1980) illetve a kovás kötőanyagú kőzettesteket tartalmazó káli-medencei változatot. A kavicsösszlet limonitos cementációja a Sümeg–Tapolcai-törés közelében gyakori. JÁMBOR (1980) szerint a vas először pirítként vált ki, majd később alakult át limonittá. A 84-es út menti bányában a rekultiváció előtt hatalmas markazitos cementációjú konglomerátumbörcök voltak láthatók. Közvetlenül a felszíni oxidáció hatására markazitból gyakran képződik kénsav, mely azóta a területen kialakított tó vizét szennyezi.

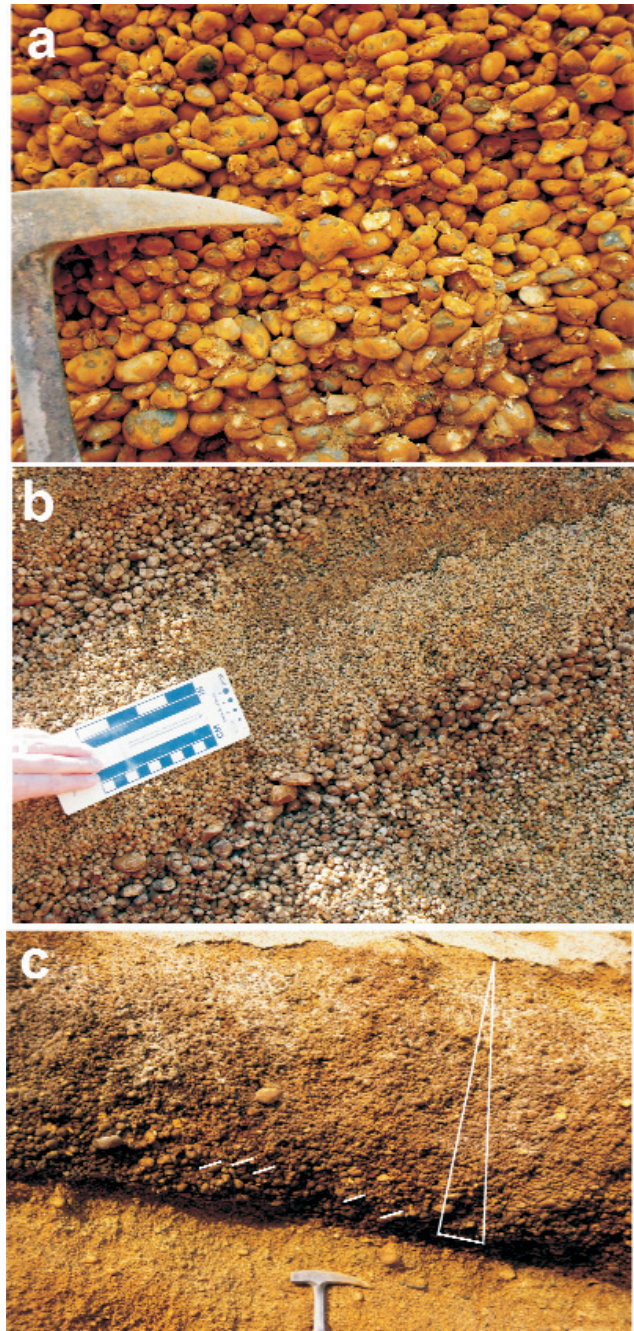
Bár a különböző előfordulási területeken a kavics- és homoktestek anyaga nagyfokú hasonlóságot mutat, addig szedimentológiai jegyeik eltérőnek tűnnek. Ez részben vastagságukból és feltártsági viszonyaikból is eredhet. JÁMBOR (1989) szerint „a pannóniai medencében emelkedő sziget-hegységek” peremén zajló transzgresszió termékei az abráziós kavics, hullámverés által többszörösen áthalmazott homok és a lagúnákban ülepedett homok. A feltűnően érett kavicsanyagot a Bakony akkoriban még kiemelt szárazulati térszínéről lepusztuló Csatkai Formációból származtatja (JÁMBOR 1980, BENCE & BUDAI 1987). Ezért felmerült annak a lehetősége is, hogy a káli-medencei kőtegereket alkotó kavicsos összlet folyóvízi képződmény (BIHARI 1984). Ezzel szemben MAGYAR (1988), BUDAI et al. (1999), valamint BABINSZKI et al. (2003) szerint a káli-medencei homok képződési környezete erősen mozgott vizű, sekély öböl fővenypartja-hullámbázisa közötti térség, mely SZTANÓ (1995) felvetése szerint, meredek dőléssel települő durvahordalékú deltákkal váltakozott. Célul tűztük ki a legjobban feltárt Tapolca környéki kőzettestek őskörnyezetének és képződési viszonyainak pontos meghatározását. Mivel a durvahordalékú delták kialakulása nagyon gyakran aktív törésekkel szabdaltságot medenceperemekhez kötődik (cf. GAWTHORPE & COLELLA 1990), ezért munkánk során kerestük a színszediment deformációra utaló jelenségeket is.

A kavicsösszlet litológiai jellegei

A Kállai Formációt Lesenceistvánd környékén (billegei kavicsbánya, lesenceistvándi homokbánya és a 'rekultivált bánya' a 84 út mentén), valamint Uzsától északkeletre (kiskakonyi bánya) tanulmányoztuk (1. ábra). Négyféle fácies-típust különíthetünk el, melyeket a domináns szemcseméret, a szövet, az osztályozottság és másodlagosan a szín és a cementáltság különböztet meg egymástól.

1. fácies: szemcsevázú, jól osztályozott, vörösbarna, mátrixmentes kavics (2. ábra, a). Az alapanyag teljes hiánya

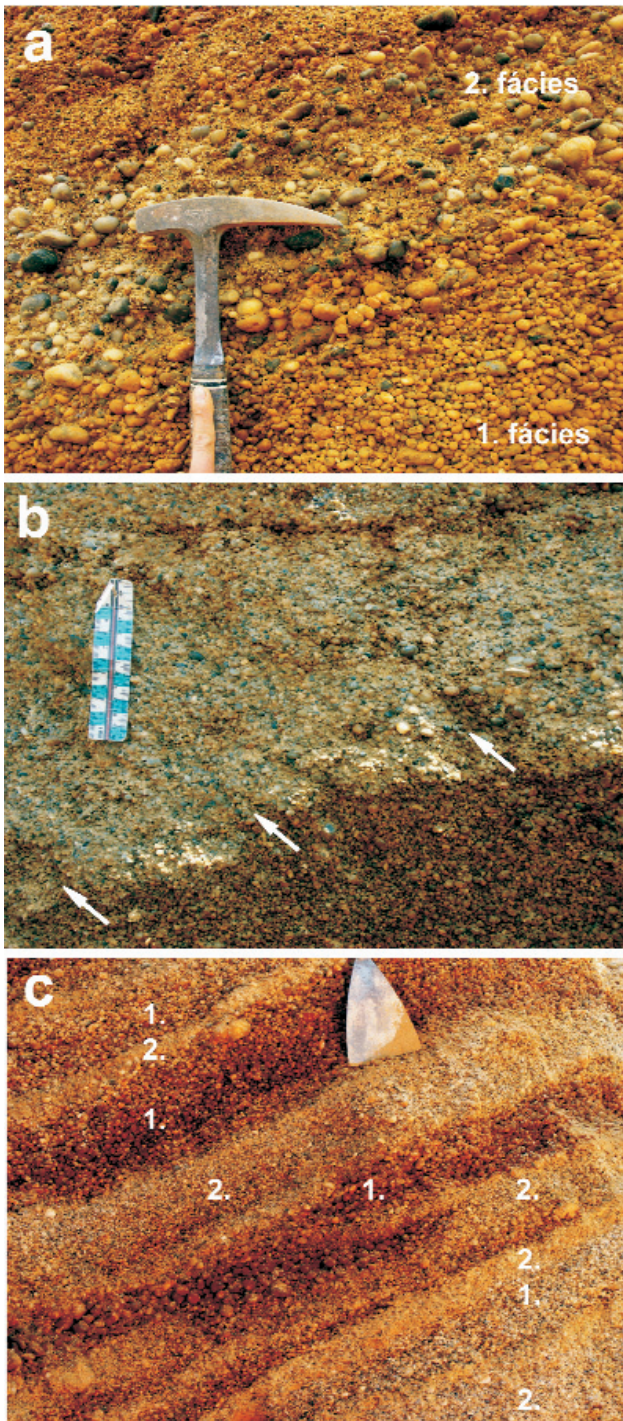
miatt szemmel látható, jelentős porozitású képződmény, melynek hézagait a vándorló vasas oldatokból kicsapódott cement sem tudta elzárni. Színe élénk vörös, narancs-barna



2. ábra. a) Szoros illeszkedésű, mátrixmentes, szemcsevázú kavics az 1. fácies-típusból. A kavicsok felszínén vékony limonitos bevonat van, amely a kavicsok érintkezési felületeinél hiányzik, „foltos-pöttyös” megjelenést eredményezve. A kavicsok gyakran repedezettek, valamilyen nagyobb, szerkezeti mozgáshoz kötődő vagy jelentősebb betemetődés révén létrejövő nyomástól. b) Különböző szemcseméretű, kitűnően osztályozott, szemcsevázú kavics meredeken dőlő rétegei. c) Normál gradált szemcsevázú réteg, alsó harmadában zsindeyes kavics elrendeződéssel

Figure 2. a) Clast-supported, matrix-free, open-framework gravel in facies 1. The pebbles are coated by a thin limonitic veneer missing at the pebble contacts resulting their leopard-type dyeing. Pebbles are commonly jointed indicating large enough stress either by structural movements or by significant burial depth. b) Steeply dipping beds made up of clast-supported well sorted gravel. c) Normal grading and imbrication (in lower portion of bed) in clast-supported gravel

az erős limonitos átítatódástól. Ahol a kavicsok érintkeztek, ott hiányzik a limonitos festődés, sőt a karbonát anyagú kavicsokon gyakran nyomásoldódásos mélyedések lát-



3. ábra. a) Darakavicsos, gyengén osztályozott kavics (2. fácies) települése mátrixmentes aprókavicsra (1. fácies). b) Rosszul osztályozott szemcsevázú szürke, kavics, amelybe az alatta levő limonitos kavics valószínűleg vízkiszökés során injektálódott. c) Meredeken dőlő gyengén (2. fácies) és jól (1. fácies) osztályozott, szemcsevázú vékony kavicsrétegek váltakozása. A szövet és a másodlagos festődés összefüggése egyértelmű

