

“GUTTER CAST” TEKSTURA KAO .MOGUĆI KORELACIJSKI MARKER - PRIMJER DONJOTRIJASKIH SEDIMENATA PROFILA PLAVNO I STRMICA (HRVATSKA I BOSNA I HERCEGOVINA)

DUNJA ALJINOVIĆ¹ I MAJA VRKLJAN¹

*Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska
E-mail: daljin@rgn.hr*

Ključne riječi: gutter cast tekstura, olujni sedimenti šelfa, kronostratigrafska korelacija, donji trijas, Knin

Key words: gutter casts, storm shelf sediments, chronostratigraphic correlation, Lower Triassic, Knin region

Sažetak

Na profilima Plavno i Strmica u okolici Knina istraženi su sedimenti donjeg trijasa – skita koji u oba slijeda pokazuju iste litofacijske značajke. Karakteristike Siliciklastičnog litofacijsa, koji odgovara sedimentima donjeg skita, te Muljnog i Siltozno-muljnog litofacijsa gornjeg skita odražavaju utjecaj oluja u plićim i dubljim dijelovima šelfa, kao i oscilacije razine mora koja se manifestira nizanjem ciklusa pretpostavljenog 5., 4. i 3. reda.

Na otvorenim donjim slojnim plohama sedimenta Muljnog i Siltozno-muljnog litofacijsa uočena je “gutter cast” tekstura nastala uslijed helikoidalnog (vrtložnog) strujanja čija je os paralelna površini sedimenta. Takvo strujanje moguće je interpretirati kao posljedicu djelovanja jednosmjernih struja tijekom oluje. Uslijed erozije vrtloženjem nastaju plitki dugački ravni ili prepleteni žljebovi. Tekstura je vezana uz sedimente vanjskog šelfa i predstavlja karakteristični, istovremeni olujni zapis na širem prostoru. Zahvaljujući ovoj teksturi i njenoj jednoobraznoj genezi sedimenti vertikalnog slijeda oba istražena lokaliteta mogu se, u nedostatku drugog biostratigrafskog ili litostratigrafskog markera, međusobno korelirati. Kao osnova za korelaciju može poslužiti prva pojava “gutter cast” tekture vertikalno u slijedu sedimenta. Tako načinjena korelacija grupira “gutter cast-e” oba istražena slijeda u određeni vremenski (vertikalni) interval. “Gutter cast” tekstura predstavlja, u tom slučaju, kronostratigrafski marker.

U slučaju takvog pristupa korelaciji razlika debljine litofacijsa pojedinih lokaliteta može se objasniti položajem u sedimentacijskom bazenu bliže ili dalje od obale. Korelacijski princip spajanja granice donjeg i gornjeg skita, što je uvriježen princip korelacije, može se u tom slučaju isključiti kao neodgovarajući.

Abstract

Lower Triassic (Scythian) sedimentary sequence developed in similar lithofacies were studied at the two sections in the vicinity of Knin – Plavno (in Croatia) and Strmica (in Bosnia and Herzegovina). Characteristics of the Siliciclastic lithofacies, which corresponds to the Lower Scythian, Seis beds, and of the Mudstone and Siltstone-mudstone lithofacies of Upper Scythian, Campil beds, reflect the storm influence at the shallower and deeper parts of shelf, as well as the sea-level oscillations resulting in a presumed 5th, 4th and 3rd order cycles.

Appearance of gutter casts exposed on lower bedding planes of sedimentary rocks in Mudstone and Siltstone-mudstone lithofacies has been considered as a consequence of bottom current storm flow component in the outer shelf area. This unidirectional current flow has a helicoidal component with horizontal axis parallel to the sediment surface. The flow generates characteristic shallow linear or braided gutters that indicate unique and characteristic storm imprint on the broad shelf area.

Lacking any other types of either the biostratigraphic or lithostratigraphic marker horizons, this structure, having only one way of formation, allows the improvement of chronostratigraphic correlation of the vertical sequence on both explored locations. The first appearance of this structure in sediment successions of Plavno and Strmica, may serve as a possible correlative marker. Using such a correlative principle gutter casts are in vertical succession grouped in interval, which signifies approximately pencontemporaneous events.