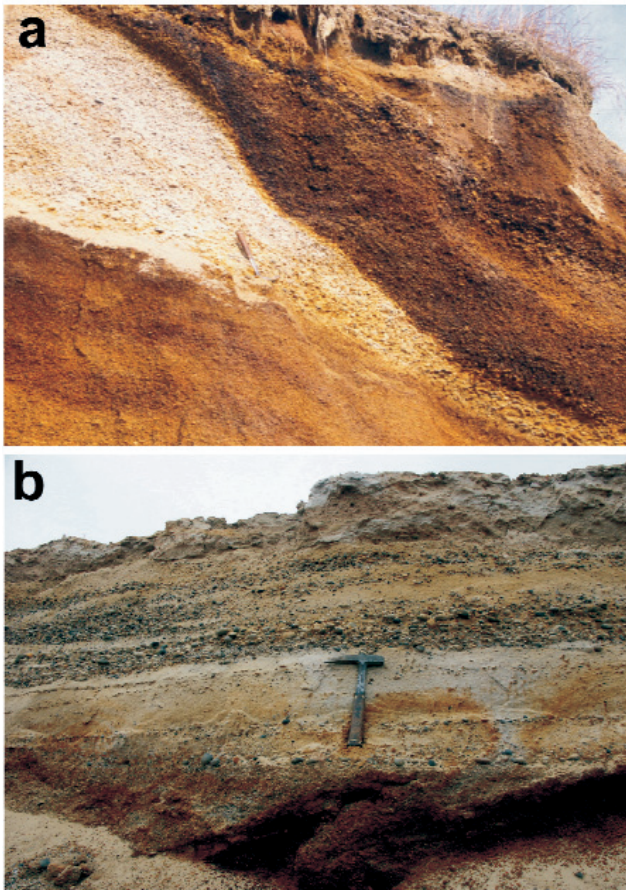
Figure 3. a) Poorly sorted granular pebble (facies 2) on matrix-free fine gravel (facies 1). b) Clast-supported, poorly sorted grey gravel partly injected by the underlying limonitic gravel due to water escape. c) Alternation of steeply dipping clast-supported poorly-sorted (2 facies) and well-sorted (1 facies) gravel beds. Connection between grain fabric and postdepositional dyeing is evident

hatók, mely a jelenleg felszínközeli összlet jelentősebb betemetődésére vagy töréses tektonikához vezető feszültségre utalhat (pl. GRATIER et al. 1999). A pliocén vulkáni szerkezetek vizsgálatával kimutatott, ma hiányzó kb. 200 méternyi pannóniai–pliocén üledék (vö. MARTIN & NÉMETH 2004) ehhez nem biztosít elegendő rétegtérhelést, így ennél lényegesen vastagabb összlet lerakódásával, majd a vulkanizmust megelőző lepusztulásával kellene számolnunk. A „rekultivált” bányában a kavicsok közti nyílt térben markazit kristályok illetve kenes sárga „virágzás” volt látható. Általában laza, cementálatlan üledékként van jelen, de egyes zónákban nagyon kemény blokkokká cementálódott — itt színe csokoládébarna, a pórufolyadékáramlás során olyan redoxfront alakulhatott ki, hogy nagy mennyiségű Fe-Mn-tartalmú cement tudott kicsapódni. A kavicsok kiválóan kerekítettek, átmérőjük 0,2 cm-től 12 cm-ig változik, leggyakrabban 0,7–0,8 cm. Ez a litofácies mindig meredek dőlésű rétegekben jelenik meg, melyek vastagsága 10–50 cm között változó (2. ábra, b). Gyakori a normál gradáció, de legalábbis a legnagyobb kavicsok a rétegek alsó részén található gyakran irányított vagy zsindeyes helyzetben (2. ábra, c). Az imbrikáció iránya a réteg dőlésével ellentétes vagy horizontális, az egyes szemcsék hossz tengelyei párhuzamosak a dőlésirányukkal.

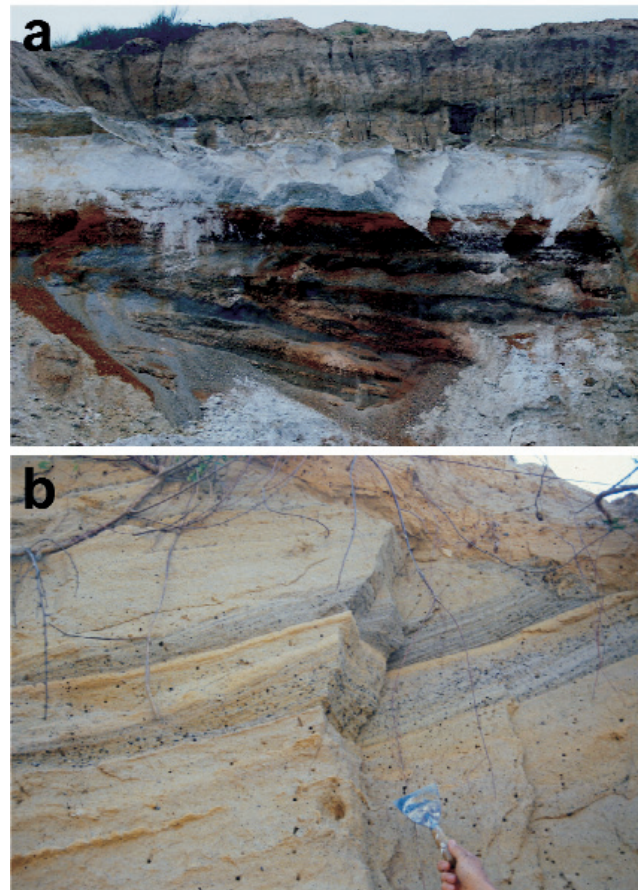
2. fácies: Szemcsevázú, rosszul osztályozott, szürke színű kavics (3. ábra). Az előzőhöz hasonlóan a meredek dőlésű rétegeket alkotja, de a rétegek vastagsága gyakran nagyobb, elérheti az 1–1,5 m-t is. Az egyes rétegek anyaga kifejezetten gyengén osztályozott, noha a kavicsfrakción belül maradt. A gyenge osztályozottságból eredően porozitása az előzőnél jóval kisebb, limonitosodás nem jellemző. Az egyes rétegek határán megjelenhet egy-egy vékony homokréteg is.

3. fácies: Apróhomok mátrixú kavics (4. ábra). A homoktartalomtól függően előfordul szemcsevázú változata, ahol a homok csak a kavicsok közti rést tömi el. Ahogy növekszik a homok mennyisége, úgy válik az üledék mátrixvázúvá, sőt helyenként inkább kavicsos homokká. Minél nagyobb a homok részaránya, annál világosabb szürke az üledék, sosem cementált (4. ábra, a). Az 1. faciessel összehasonlítva úgy tűnik, hogy még a viszonylag csekélyebb homoktartalom is gátolta az oldatvándorlást, így a limonitos cementációt, de még a gyengébb festődést is. Ez a kőzet-típus ritkábban, de megjelenik meredek dőléssel is. Leggyakrabban azonban a horizontális településű felső rétegek között található (4. ábra, b). Ilyen helyzetben arasznyi méretű keresztrétegzés is előfordul benne.

4. fácies: fehér, kavicsmentes, jól osztályozott, aprószemcsés homok (5. ábra), mely a vízszintes településű felsőbb helyzetű rétegekben uralkodó. A billegei bánya északi falán és a kisbakonyi bányában is jól követhető szintet alkotott (5. ábra, a). A „rekultivált” bányában gyakori volt, a 84-es úttól nyugatra található lesenceistvándi bányában ez volt az uralkodó litológiai típus, még a meredek dőlésű rétegek is ebből épültek fel (5. ábra, b). Gyakorlatilag a káli-medencei üveghomok előfordulásokkal azonos fáciesű képződmény.



4. ábra. a) Fehér, homok mátrixú (3. fácies) és barna, mátrixmentes kavicsrétegek kiékelődése. b) Vízszintes településű szürke, homokos kavics-, kavicsos homokrétegek váltakozása a meredeken dőlő limonitos kavics felett. A felső homokos kavics lapos szögben keresztregéztett a kalapács szintjében
Figure 4. a) White gravel with sandy matrix (facies 3) is pinching out on the slope and is overlain by brown, matrix-free limonitic gravel. b) Horizontal beds of grey sandy gravel and pebbly sand above strongly dyed limonitic gravel of steep dip. Low angle pebbly foresets are seen behind the hammer



5. ábra. a) Vízszintes településű, 2 m vastag, fehér aprószemcsés homok (4. fácies) réteg a kisbakonyi bányában. b) Meredek homok, kavicsos homok homlokúrétegek a lesenceistváni homokbányában

Figure 5. a) Horizontally bedded, 2m thick, fine-grained white sand (facies 4) in the Kisbakonyi Mine. b) Large sandy foresets with superimposed small-scale cross-bedding of pebbly sand in the Lesenceistváni sand-pit

A kavicsösszlet geometriája

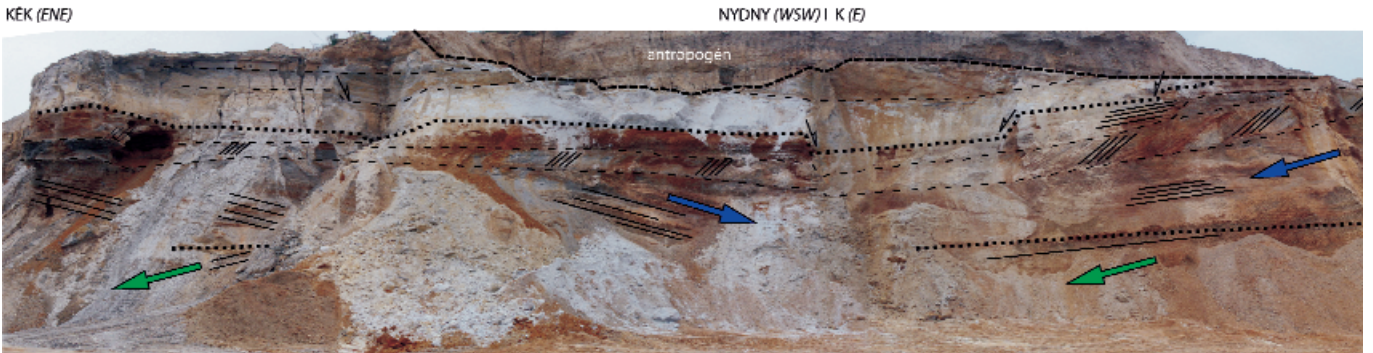
A vizsgált képződményt a nagy méretű bányafalakon látható lelapoldási felszínnek kisebb, hasonló, de nem teljesen azonos településű és dőlésszögű, szöveti jellegzetességű egységekre bontják.

A kisbakonyi kavicsbányában, az aktív fejtés miatt részletesen észlelni, szelvényezni, csupán egy kisebb szakaszon lehetett, ám az azonos dőlésű egységek geometriai viszonyai megfigyelhetők voltak. A bánya peremén valószínűleg vetővel kiemelt helyzetben bukkan elő a triász fekvő, melyre vékony tarkaagyaggal a durvaszemcsés összlet települ (6. ábra). A bányában alul uralkodóan darakavicsból álló kisebb köteggel kezdődik a rétegsor — mely alatt néhány méterrel már ott a triász. Ezt követi a képződmény zömét alkotó durvakavics összlet, mely egy kb. 15 m vastag meredek déli dőlésű rétegsort alkot. A bányaművelés előrehaladtával nyilvánvalóvá vált, hogy ez maga is összetett,



6. ábra. A kisbakonyi bányában felszínre bukkan a triász fekvő, melynek egyetlen felszínén tarkaagyag, majd a vizsgált kavicsösszlet következik

Figure 6. The Triassic basement is cropping out in the Kisbakonyi Mine. It is overlain by variegated clays followed by the Pannonian gravel

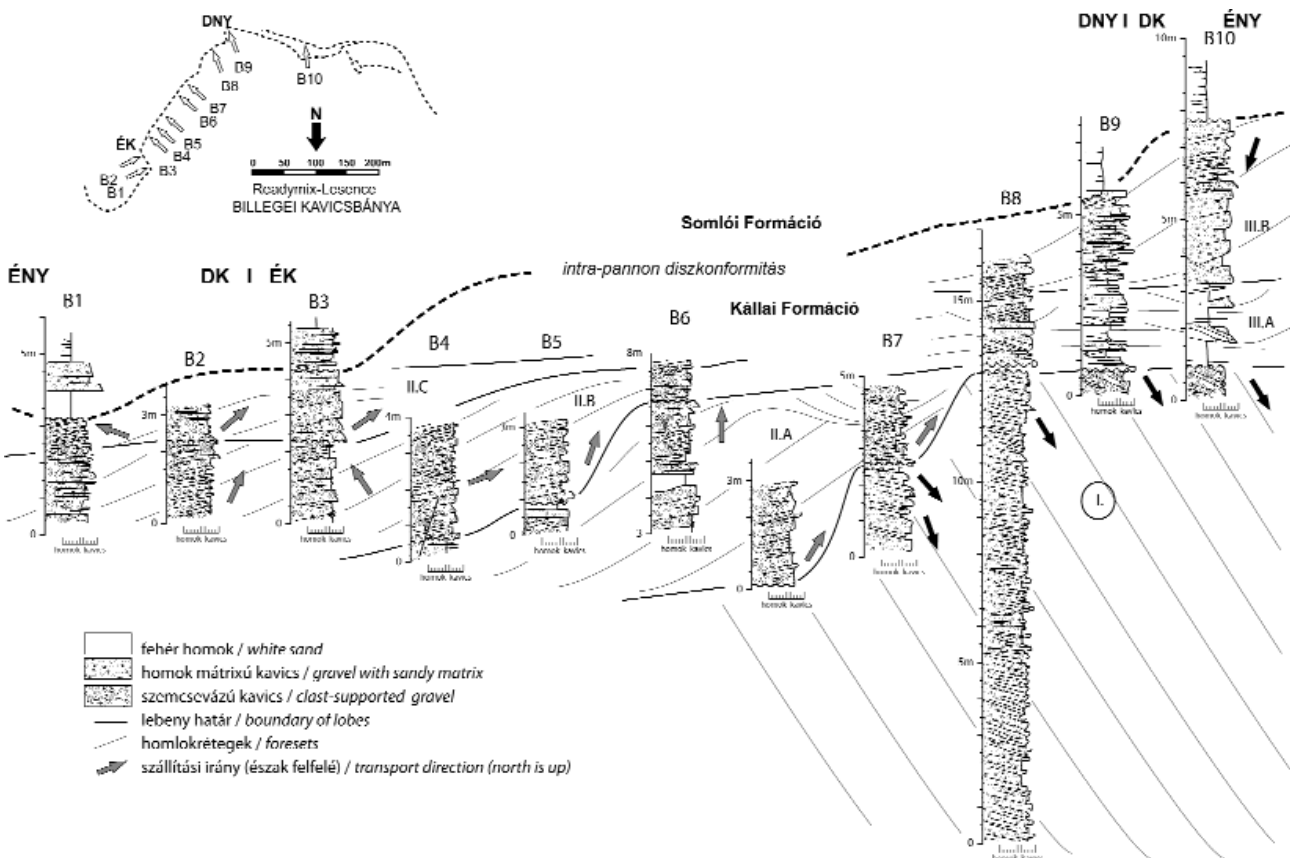


7. ábra. a) Felül a vízszintes fehér homok, közepén a meredeken dél felé dőlő nagy vastagságú kavicsösszlet, legalul egy kisebb DK-i dőlésű sorozat a kisbakonyi bányában. kisebb vastagságú, meredek szögben épülő köteg is a fehér homok alatt. Gyakoriak az üledékképződéssel egyidős vetők, melyek a fehér homok feletti kavicsos homokban
 Figure 7. b) The main southward dipping large foresets are underlain by a small SE dipping unit and overlain by the horizontally bedded white sand in the Kisbakony Mine. Due thin unit with steep SE dip appears. Small syndepositional faults, older than the white sand are common

kissé eltérő irányban dőlő, oldalirányban kivékonyodó testekből épül fel. Felette éles felülettel horizontálisan települő 2–3 m vastag kavics-homok rakódott le (7. ábra).

A billegi bányában az egymást követő években különböző metszetekben, több száz m hosszú ÉK–DNY, ÉNy–DK

és DNY–EK csapású falakon lehetett a települési viszonyokat tanulmányozni, a déli oldalon részletes üledékföldtani szelvények felvételére is lehetőség adódott (8. ábra). Az alsó egységek meredek (10–30°) szögben előreépülő rétegekből, míg a legfelső egység vízszintes településű rétegekből áll.

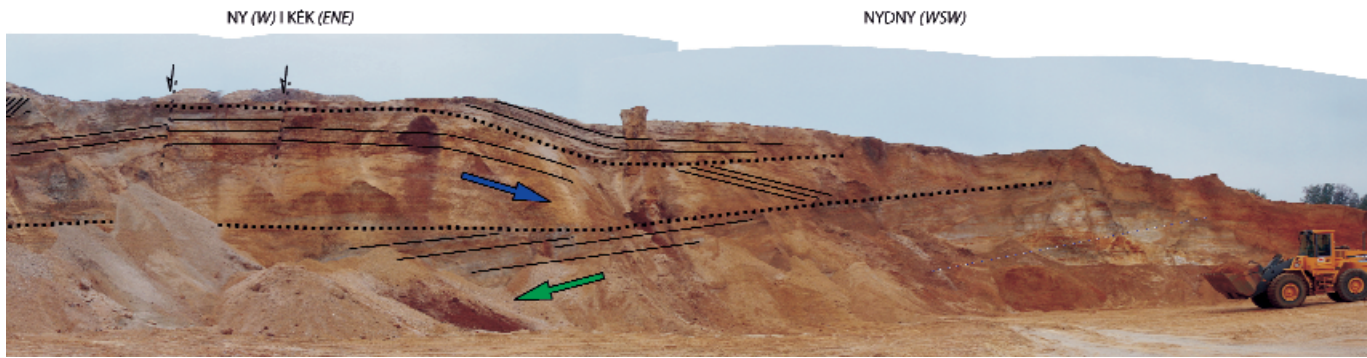


8. ábra. A billegi kavicsbánya üledékszelvényei és azok korrelációja (2001)

A vastag nyílak az egyes kötegekben mért dőlésirányokat, azaz a közettestek kiépülésének, vándorlásának irányát mutatják. A bánya délnyugati oldalán látható a DK-i déli dőlésű, minimum 13 m vastag alsó egység (I.). A délkeleti oldalon főleg az előbbire éles lelapulódási felszínekkel települő 3–8 m vastag K, ÉK-i dőlésű kötegek (II. A–C) figyelhetők meg. Mindkét sorozat szemcse- és mátrixvázú kavics, homokos kavics, homokrétegek váltakozásával épül fel. A meredek dőlésű kötegek egyes helyeken felfelé összefogazódnak a vízszintes rétegekkel (III. A), másutt éles eróziós felszín választja el az I–II. és III. egységeket. A kavicsösszlet fedője eróziós diszkonform módon települő fiatalabb pannóniai aleuritos homok (Somló F.).

Figure 8. Sedimentary logs and their correlation in the Billege gravel pit (observations in 2001)

Dip direction of foresets, indicating direction of progradation are shown by the thick arrows. Unit I is at least 12 m thick and foresets dip to SE. On the other side of the quarry 3–8 m thick Unit II A–C dipping to E, NE is downlapping over flat erosional surfaces. Both units are built up of clast- to matrix supported gravels and sandy pebble. Steep foresets (I and II) may continue upwards as horizontal topsets (III A) or may be sharply, erosionaly overlain by the topsets. The Källa Gravel is unconformably overlain by younger Pannonian silty sand (Somló F.)

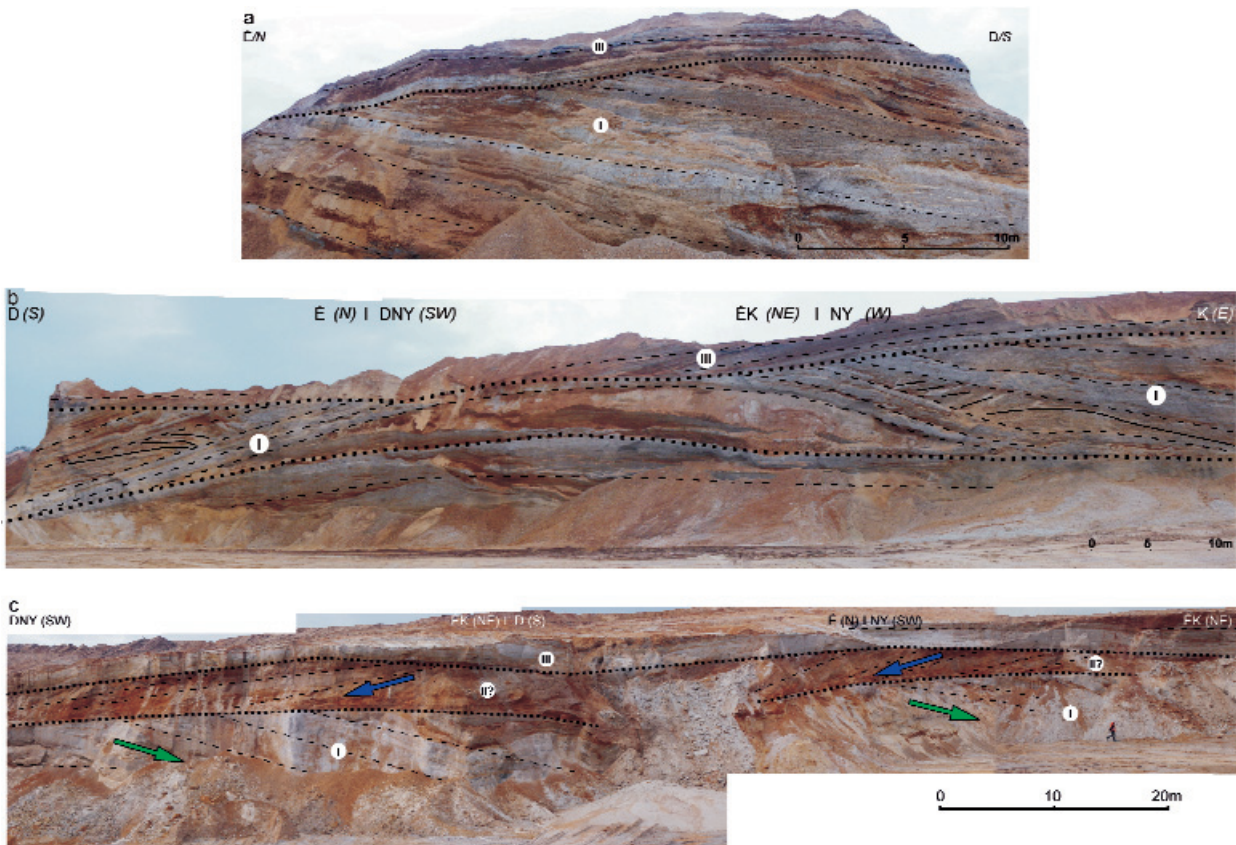


A kb. kelet-nyugati csapású bányafal kanyargása miatt áldőlésben kelet, illetve nyugat felé lelapolódni látszanak a meredek déli dőlésű rétegek (b.). Megfigyelhető egy már nem okoztak deformációt

to gentle bendings of the quarry wall the main southward dipping unit is seen with apparent dip, showing downlapping to E and W in strike section. Below the white sand a relatively