Should the correlation be based on the gutter cast structure, the differences in thickness at both locations can be explained by their more proximal or more distal position within the sedimentary basin. If this is true, the inveterate principle of correlating the contact between the Lower Scythian and Upper Scythian sediments as a contact between the red, dominantly clastic Seis beds and grey, dominantly calcareous Campil beds, is therefore found to be chronostratigraphically inadequate and can be excluded.

Uvod

Donjotrijaski slijed naslaga u okolici Knina karakterizira izmjena klastično-karbonatnih sedimenta koji su podijeljeni na *sajski* i *kampilski* nivo s uočljivom razlikom u litologiji. Dominantno crveni tinčasti pješčenjaci, tankolaminirani silti pješčenjaci, oolitni kalkareniti, biokalkareniti, laporoviti vapnenci i dolomiti izdvojeni u smislu litostratigrafske jedinice kao *Sajske naslage* odgovaraju donjem skitu (T_1^1) dok sivi i sivoplavi dobro uslojeni vapnenački madstoni i lapori, te u gornjem dijelu dolomiti, čine *Kampilske naslage* koje odgovaraju gornjem skitu (T_1^2) (Grimani et al., 1975). Debela donjotrijaska serija klastičnih i karbonatnih sedimenta opisana je kao transgresivni slijed šelfnih

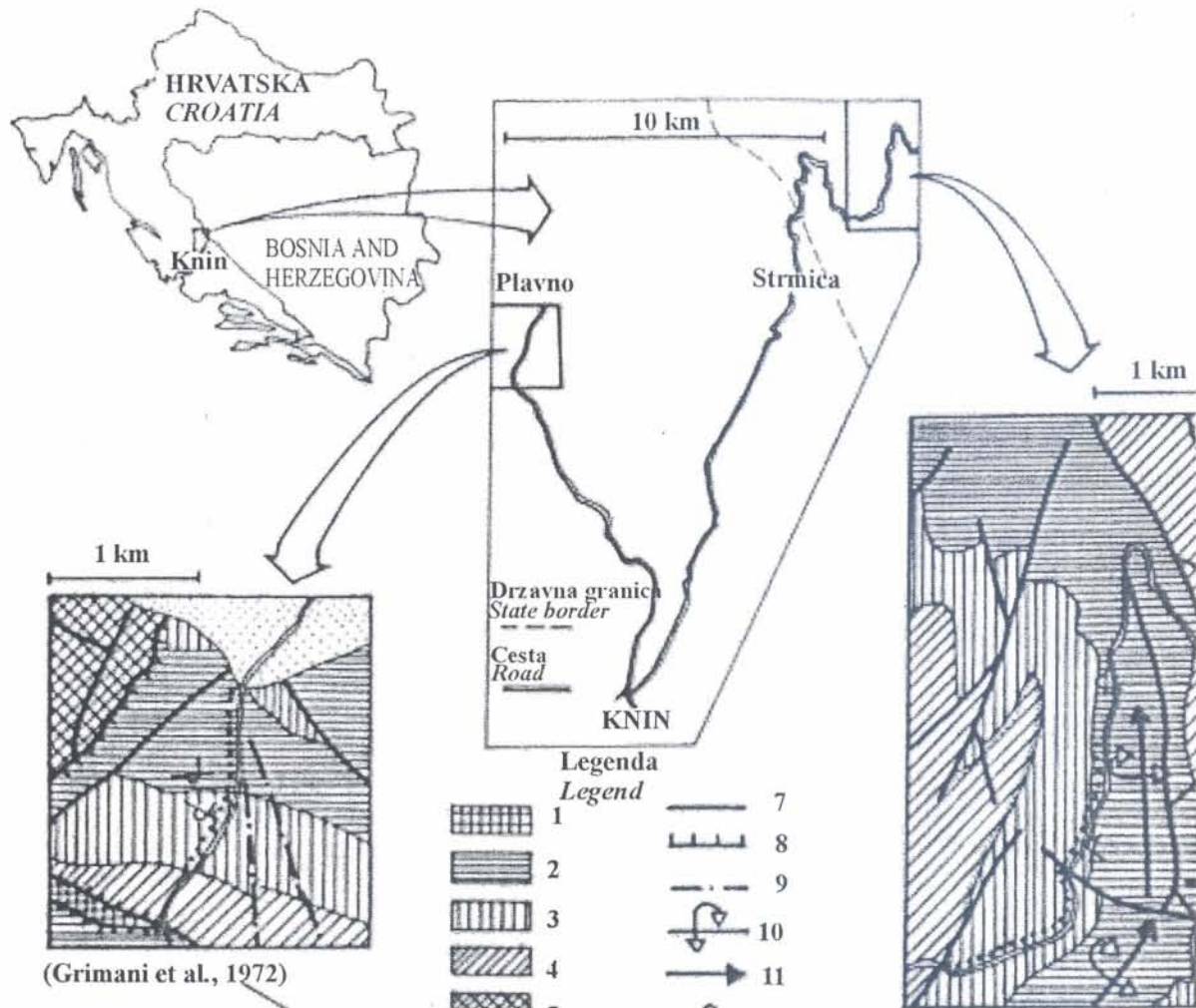
taloga (Aljinović, 1995). Istraživane karakteristike donjotrijaskih sedimenta odnose se na profile Plavno i Strmica proučene u zasjecima cesta Knin – Plavno (Republika Hrvatska) i Knin – Bosansko Grahovo (Republika Bosna i Hercegovina) (slika 1).