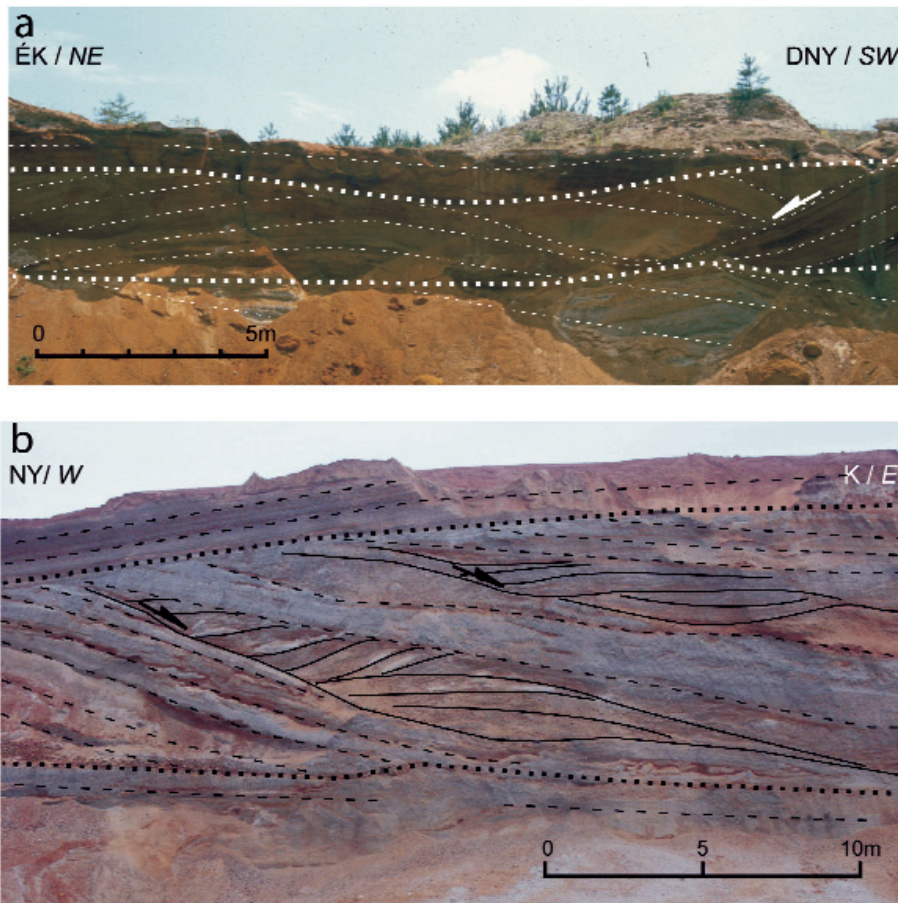
Egy-egy sorozaton belül a rétegdőlés iránya és szöge csak kissé változó, az egymást követő rétegek közel párhuzamosak, köztük csak kisebb lelapolódások, kiékelődések vannak. A bánya észak- és délnyugati oldalán a monoton délies — DNy–DK között változó — dőlésű egység (I.)

tanulmányozható (9. ábra, a, b), míg a bánya délkeleti részén erre 3–8 m vastagságban K, ÉK-i dőlésű kötegek (II. A–C, 8. ábra) települnek éles lelapolódási felszínekkel. A fejtés során a bánya északkeleti oldalán is előtűnt egy kisebb, kb. 100–120 m széles, 0–4 m vastag, az I. és III. egységek között



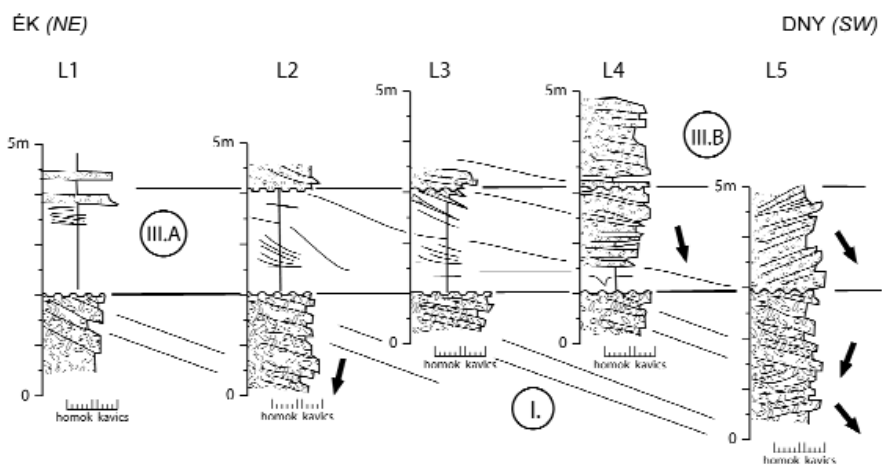
9. ábra. a) A billegei bánya északnyugati részén a meredek szögben délre dőlő vörösbarna kavics, homokos kavics és szürke homok alkotják a delta homlokrétegeit (I.), melyek felett vízszintes tetőrétegek (III.) települnek. Itt nincsen köztés, eltérő irányban vándorló (II.) deltalebeny. b) A bányafal irányának változásával a DK fele épülő meredek rétegek közel dőlésirányú (széleken) és csapásirányú (középen) metszete is látható. A monoton dőlésű sorozat egy legalább 150 m széles test. c) A II. egységgel valószínűleg egykorú, de azzal nem összefüggő, délre progradáló kisebb sorozat alakult ki a bánya északkeleti végén, az I egység délkelet fele dőlő szárnya felett, III. alatt

Figure 9. a) The foresets (I) of the Gilbert delta are steep south-dipping beds of reddish brown gravel, sandy pebble and grey sand, overlain by horizontal topsets (III) at the northwestern part of the pit. Minor lobes prograding to opposite directions are missing here. b) Dip of the SE dipping large foresets seen in 3D as the wall of the pit changes its direction. This lobe was at least 150 m wide. c) Above the SE dipping wing of Unit I and below Unit III a third entity prograding to S appears. It is seemingly coeval with Unit II, but comprises another independent lithosome



10. ábra. a) Az ÉK-i dőlésű II. egység rétegeit íves eróziós felszín, egy csuszamlás talpa metszi. Erre meredek DNY dőlésű rétegek támaszkodnak (B7 szelvény, 8. ábra), melyek a köteg lábánál lankás dombban folytatódnak. b) Hasonló geometriával visszafelé dőlő rétegek sorozata, melyet „normális” településű homlokrétegek követnek. A meredek kavicsos-homokos lejtő megcsúszásával, suvadásával jön létre az eróziós felszín és a lejtőlábi „hupa”, a „hepe” mélyedés alulról felfele haladó kitöltésével áll vissza az eredeti, rézsűszöghez közeli lejtő

Figure 10. a) Steep NE-ward dipping foresets of Unit II are cut by a listric erosional surface, the base of a slump scar. A small hump at the toe of the slumped beds is overlain by oppositely (SWward) dipping backsets. b) Large backsets intercalated by foresets. The curved erosional surface, the hump at the toe and the oppositely dipping back-fill is generated during slides of the steep gravelly foresets



11. ábra. Üledékes szelvények a „rekultivált” kavicsbányában

A déli dőlésű szemcsézű kavics (I.) lenyesett felszínére vízszintes fehér homok, kavicsos homok települ (III. A). A bánya déli oldalán ezek a horizontális rétegek lehajlanak, meredekké válnak, fokozatosan nő a kavics tartalmuk. Legfelül a homokos kavics meredek rétegeinek a lelapódása (III. B) figyelhető meg. A jelkucsot lásd a 8. ábrán

Figure 11. Sedimentary logs in the recultivated gravel pit

Above the southward dipping clast-supported gravel (I) horizontally bedded white sand, pebbly sand (III. A) follows. These beds are gradually turned into pebbly foresets and are overlain by steep downlapping beds of sandy pebble (III. B). For legend see Figure 8

települő, ám déli dőlésű sorozat (9. ábra, c). Az I. és II. egységek egyaránt limonitosan festett-cementált szemcsevázú és kavicsos-homokos mátrixú, nem cementált szürke kavicsrétegek váltakozásával épülnek fel. Az I-ben azonban hosszabb sorozatban (kiépülési irányban több 10 m-en át) találunk uralkodóan mátrixvázú, ezt követően szemcsevázú szakaszokat, míg a II. egységre főleg a szemcsevázú szövet a jellemző. A meredek dőlésű kötegek dőlésszöge felfelé gyakran csökken, ekkor összefogazódnak vízszintes rétegekkel (III. A). Ez a kis vastagságú II. egység egyes kötegei között is esetenként megfigyelhető (8. ábra, B2 szelvény). Leggyakrabban azonban az I–II. és III. egységet nemcsak a dőlésbeli különbség, hanem éles eróziós felszín is elválasztja. Ezen az eróziós felületen egy szemcsényi vastagságban a legdurvább kavicsok, hömpölyök helyezkednek el.

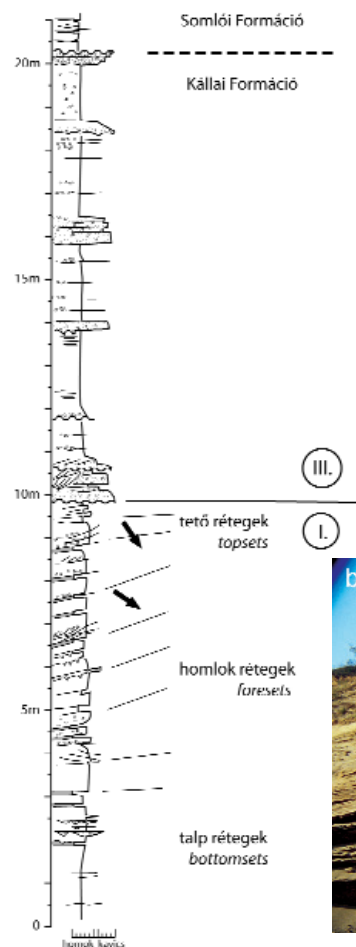
A meredek dőlésű rétegek lehetnek vastagságtartó vagy kivékonyodók, átlapolódók. Ilyenkor egy-egy arasznyi – méteres lencse elvékonyodásával a rátelepülő következő lencse, lencsék sorával áll helyre az eredeti rétegvastagság (3. ábra, c). A lencsék kavicsainak zsindelyessége mindig jól fejlett, b-tengely szerinti, a meredek dőléssel ellentétes irányú. Főleg a II. egység rövidebb lejtőjű lelapoló rétegeiben figyelhető meg, hogy a lelapolódástól felfelé haladva dőlésirányban is csökken a szemcseméret, nemcsak a rétegzésre merőlegesen. Ugyancsak a meredek dőlésű rétegsoron belül kisebb flexurákat, dőlésirányú elvoncsolódásokat is láthatunk. Elsősorban a II. egység köteghatárait követő deformációs jelenségek is meglehetősen gyakoriak, keveredés, injektálódás látható mátrixvázú és szemcsevázú kavics határán (3. ábra, b) vagy durvahomok-darakavicsban egyszerű redőződés is előfordul.

Egy nagyságrenddel nagyobb — néhány méteres —, határozott körvonalú, több réteget érintő deformációs jelenség is megfigyelhető néhány helyen. Akár az I., akár a II. egységbe tartozó meredek rétegeket íves, kisebb szögben hajló eróziós felszín nyesi. Ennek aljánál buckaszerű, közel vízszintes rétegek láthatók, ezek felett következik a fő dőlésiránnyal ellentétesen, letről-felfelé, azaz a szállítási irányhoz képest visszafelé építkező rétegsort, gyakran fokozatosan csökkenő dőlésszöggel (10. ábra). A visszafelé dőlő sorozattal nagyjából kiegyenlítő lejtőn az újabb rétegek a korábbiakkal párhuzamosan folytatták a lerakódást.

A Billegei bányában és a mellette levő rekultivált bányában a legfelső egység (III.) laterális változékonysága is megfigyelhető volt. Az északi, északkeleti oldalon a horizontális kavics, homokos kavics és szürke homok vastagsága 5–10 m. A felső egységben kis rétegvastagság, 6–20 cm vastag keresztarétegzések, elnyúlt vékony lencsék, sekély eróziós mélyedések jellemzőek. Délnyugaton azonban ezek folytatásában megjelennek a 3–5 m vastag lelapoló, szintén déli dőlésű és nagyobb kavicsstartalmú rétegek (8., 11. ábra).

A lesenceistváni homokbánya az előzőektől nyugatra, uralkodóan homokos kifejlődésben mutatja az összletet (12. ábra). Alul vastag horizontális rétegek, e felett fokozatos dőlésszög növekedéssel szigmoidális morfológiájú meredeken délre dőlő rétegek, majd vízszintes homok-kavics váltakozó összelete található. Az I. egység középszemcsés-durvaszemcsés homokból áll, csak nagyon kevés elszórt aprókavicsot tartalmaz a rétegek bázisán, melyek között cm vastagú aleuritlenczék is megjelennek. Az egyes rétegek gyakran maguk is 10–20 cm vastag keresztarétegzett kötegekből állnak (5. ábra, b). A rétegek mentén előfordulnak nyomfossziliák, apró homok kitöltésű vertikális járatok. Erre nagyon határozott eróziós felszínnel települ a — III. egységgel azonosított — horizontális településű fedő, mely keresztarétegzett kavics, homok, kavicszinóros és síklemes homok váltakozó ciklusaiból áll.

A lesenceistváni homokbányában, de Billegén is több helyen látható volt a kavicsösszlet fedője, eróziósan települő



12. ábra. a) Üledékes szelvény a lesenceistváni homokbányában. Alul vízszintes, középen ívesen hajló, meredek déli dőlésű rétegek (I.), melyek felett ismét vízszintes homokrétégek következnek (III.). A felső egységben a fehér homok kavicslencsékkel, rétegekkel váltakozik. b) Sigmoidális homokrétégek és vízszintes talprétegek a lesenceistváni homokbányában

Figure 12. a) Sedimentary log of a sand pit near Lesenceistváni. The Gilbert-type delta is constructed of horizontal, steep sigmoidal (I) and horizontal sandy, pebbly beds (III). b) Sigmoidal foresets and horizontal topsets in the Lesenceistváni sand pit



hullámosan sávosan sárgára festett, aleurit betelepüléssel homok, melyet, bár ősmaradványokat nem találtunk, a Somlói Formációba sorolhatunk (vö. BUDAI et al. 1999). Tehát a Kállai és Somlói Formációk között egy több méter mély szintkülönbségű, azaz jelentős reliefű intra-pannóniai eróziós felület, diszkonformitás van.

Képződési folyamatok

A 10–30°-ban dőlő rétegek szövete és szemcseméret-változásai árulkodnak a képződési folyamatokról, melyek mindegyike a rézsűszöghöz közeli meredek lejtőhöz kötött. A szemcsék méretcsökkenése rétegen belül felfelé (gradáció), a jó osztályozottság, valamint az egyes rétegekben a dőlésirányú, egykori lejtőn lefelé történő szemcseméretnövekedés gravitációs tömegmozgásokra utal. Meredek lejtőkön végbemenő laza szemcselavinákban, elsősorban még a nem tömeges viselkedés a legjellemzőbb. A méret szerinti osztályozódás oka, hogy a nagyobb tömegű szemcsékre, nagyobb erő hat, így azok a lejtő aljára érve messzebbre gurulnak kisebb társaiknál (NEMEC 1990). Minél hosszabb egy lejtő, annál kifejezettebb ez a lejtő menti osztályozódás. Ez a folyamat nemcsak szemcselavinákban, hanem tömegmozgással haladó szemcseelegy (pl. ütközés mozgatta szemcsefolyás) szegélyén és orrán is megfigyelhető (MAJOR & VOIGHT 1986, MAJOR 1998). A tömegesen induló mozgás során ébredő nyíróerők a kavicsok leghosszabb, a tengelye szerinti irányítottságot (DAVIES & WALKER 1974, ALLEN 1984, HUGHES & DRUITT 1998), míg a lejtőlábi gurulás elsősorban a középső, azaz b-tengely szerinti zsindelességet hoz létre (RUST 1972, DAVIES & WALKER 1974.). A billegei bányában a dőlésirányú szemcseméretnövekedés és a b-tengely szerinti zsindelesség is egyformán gyakori, így szemcselavinák gyakori lejtős folyamatok lehetnek. Szemcsefolyások, melyek során a szemcseközi ütközések és a mozgás során végbemenő rostálódás (ti. a nagyobb szemcsék közti résben „kihullanak” az apróbbak) hozzatták létre a kitűnő osztályozottságú vékony mátrixmentes kavicsrétegeket (vö. 2. ábra, b; 3. ábra, c). Nagysűrűségű kavicsos zagyarak inkább csak a hosszabb, mélymedencékbe futó lejtőkön tudnak kialakulni, hiszen ezekhez kellő keveredés és vízfelvétel kell. Kifejlődésük után azonban lerakódásra csak a lejtő lábánál, vagy agyagtartalmuktól függően attól sokkal távolabb kerül sor (POSTMA 1984, NEMEC 1990, MUTTI 1992, KIM & CHOUGH 2000). Ilyen eredetű rétegeket a tanulmányozott bányákban nem láttunk. Annál gyakoribbak azonban a nagy homoktartalmú kavicsos rétegek, melyek keletkezésének módja leginkább törmelékfolyás lehetett. Az eredetileg jól osztályozott homokba keveredett kavicsokat viszonylag nagy kavicskoncentráció esetén is hatékonyan szállíthatja a plasztikus reológijú homokfolyás.

A lejtős anyagszállítás meggyőző bizonyítékai a csuszamlások is. A lejtőbe harapó ívelt, vagy egyenesen eróziós felszín, az ezek folytatásában lerakódott lejtőszögtől eltérő dőlésű rétegek (10. ábra), vagy a környezettől eltérő

gyenge osztályozottságú rétegek keletkezhetnek csuszamlásokkal. A csuszamlások pályája lehet viszonylag keskeny, vagy akár több 10 m széles is, ezt csak csapásirányú szelvényben lehet eldönteni. Ugyanez igaz a csuszamlási fülkék méretére is, melyeket eltérő szemcseméretű, dőlésű vagy szemcseszerkezetű anyag tölthet ki. A lejtőiránnyal ellentétes dőlésű „hátrarakott rétegek” a csuszamlási pálya alján, a lejtőn vagy annak lábánál feltorlódtott üledéktömeg lejtő felé néző oldalán halmozódnak fel (cf. COLELLA et al. 1987, NEMEC 1990, POSTMA 1984). A csuszamlásokhoz kapcsolódva rétegek elnyíródását, flexura szerű meghajlását, redőszerű rátorlódását is megfigyelhetjük.

Az előzőektől teljesen eltérő folyamatok nyomai láthatók a vízszintes településű felső rétegekben. A fehér homok jó osztályozottsága miatt üledékszerkezeteket alig lehet felismerni. A kis rétegvastagság, a nagyon kis méretű eróziós formák, a váltakozó szemcseméret, a kis méretű keresztarétegzés, ritkán a homok síklemezessége viszonylag sekély, mérsékelt sebességű, ritkán gyors vízáramlások vagy hullámozás révén alakulhatott ki.

Környezeti értelmezés

A kisbakonyi és billegei bányák szállítási irányba eső É–D-i, a billegei, a rekultivált és a lesenceistvándi bánya a különböző üledékesi egységek oldalirányú változókonyságát bemutató K–Ny irányú szelvényre fűzhető föl (1. ábra), melyek egységesen értelmezhetők egy Gilbert-típusú delta kiépülésével.

Delták olyan képződmények, ahol szárazulati üledék-szállító rendszer (folyó, folyók hálózata, hegylábi törmelékfolyás stb.) állóvízbe (tenger, tó) rakja üledékét, „kittüremkedő” és rendszerint folyamatosan előreépülő partvonallal. Utóbbi mértékű erősen függ a medencében ható folyamatok (hullámverés, tengerjárás) erejétől, ugyanis ezek képesek a medencébe jutott üledéket a torkolattól jelentős távolságba elszállítani. A delták ugyanakkor, mint medenceperemi rendszerek érzékeny jelzői az egykori vízszintváltozásoknak, s így a tektonikai mozgásoknak, éghajlatváltozásoknak is. Delták különösen osztályozott tartják számukra a durvaszemcsés hordalékkal (kavics, homok) táplált formákat, melyek rendszerint viszonylag kis térfogatú, kis kiterjedésű, sekély vagy mélyvízben kialakuló közzettestek. Hullám-bázis körüli vagy annál kissé nagyobb vízmélység esetén jellemző a meredek dőlésszögű deltafront-deltalejtő, ekkor nevezzük Gilbert-típusúnak a deltát (vö. NEMEC & STEEL 1988, NEMEC 1990, POSTMA 1990, KLEINHANS 2005). Ilyen delták gyakoriak tavakban, ugyanis a folyóvíz és a befogadó medence víztömege azonos sűrűségű (homopiknális), — ezért a torkolatban a fenékhordalék gyorsan lerakódik, nem terül szét nagy távolságra, meredek dőlésű durvahordalékú front és a lebegtetett frakcióból finomszemcsés deltaláb alakul ki. Ilyen a névadó GILBERT (1885 in POSTMA 1990) által leírt Bonneville-tavi pleisztocén delta is. Tengeri környezetben is kifejlődhetnek meredek frontú delták, noha ott az édesvíz sós vízre területe általában a finomszemcsés

hordalék messzire szállításának kedvez. Ha nagy az üledékbehordás mértéke, ha elhanyagolható a hullámverés és a tengerjárás pusztító hatása, továbbá a part meredek topográfia, — vetőkkel-eltolódásokkal formált, tektonikailag aktív (ORI & ROVERI 1987, COLELLA et al. 1987, GAWTHORPE & COLELLA 1990, DORSEY et al. 1995, MALARTRE et al. 2004, PASCUCCI 2006), vagy a szárazföldi jégtakaró pereménél (MARTINI 1990) vagy fjordfőnél (CORNER et al. 1990, HELLE 2004) húzódik, — a durvaszemcsés hordalék meredek, intenzíven progradáló fronttal-lejtővel halmozódik fel. A Gilbert-delták kialakulását általában a meredekebb medenceperemekenél víz alatti hordalékkúpok képződése előzi meg (NEMEC & STEEL 1988, NEMEC 1990). A feltöltődéssel az uralkodó szemcseméretnek megfelelően beálló rézsűszög megjelenése után a deltalejtő elkezd előreépülni, miközben kialakul a vízszinten elterülő deltasíkság is (PRIOR & BORNHOLD 1990). A relatív vízszintváltozások és az üledékbehordás arányának függvényében váltakozik a progradáció és az aggradációval kísért progradáció, azaz a deltasíkságon csak átfut az üledék vagy a deltasíkság maga is épül felfelé.