Uspoređujući karakteristike sedimenta dvaju spomenutih lokaliteta, njihova sličnost je očita, no u nedostatku izokronog korelacijskog horizonta (litostratigrafskog ili biostratigrafskog) postavlja se pitanje kako međusobno korelirati slijedove različitih lokaliteta koji su, pak, dio istoga taložnog bazena.

U slijedu sedimenta oba profila dokumentiran je niz olujnih procesima generiranih sedimentnih tekstura od kojih se izrazito ističe tzv. “gutter cast” tekstura koja se prema navodima brojnih autora (Greensmith et al.,

1980; Duke, 1990; Myrow, 1992a i 1992b i drugi) može tumačiti posljedicom olujne aktivnosti. "Gutter casti" predstavljaju jedinstveni otisak na širem području šelfa a

posljedica su jednog događaja. U ovom je radu ispitano da li se, kako navode literaturni podaci, "gutter cast" tekstura može upotrijebiti kao korelacijski marker.



Sl. 1. a) Smještaj istraživanih profila b) Shematizirana geološka karta (modificirano prema Grimani et al., 1972.). LEGENDA: 1. permotrijas, gips; 2. donji skit (listasti tinčasti pješčenjaci, oolitični vapnenci i laporoviti vapnenci – SAJSKE NASLAGE; 3. gornji skit (pločasti vapnenci, vapneni lapori, detritični vapnenci i šupljikavi dolomiti) – KAMPILSKE NASLAGE; 4. donji anizik (kristalinični vapnenci i dolomiti s rijetkim pojavama boksita, hematita i limonita); 5. gornji anizik (lapori, vapnenci, vulkanogeni sedimenti, pješčenjaci, breče, konglomerati, ugljevitte gline i rijetki ulošci dolomita); 6. kvartar; 7. rasjed bez oznake karaktera; 8. čelo navlake; 9. rasjed promatran fotogeološki; 10. os prebačene ili polegle antiklinale; 11. tonjenje osi antiklinale; 12. prebačeni sloj; 13. trasa profila; 14. cesta; 15a. normalna granica; 15b. tektonsko-erozijska granica.

Fig. 1. a) Location map b) Schematic geological map (modified after Grimani et al., 1972.). LEGEND: 1. Permo-Triassic, gypsum; 2. Lower Scythian, shales, sandstones, ooid limestones and clayey limestones; 3. Upper Scythian, limestones, marls and dolomites; 4. Lower Anisian, limestones and dolomites; 5. Upper Anisian, marls, limestones, volcanoclastic sediments, sandstones, breccias, conglomerates, clays and rare intercalation of dolomites; 6. Quaternary; 7. fault; 8. thrust fault; 9. fault based on air-photo analysis; 10. overturned fold; 11. axis of the overturned fold; 12. overturned bed; 13. trace of the profile; 14. road; 15a. conformity; 15b. unconformity

Geneza "gutter cast" teksture

"Gutter cast" tekstura je naziv za žljebaste izbočine (gutter = žlijeb) sačuvane kao otisak (cast = otisak) na donjoj slojnoj plohi koje u poprečnom presjeku mogu biti nepravilnog, "U" ili "V" oblika, dok su u tlocrtu ravni, isprepleteni ili rjeđe

anastomozirajući. Termin "gutter cast" tekstura prvi je u analizi sedimentacijskih procesa uveo Whitaker (1973.) dok su autori prije njega identičnu teksturu imenovali nazivima kao što su: "large groove casts", "elongate flute casts", "parallel scour structures", "scour and fill", "gouge chanel", "erosional channels and furrows", "runnels" i "Rinnen".