Delták jellemzően hármas tagolódásúak. A durvatörmelékes delták részei a gyakran egy feltárásban áttekinthető kis méret miatt külön névvel illetjük: az elődeltát talprétegek, a deltalejtőt (frontot) a homlokrétegek, végül a deltasíkságot a tetőrétegek építik fel. A tetőrétegek közel vízszintesek, sekély hullámverés építette formák és/vagy a szintén sekély folyómedrek, mederzátványok anyaga alkotja. A homlokrétegek alakja lehet szigmoidális, azaz a tetőrétegekből fokozatos dőlésszög növekedéssel alakult, míg a talprétegekbe dőlésszög csökkenéssel megy át. A homlokrétegek lehetnek ferdek, azaz felülről lenyesettek, ezt okozhatja normál regresszió esetén a síksági vízfolyások mederfenéki eróziója, vagy eróltetett regresszióval járó szárazra kerülés, vagy akár a hullámverés transzgresszióhoz kötődő eróziója (ULICNY 2001, SORIA et al. 2003). Jellemző a meredek, szemcsemérettől függő, 20–35° dőlés, szemcseméret-változástól és kismértékű dőlésszög/dőlésirány-változás eredményezte rétegzettség, gyakori gradáció. Ugyanakkor előfordulhatnak vastag masszív rétegek is. Mindezekre legnagyobb hatással a deltasíksági medrek szélesség/mélység aránya, zátonyépítő jellege és a medrek száma van. Nagymértékű üledékbeszállítás esetében a homlokrétegek gyorsan épülnek az üledékgyűjtő irányába, így gyakran alakulnak ki színszediment vetők, kisebb-nagyobb csuszamlások, egyéb gravitációs átülepítési formák. A talprétegek kis dőlésszögűek, a medence irányában ellaposodnak, finomabb szemcseméretű, szuszpenzióból ülepedő anyag építi fel ezeket. Gyakori a deltasíkságról származó növényi törmelék, illetve gravitációs tömegmozgással beszállított, közberétegződött durvább üledék.

A fent leírt üledékjellegeket kivétel nélkül megtalálhattuk a vizsgált képződményeken. A I. és II. egység meredeken dőlő, 5–15 méter magas homokos kavics-, kavicsrétegei sekélyvízi Gilbert-típusú delta frontjaként értelmezhetők. A I. egység alkothatta a delta délnek épülő fő tömegét, mely mintegy kilométeres szélességben tanulmá-

nyozható a billegei bányában, DNy-i, D-i és DK-i dőlésekkel. A bánya északkeleti oldalán néhány méter mélyre vágódó eróziós felület felett szintén délre dőlő (9. ábra, c), míg a déli oldalon nem egészen világos települési helyzetben — mélyebben, talán a legfelső egységgel összefüggő helyzetben — északkelet felé épülő meredek dőlésű kavics-, homokos kavicsrétegek figyelhetők meg (II. egység). A II. egység látszólag ellentétes É-ÉK-i szállítási irányára — az I-vel egyező kőzettani összetétele mellett a feltárásokban nem találtunk magyarázatot. Települési helyzete, valós dőlésének tisztázása érdekében a billegei bányában talajradar méréseket végeztünk (TÓTH et al. 2010), felfedve, hogy a II. egységet valójában többszörös lelapolódásokkal épülő kisebb lebenyek alkotják, melyeket talán kisebb üledékhozamú, időben változókényebb vízfolyások táplálhattak. A dél felé épülő fő kavicsot talprétegei a meredek homlokrétegek gyors előreépülése miatt az alaphegység feletti 10–15 m mély vízben nem alakulhattak ki, illetve a billegei, uzsai bányákban nincsenek feltárva. Ugyanakkor a leenceistvándi bányában a homok lankásabb rézsűszöge miatt nagyobb vastagságban fejlődtek ki.

A III. egység vízszintesen rétegzett kavics és homok rétegei a deltasíkság lapos térszínén ülepedhettek le. Kisebb zátonyokra csak nagyon kevés szerkezet, néhány helyen előforduló keresztarétegzés utal, ehhez kapcsolódó széles és sekély folyómedreket, mederfenéki eróziós formákat nem találtunk. A vízzel borított deltasíkság és a szárazulati viszonyokat jelző folyóvízi környezetet elkülönítésének a tó vízszintváltozásai megítélésében van szerepe. A kavics és homok jó osztályozottsága, vékony, vízszintes rétegek, kavicszinórok gyakori volta egyaránt sekély, erősen mozgatott vízre utalnak. A kisebb keresztarétegzések a parttal párhuzamos áramlások mentén kialakult zátonyokat, turzásokat jelezhetik. A kitűnően osztályozott, tiszta kvarchomok, melyben keletkezésére utaló elsődleges üledékszerkezeteket alig találunk (pl. 5. ábra, a), és amely fáciesét tekintve legnagyobb fokú hasonlóságot mutatja a káli-medencei üveghomok lelőhelyek anyagával, az üledékbeszállítás hosszabb lokális szünetét vagy inkább a torkolat jelentősebb áthelyeződését jelezheti. Ekkor a felhagyott deltáriszen a partmenti áramlással, hullámveréssel az aktív deltáról „átszállt” homok halmozódhatott fel. Emellett pl. a leenceistvándi uralkodóan homokból álló deltalebeny és a billegei kavicsos delta-lebenyeket valószínűleg eredetileg is más-más folyóág táplálhatta.

Relatív tőszintváltozások, ülepedést kísérő szerkezeti mozgások: diszkusszió

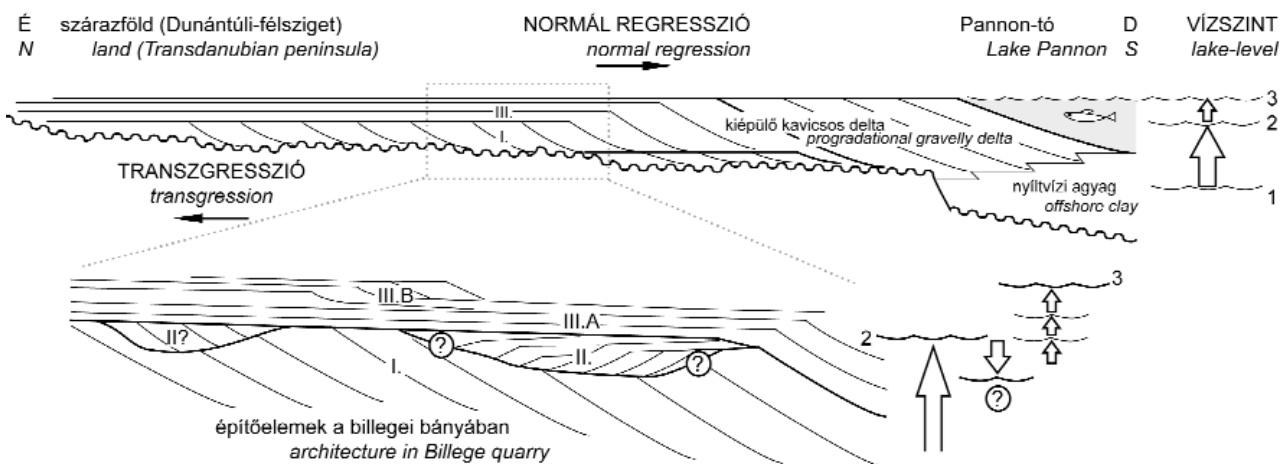
A rétegek laterális kiterjedésének tartós volta és a nagyobb eróziós felületek hiánya egyértelműen a deltasíksági összlet vízzel borítottságát, vízszintemelkedéssel lépést tartó aggradációs épülését jelzi. A billegei bánya északi, északnyugati felén a meredek homlokrétegeket közelítőleg vízszintes eróziós felülettel fedik a tetőrétegek.

Ez állandósult vízszint mellett normál regressziót jelez. Délebbre, azaz időben előrehaladva figyelhető meg a szigmoidális homlok- és tetőrtegek összefogazódása, ami már egyértelműen a relatív vízszint emelkedését jelzi. Ennél is kicsit gyorsabb vízszintemelkedésre utal a billegei bánya nyugati végében és a „rekultivált” bányában megfigyelhető III. b. egység, melyet a deltasíkság folytatásában ismételtelen megjelenő kisebb lebenyként értelmezhetünk (13. ábra). A II. egység topográfiaailag a tetőrtegek alatt, így látszólag a I. egységbe vágódva helyezkedik el, mely a normál regressziós fázist követő kisebb relatív vízszintesés következménye. Ennek ellentmond, hogy ezeket csak kisebb területen lokalizáltan találtuk meg. Nagyobb szárazulati eróziós eseménynek egyéb nyomát nem láttuk, igaz azokat a rákövetkező transzgresszió is eltüntethette. Az ilyen jellegű teraszképződést gyakran kísérik kisebb, a fő szállítási iránnyal 60–90°-t bezáró alluviális hordalék-kúpok (NAVA-SANCHEZ et al. 1995), itt azonban a mélyedések kitöltése (II. egység) az üledékjellegekből adódóan szintén víz alatt, immár a rákövetkező vízszintemelkedés során zajlott.

Ezek a relatív vízszintváltozások az azonosított építőegységek vastagságával összevethető mértékűek, azaz csupán néhány métereselek lehettek, és időben is csak rövid, valószínűleg néhány tízezer évet átfogó ötödrendű-ciklusokként foghatóak fel. A kavicsost megjelenése a Dunántúli-középhegység alkotta félsziget peremén, az alaphegység felett kb. 10 millió évvel ezelőtt (MAGYAR et al. 2007) önmagában jelzi, hogy egy nagyobb transzgressziós rendszeregység része a Kállai Formáció kicsiny deltája. Ameddig az üledékbehordás a vízszintemelkedést kompenzálni tudta, sőt meghaladta, addig progradált a delta dél felé (Szigligetnél még jelentős vastagságban előfordul, CSILLAG et al. 2010). Amint ez az előntés nagyobb mértékű lett és a

dunántúli-középhegységi terület nagyobb részét víz borította be, a kavicsanyag-utánpótlás csökkenésével együtt fokozatosan szűnt meg a deltát tápláló üledékbehordás is.

A relatív vízszintemelkedésnek az egész medencére kiterjedő klimatikus és tektonikus komponense is volt. (MAGYAR et al. 2007, MAGYAR 2009), de a Tapolcai-medence peremvetői szintén hozzájárulhattak a vízszint emelkedéséhez. A Tapolcai-medence kialakulását LÓCZY (1913) pliocén árkos beszakadással, BENCE et al. (1990) középső-miocén extenziós mozgásokkal magyarázták. DUDKO et al. (1992) a medencék kialakulását — a kisalföldi részmedencékhez hasonlóan — balos eltolódásokat eredményező feszültségtérrel hozta összefüggésbe. A Tapolcai-medencében fut a Sümeg–Tapolcai-törés, mely egy ÉNy–DK csapású vető, oldaleltolódás és jelenleg is markáns morfológiai elem. A középső-miocénben a Keszthelyi-hegység az óramutató járásával ellentétesen forgott, a Balaton-felvidék balos eltolódásokkal mozgott, így a blokk közötti medencék a fellépő tágulás hatására süllyedtek be (DUDKO 1999). A Sümeg–Tapolcai-törés folytatása a Keszthelyi-hegység É–D-i csapású keleti peremvetője, ami a szarmat–kora-pannóniában, de még a Kállai Kavics lerakódása előtt alakította a Tapolcai-medence üledékképződését (CSILLAG 2004, CSILLAG et al. 2010). Neotektonikus kiújulása a jelenlegi morfológia alapján egyértelmű. Mivel a Gilbert-típusú delták gyakran szinzediment vetőkre támaszkodnak, a nagyobb feltárásokban kerestük ezek nyomát. Noha a billegei bányában seregnyi apró feltolódás található, a legtöbb észlelt szerkezet mégis normál vető volt (14. ábra). Csapásuk közel párhuzamos a miocén medencék peremi töréseinek irányával (É–D), valamint a delta fő szállítási irányával is. A vetőátlépések területét leszámítva a Gilbert-delták a topográfiai leszakadásokhoz kötődnek, tehát normálisan szállítási irányuk



13. ábra. A Tapolcai-medence északi részén azonosított Gilbert-delta egyszerűsített felépítése és a nagyobb egységek kapcsolata a Pannon-tó vízszintjének kisebb változásaival

A kezdeti transzgressziót a nagymértékű üledékbehordás miatt normál regresszió követi, miközben a Pannon-tó relatív szintje kisebb megszakítással emelkedett. A billegei bányában először felfelé nem gyarapodó, progradáló homlokrétegeket találunk (I.), melyek stagnáló vízszintet jeleznek. Majd a II. egység feltehetőleg egy kisebb vízszintesés okozta erőltetett regresszióhoz köthető. Ezt követő aggradáló és progradáló deltaegységek a megújuló vízszint emelkedést bizonyítják.

Figure 13. Simplified architecture of the Gilbert-type delta built at the northern rim of the Tapolca Basin and minor changes of lake-level implied by the architectural units. Level of Lake Pannon rose with varying rate, thus initial, short-term transgression is followed by normal regression due to high rate of sediment. The sharp-topped progradational foresets (unit I) in the Billege gravel pit indicate constant relative lake-level. Unit II may reveal a minor drop resulting in forced regression, while the overlying aggradational and progradational units (III) point to a renewed rise in relative lake-level

merőleges az üledékképződést befolyásoló peremvetők csapására. A billegei bányában észlelt vetők részben idősebb törésekből öröklődhetnek át, másrészt valószínűleg a bazaltvulkanizmust is lehetővé tevő regionális extenziós erőter hozhatta létre őket, jóval a Kállai Formáció képződése után. A bányában észlelt kis feltolódások kapcsolatban állhatnak a terület enyhe posztpannon redőződésével is, mely szintén jóval fiatalabb folyamat (CSONTOS et al. 2005). Összességében olyan nagyobb vetőket, melyek csak idősebb deltaképződményeket, vagy csak egyes lebenyeket érintenek nem találtunk, legalábbis eddig nem sikerült közvetlen bizonyítékot találni üledés közbeni tektonikai tevékenységre. A Gilbert-típusú delta kialakulásának az uralkodóan kavicsos hordalék, a folyó és a Pannon-tó vize közti viszonylag kis sótartalom-különbség és a kora-pannoniai kialakult vetős medenceperem együttesen lehetett az oka.

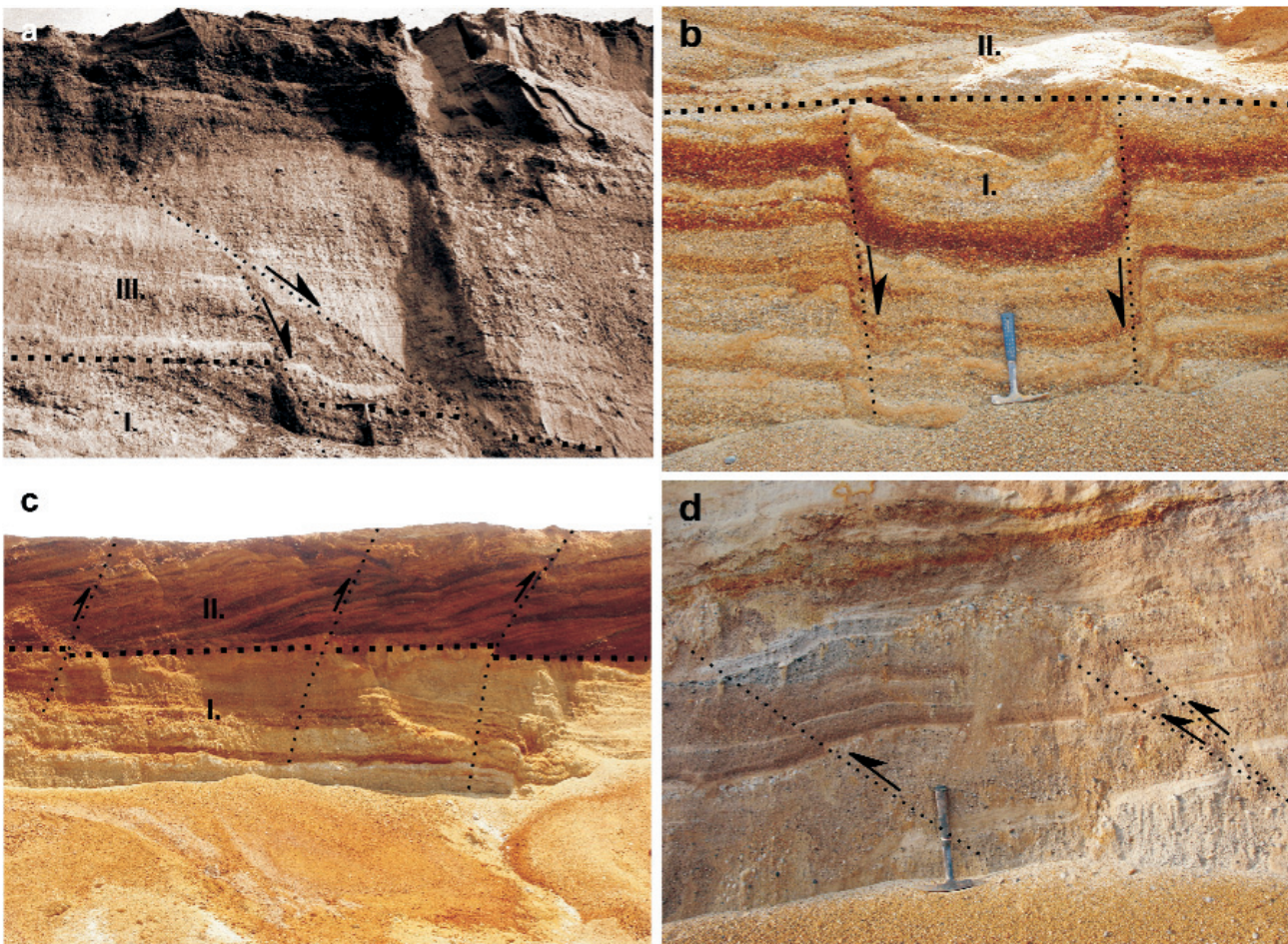
A Tapolcai-medence peremén található durva-hordalékú deltánál jóval idősebbeket vizsgált ROSTA (1993). A Sopron környéki és ausztriai szarmata és kora-pannoniai képződmények üledékképződési sajátosságait elemezve megállapította, hogy a lefűződő csökkent sós vízű öblök illetve később a Pannon-tó partján Gilbert-típusú delta-

testek épültek. Anyaguk szintén helyi behordásból származott, ám az üledékképződéssel egyidejű szerkezeti vonalakkal meghatározott helyzetükhöz nem fér kétség.

Nagyfelbontású szeizmikus szelvényeken a balatoni iszap alatt látható pannon-tavi üledékek — a vizsgált Kállai Formációnál jóval fiatalabb Száki, Somlói és Tihanyi Formációk — geometriai képét elemezve SACCHI et al (1999) arra a következtetésre jutott, hogy a tó partján mintegy 80–100 m vastagságú Gilbert-delták épülhettek. Bár a látható szigmoidális dőlésű kőzettestek minden kétséget kizáróan delta eredetűek, de valójában néhány fokos dőlésszögük és a front uralkodóan homokos-aleuritos anyaga miatt a Gilbert-típusba nem sorolhatók. Keletkezésük már az emelkedő Alpok és a Nyugati-Kárpátok felől a Pannon-tóba hordalékot szállító Ós-Duna vízrendszerhez köthető (SZTANÓ & MAGYAR 2007).

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnénk mondani a Readymix Kft munkatársainak, valamint ORBÁN Ferenc igazgató úrnak, hogy kavicsbányáikban végzett munkánk során és a hallgatói



14. ábra. a) Normál vető, mely az I. és III. építőegységeket is veti. b) Oldaleltolódáshoz kapcsolódó kis szinszediment árok az I. egységben, mely a II-ben már nem folytatódik. c) Meredek feltolódások az I. és II. egységekben. d) Lapos, redőződéshez köthető feltolódások az I. egységben

Figure 14. a) Normal fault younger than units I and III. b) Strike-slip related small synsedimentary graben in unit I, overlain by nondeformed unit II. c) Steep reverse faults in units I and II. d) Small low-angle reverse faults in the core of gentle folds in unit I

terepbejárások alkalmával készségesen segítségünkre voltak. A tanulmány lektorai JUHÁSZ Györgyi (Mol Nyrt.) és ROSTA Éva (Mol Nyrt.) voltak. Külön köszönjük Éva kiegészítéseit, ötleteit, melyek érthetőbbé-logikusabbá tették a szöveget. A tanulmány magja az OTKA F 030809 pályázat keretében készült, ám a bányaművelésnek köszönhetően

újabb és újabb észlelésekkel gazdagodott a földtani kép, melyeket már az OTKA T 37724 pályázatból fedeztünk. Bár a billegei bánya minden látogatáskor tartogat újabb meglepetéseket, a kéziratot mégis le kellett zárunk. Kutatómunkánkat az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíja is segítette (MÁ 2000–2003, SzO 2005–2008).