Općenito se smatra da žljebasto usječeni tragovi – “gutter cast” tekstura – nastaju kao posljedica erozije jednosmjernim vodenim tokom koji u svim svojim dijelovima nije laminaran već se kao značajna komponenta pojavljuje helikoidalno gibanje pri čemu je os gibanja paralelna površini sedimenta. Helikoidalno gibanje uzrokuje eroziju u kohezivnom mulju i stvara žljebasta udubljenja. Treba, dakle, razlikovati erozijsko djelovanje same vodene struje (toka) i pri postanku ne uzimati u obzir eroziju predmetima koje vodeni tok nosi. Helikoidalno (erozijsko) kretanje uslijed kojeg nastaju žljebovi, neophodno je za postanak “gutter cast-a”, a princip tog kretanja opisao je Alexander još 1932. godine. Nakon što su erozijom na površini muljnog sedimenta izdubljeni ravni ili prepleteni žljebovi, počinje njihova ispuna materijalom koji tok nosi te “gutter cast-i” imaju isti ili različiti sastav od krovinskog sedimenta. Erozijski i ispuna mogu biti gotovo istovremene ili ih dijeli stanoviti vremenski period. Kriteriji koji ukazuju da postanak žljebastih udubljenja i taloženje u njima nisu produkt istog događaja jesu ihnofosili na rubovima žljebova te kosa ili riplasta laminacija ispune žljebova (Goldring i Aigner, 1982). Jednolična ispuna može ukazivati ili na istovremenu ili na naknadnu ispunu (Whitaker, 1973).

“Gutter cast” tekstura je uočena u sedimentima različitih taložnih sredina no svakako valja uočiti brojne nalaze vezane za plitke sredine marinskog ili jezerskog priobalja. Pritom se čini da određena dubina taložnog prostora nije neophodna pri njihovom postanku. Tako npr. Goldring (1971) opisuje “gutter cast-e” u sedimentima relativno plitkoga mora vezanim za intertajdal do subtajdala (dubina vode barem 3 m). “Gutter cast” tekstura je u nekim radovima korištena kao indikator tajdalne sredine (Aigner i Futterer, 1978). Norman (1964) opisuje “gutter cast” teksturu u jezerskim facijesima. Allen (1962), Prentice (1962) i Greensmith (1965) spominju istu teksturu u deltnom okolišu dok na primjeru kambrijskih sedimenata Martinson (1965) zaključuje o marinskom priobalju ali ispod baze valova lijepa vremena. Autori se uglavnom slažu da se postanak “gutter cast” teksture može vezati uz eroziju tokova zasićenih sedimentom te da je postanak poligenetski.

Općenito se smatra da eroziju kohezivnog muljevitog sedimenta mogu prouzročiti jedino tokovi velike brzine pa tako Broadhurst (1968) smatra da je gradacija materijala unutar žljebova dokaz taloženja iz snažnih

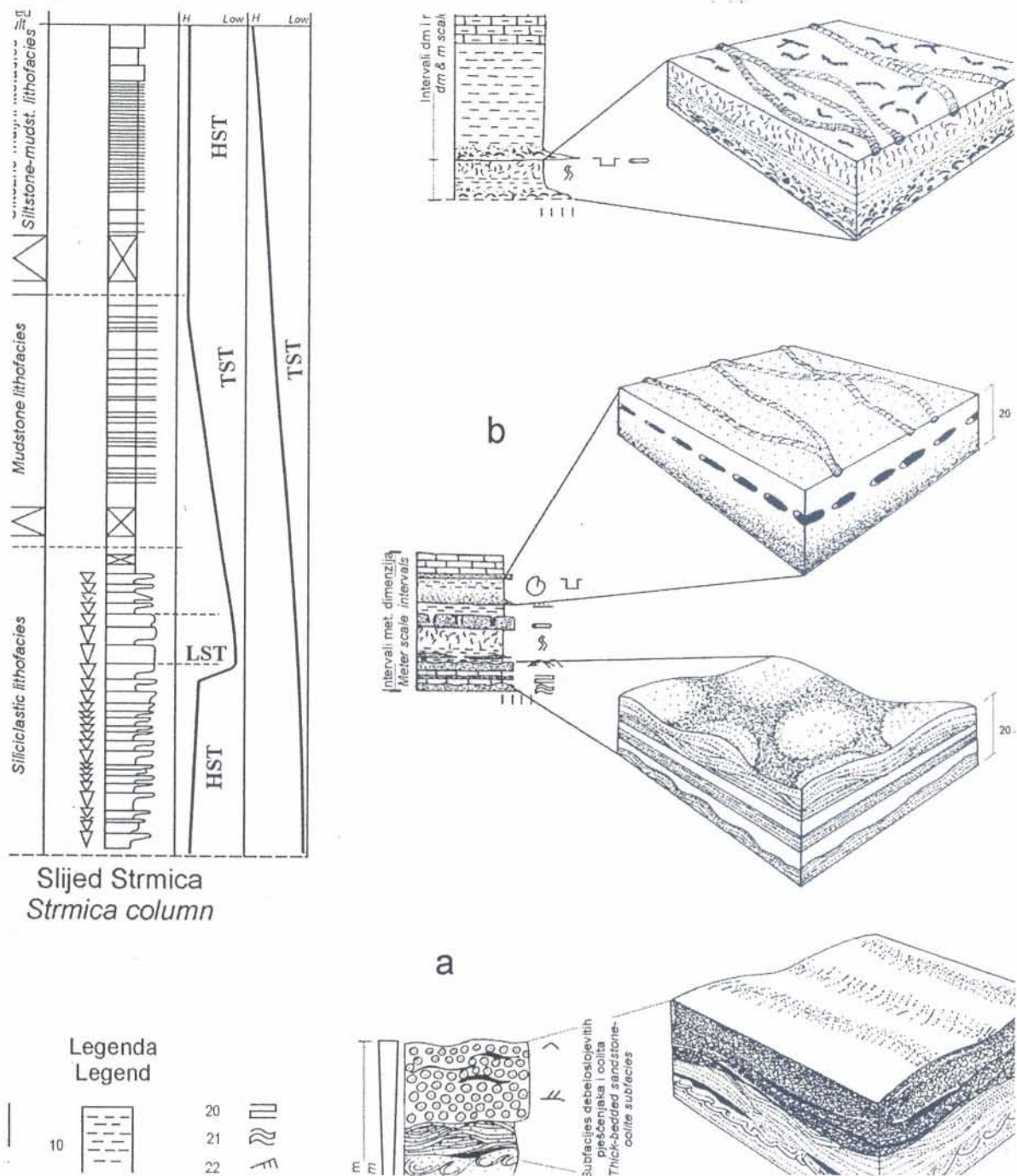
vodenih erozivnih tokova s tendencijom opadanja njihove brzine i turbulencije.

U svjetlu novijih istraživanja postanak “gutter cast-a” sve se češće tumači olujnim događanjima na šelfu. Tako Duke (1990) opisuje složena olujna gibanja spominje “gutter cast-e” u bazi olujnih slojeva. Ostaje neriješena njihova orijentacija te pitanje pod utjecajem koje od triju olujnih strujnih komponenti ona nastaje. Kao što je slučaj kod većine pješćanih olujnih (tempestitnih) sedimenata, na početak taloženja olujnih slojeva izravno utječu jednosmjerna strujna gibanja bilo da je to vjetrom generirano strujanje duž obale ili pridneni (relaksacijski) tok od obale kao posljedica izjednačavanja tlaka nad kopnom i morem. U kasnijoj fazi, pri jenjavanju oluje, taloženje je dominantno utjecano valnim (oscilatornim) gibanjem. Kao erozijska komponenta koja može proizvesti “gutter cast” teksturu tijekom složenog olujnog gibanja, u obzir dolaze: a) jednosmjerne strujne komponente koje imaju horizontalnu helikoidalnu i tek mjestimično vertikalnu orijentaciju (Flood, 1983) ili b) oscilatorna struja (valovi) kao što smatra Aigner (1985).