Irodalom — References

- ALLEN, J. R. L. 1984: *Sedimentary structures. Their Character and Physical Basis I-II*. — Elsevier, 593+663 p.
- BABINSZKI E., SZTANÓ O. & MAGYARI Á. 2003: Epizodikus üledékképződés a Pannon-tó Kállai-öblében: a Kállai Homok nyomfosszíliai és szedimentológiai bélyegei. — *Földtani Közlemény* **133**, 363–382.
- BENCE G. & BUDAI T. 1987: A Tapolcai-medence és a Balaton felvidék partszegélyi szarmata képződményei. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése* **1985**, 249–260.
- BENCE G., BERNHARDT B., BIHARI D., BÁLINT Cs., CSÁSZÁR G., GYALOG L., HAAS J., HORVÁTH I., JÁMBOR Á., KAISER M., KÉRI J., KÓKAY J., KONDA J., LELKESNÉ FELVÁRI Gy., MAJOROS Gy., PEREGI Zs., RAINCSÁK Gy., SOLTÍ G., TÓTH Á. & TÓTH Gy. 1990: A Bakony hegység földtani képződményei. Magyarázó a Bakony hegység fedetlen földtani térképéhez 1:50 000. — *Magyar Állami Földtani Intézet*, 119p.
- BIHARI Gy. 1984: Jelentés az 1981–84. évi kvarchomok kutatásról. — *Kézirat. Országos Földtani és Geofizikai Adattár*
- BUDAI T., CSÁSZÁR G., CSILLAG G., DUDKO A., KOLOSZÁR L., MAJOROS Gy. 1999: A Balaton-felvidék földtana. Magyarázó a Balatonfelvidék fedetlen földtani térképéhez 1:50 000. *Magyar Állami Földtani Intézet*, 257 p.
- COLELLA, A., DE BOER, P. L. & NIO, S. D., 1987: Sedimentology of a marine intermontane Pleistocene Gilbert-type fan-delta complex in the Crati Basin, Calabria, southern Italy. — *Sedimentology* **34**, 721–736.
- CORNER G. D., NORDAHL E., MUNCH-ELLINGSEN K. & ROBERTSEN K. R. 1990: Morphology and sedimentology of an emergent fjord-head Gilbert-type delta: Alta delta, Norway. — In: COLLELA, A. & PRIOR, D. B. (eds): Coarse-grained Deltas. *IAS Special Publication* **10**, 155–168.
- CSILLAG G. 2004: Káli-medence és környékének geomorfológiai szintjei. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése* **2002**, 95–110.
- CSILLAG G., SZTANÓ O., MAGYAR I. & HÁMORI Z. 2010: A Kállai Kavics települési helyzete a Tapolcai-medencében geoelektromos szelvények és fúrási adatok tükrében. — *Földtani Közlemény* **140/2**, 183–196.
- CSONTOS L., MAGYARI Á., VAN VLIET-LANOË, B. & MUSITZ B. 2005: Neotectonics of the Somogy hills (Part II): Evidence from seismic sections. — *Tectonophysics* **357**, 81–102.
- DAVIES, I. C. & WALKER, R. G. 1974. Transport and deposition of resedimented conglomerates, the Cap Enrage´ Formation, Cambro-Ordovician, Gaspé, Quebec. — *Journal of Sedimentary Petrology* **44**, 1200–1216.
- DORSEY, R. J., UMHOFER, P. J. & RENNE, P. R. 1995: Rapid subsidence and stacked Gilbert-type fan deltas, Pliocene Loreto basin, Baja California Sur, Mexico. — *Sedimentary Geology* **98**, 181–204.
- DUDKO, A. 1999: A Balaton-felvidék szerkezeti elemei. — In: BUDAI, T., CSÁSZÁR, G., CSILLAG, G., DUDKO, A., KOLOSZÁR, L., MAJOROS, Gy. : *A Balaton-felvidék földtana. (Magyarázó a Balaton-felvidék földtani térképéhez, 1:50 000)*, 134 p.
- DUDKO A., BENCE G. & SELMECI I. 1992: Miocén medencék kialakulása a Dunántúli-középhegység DNy-i részén. — *Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése* **1990**, 107–124.
- GAWTHORPE, R. L. & COLELLA, A. 1990: Tectonic controls on coarse-grained delta depositional systems in rift basins. In: COLELLA A. & PRIOR, D.B. (eds.): Coarse-grained Deltas. — *IAS Special Publication* **10**, 113–127.
- GRATIER, J.-P., RENARD, F. & LABAUME, P. 1999: How pressure solution creep and fracturing processes interact in the upper crust to make it behave in both a brittle and viscous manner. — *Journal of Structural Geology* **21**, 1189–1197.
- HELLE, S. K. 2004: Sequence stratigraphy in a marine moraine at the head of Hardangerfjorden, western Norway: evidence for a high-frequency relative sea-level cycle. — *Sedimentary Geology* **164**, 251–281.
- HUGHES, S. R. & DRUITT, T. 1998: Particle fabric in a small, type-2 ignimbrite flow unit (Laacher See, Germany) and implications for emplacement dynamics. — *Bulletin of Volcanology* **60**, 125–126.
- JÁMBOR Á. 1980: A Dunántúli-középhegység pannóniai képződményei. — *Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve*, 52, 1–259.
- JÁMBOR Á. 1989: Review of the geology of the s.l. Pannonian formations of Hungary. — *Acta Geologica Hungarica* **32**, 269–324.
- JOCHÁNÉ EDELÉNYI E. 1984: Középső miocén. — In: HAAS J. et al.: Sümeg és környékének földtani felépítése. — *Geologica Hungarica Series Geologica* **20**, 194–202.
- KIM, J. V. & CHOUGH, S. K. 2000: A gravel lobe deposit in the prodelta of the Doumsan fan delta (Miocene), SE Korea. — *Sedimentary Geology* **130**, 183–203.
- KLEINHANS, M. G. 2005: Autogenic cyclicity of foreset sorting in experimental Gilbert-type deltas. — *Sedimentary Geology* **181**, 215–224.
- LÓCZY L. 1913: A Balaton környékének geológiai képződményei és ezek vidékek szerinti telepedése. — *A Balaton Tudományos Tanulmányozásának Eredményei* I. **1**, 581 p.

- MAGYAR, I., LANTOS, M., UJSZÁSI, K., KORDOS, L. 2007: Magnetostratigraphic, seismic and biostratigraphic correlations of the Upper Miocene sediments in the northwestern Pannonian Basin System. — *Geologica Carpathica* **58**, 277–290.
- MAGYAR, I. 1988: Mollusc fauna and flora of the Pannonian quartz sandstone at Mindszentkállya, Hungary. — *Annales Universitatis Scientiarum Budapestiensis Rolando Eötvös Sectio Geologica* **28**, 209–222.
- MAGYAR, I. 2009: A Pannon-medence ősföldrajza és környezeti viszonyai a késő miocénben őslénytani és szejzmikus rétegtani adatok alapján. — *MTA Doktori értekezés, kézirat*, 132 p.
- MAJOR, J. J. & VOIGHT, B. 1986: Sedimentology and clast orientations of the 18 May 1980 Southwest-Flank Lahars, Mt. St. Helens, Washington. — *Journal of Sedimentary Petrology* **56**, 691–705.
- MAJOR, J. J. 1998: Pebble orientation on large, experimental debris flow deposits. — *Sedimentary Geology* **117**, 151–164.
- MALARTRE, F., FORD, M. & WILLIAMS, E. A. 2004: Preliminary biostratigraphy and 3D geometry of the Vouraikos Gilbert-type fan delta, Gulf of Corinth, Greece. — *C. R. Geoscience* **336**, 269–280.
- MARTIN, U. & NÉMETH, K. 2004: Mio/Pliocene Phreatomagmatic Volcanism in the Western Pannonian Basin. — *Geologica Hungarica ser. Geologica* **26**, 192 p.
- MARTINI, I. P. 1990: Pleistocene glacial fan deltas in southern Ontario, Canada. — In: COLELLA, A. & PRIOR, D. B. (eds): Coarse-grained Deltas. *Special Publications of International Association of Sedimentologists* **10**, 281–295.
- MUTTI, E. 1992: *Turbidite sandstones*. — AGIP, Milan, 275 p.
- NAVA-SANCHEZ, E., CRUZ-OROZCO, R. & GORSLINE, D. S. 1995: Morphology and sedimentology of two contemporary fan deltas on the southeastern Baja California Peninsula, Mexico. — *Sedimentary Geology* **98**, 45–61.
- NEMEC, W. & STEEL, R. J. 1988: *Fan Deltas, sedimentology and tectonic setting*. — Blackie and Son, 444 p.
- NEMEC, W. 1990: Aspects of sediment movement on steep delta slopes. — In: COLELLA, A. & PRIOR, D. B. (eds): Coarse-grained Deltas. — *IAS Special Publication* **10**, 29–73.
- ORI, G. G. & ROVERI, M. 1987: Geometries of Gilbert-type deltas and large channels in the Meteora Conglomerate, Meso-Hellenic basin (Oligo-Miocene), central Greece. — *Sedimentology* **34**, 845–859.
- PASCUCCI, V., CONSTANTINI, A., MARTINI, I. P. & DRIGNOLI, R. 2006: Tectono-sedimentary analysis of a complex, extensional, Neogene basin formed on thrust-faulted, Northern Apennines hinterland: Radicofani Basin, Italy. — *Sedimentary Geology* **183**, 71–97.
- POSTMA, G. 1984: Mass flow conglomerates in a submarine canyon: Abrioja fan-delta, Pliocene, SE Spain. — In: KOSTER, E. H. & STEEL, R. J. (eds): Sedimentology of gravels and conglomerates. *Memoir Canadian Society of Petroleum Geologists* **10**, 237–258.
- POSTMA, G. 1990: Depositional architecture and facies of river and fan deltas: a synthesis. — In: COLELLA, A. & PRIOR, D. B. (eds): Coarse-grained Deltas. *Special Publications of International Association of Sedimentologists* **10**, 13–27.
- POSTMA, G. & NEMEC, W. 1990: Regressive and transgressive sequences in a raised Holocene gravelly beach, southwestern Crete — *Sedimentology* **37**, 907–920.
- PRIOR, D. B. & BORNHOLD, B. D. 1990: The underwater development of Holocene fan deltas. — In: COLELLA, A. & PRIOR, D. B. (eds.): Coarse-grained Deltas. — *IAS Special Publication* **10**, 75–90.
- ROSTA É. 1993: Gilbert típusú delta a Sopron környéki szarmata-pannóniai üledékekben. — *Földtani Közlemények* **123**, 167–193.
- RUST, B. R. 1972: Pebble orientation in fluvial sediments. — *Journal of Sedimentary Petrology* **42**, 553–562.
- 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 Orogen. *Geological Society, London, Special Publication* **156**, 357–390.
- SORIA, J.M., FERNÁNDEZ, J., GARCIA, F. & VISERAS, C. 2003: Correlative lowstand deltaic and shelf systems in the Guadix (Late Miocene, Betic Cordillera, Spain): the stratigraphic record of forced and normal regressions. — *Journal of Sedimentary Petrology* **73**, 912–925.
- SZTANÓ O. & MAGYAR I. 2007: Deltaic parasequences on gamma logs, ultra-high resolution seismic images and outcrops of Lake Pannon deposits. — *Joannea Geologica Palaontologica* **9**, 105–108.
- SZTANÓ O. 1995: Pannonian Gilbert-delta, Lesence. — In: TARI, G. (ed.): Extensional collapse of the Alpine orogene and hydrocarbon prospects in the basement and basin fill of the western Pannonian Basin. *AAPG Field Trip Guide* #6.
- TÓTH P., SZAFIÁN P. & SZTANÓ O. 2010: Egy pannóniai korú Gilbert-delta felépítése földradar (GPR) mérések alapján. — *Földtani Közlemények (in prep)*.
- ULICNY, D. 2001: Depositional systems and sequence stratigraphy of coarse-grained deltas in a shallow-marine, strike-slip setting: the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. — *Sedimentology* **48**, 599–628.

Kézirat beérkezett: 2010. 01. 06.