No, kao najizglednija varijanta, ali i otvoreno pitanje, pojavljuje se erozija prouzročena kombiniranim tokom koji nastaje prilikom uzajamnog utjecaja jednosmjerne i oscilatorne komponente olujnoga gibanja (Bridges, 1972; Brenner i Davies, 1973; Aigner, 1985).

Postanak “pot cast” teksture koja je genetski povezana s “gutter cast” teksturom tumači se vrtložnim gibanjem koje, međutim, ima os položenu uspravno ili koso na površinu sedimenata, a vrtloženje nastaje na mjestima gdje se susreću struje suprotne orijentacije (Myrow, 1992b).

Bez obzira što nema jedinstvenog mišljenja sedimentologa koja od spomenutih olujnih komponenti uzrokuje postanak “gutter cast” teksture, postoji gotovo jedinstveno mišljenje da su za njen postanak potrebni brzi erozijski tokovi koji u svojim pojedinim dijelovima nisu laminarni već imaju helikoidalna gibanja paralelna pružanju osi žljebova i koji na plitkom šelfu mogu biti prouzročeni jedino olujnim djelovanjem (Schröder, 1965; Bridges, 1972; Whitaker, 1973). Zbog toga “gutter cast” tekstura predstavlja jednoobrazni “zapis” jednog događaja – oluje na prostranom području šelfa, te se nameće zaključak da se taj “zapis” može iskoristiti pri korelaciji sedimenata međusobno udaljenih lokaliteta koji su dio istog sedimentacijskog bazena.



Sl. 2. Shematizirani prikaz slijeda Strmica s idealiziranim ciklusima uočenim u a) Siliciklastičnom b) Muljnom i c) Siltizno-muljnom litofacijesu. LEGENDA: 1. dominantno siltizni interval; 2. dominantno muljni interval s interkalacijama silita; 3. učestala izmjena silita i madstona; 4. dominantno muljni interval s interkalacijama krupnozrnatog detritusa; 5. interval s krupnozrnatim sedimentom; 6. dominantno muljni interval; 7. prekriveno; 8. djelomično prekriveno; 9. ciklusi metarskih dimenzija; 10. lapor; 11. karbonatni madston; 12. ooidni greinston; 13. pješčenjak; 14. silit; 15. šejl; 16. čestice < 0,004mm; 17. silt; 18. silt/pijesak; 19. čestice krupnozrnatog pijeska/šljunka; 20. paralelna laminacija; 21. undulozna laminacija; 22. laminacija riplova; 23. gradacija; 24. humčasta kosa slojevitost; 25. setovi kosih slojeva; 26. valni riplovi; 27. "gutter cast" tekstura; 28. amalgamacija; 29. ooidi; 30. skeletni lag; 31. Meandrospira; 32. amoniti; 33. bioturbacija; 34. ihnofosili; 35. tragovi utiskivanja.

Fig. 2. Schematised column at Strmica locality with idealised sedimentary cycles of a) Siliciclastic lithofacies b) Mudstone lithofacies c) Siltstone-Mudstone lithofacies. LEGEND: 1. siltstone; 2. laminated to thin-bedded mudstone interval with silt intercalations; 3. alternation of thin-bedded to laminated mudstone and calcarenaceous siltstone interval; 4. laminated to thin-bedded mudstone interval with skeletal lags; 5. coarse-grained sediment; 6. laminated to thin-bedded mudstone interval; 7. covered; 8. partly covered interval; 9. sedimentary cycle; 10. marl; 11. lime mudstone; 12. ooid grainstone; 13. sandstone; 14. siliciclastic siltstone; 15. shale; 16. particles < 0,004mm; 17. silt; 18. silt/sand; 19. coarse sandstone/gravel; 20. horizontal-plane lamination; 21. undulate lamination, 22. ripple cross-lamination, 23. vertical grading; 24. hummocky cross-bedding; 25. cross-bedding; 26. wave ripples; 27. gutter casts; 28. amalgamation; 29. ooids; 30. skeletal lag; 31. Meandrospira; 32. ammonites; 33. bioturbation; 34. trace fossils; 35. load casts.

Karakteristike vertikalnog slijeda

U slijedu sedimenata lokaliteta Plavno i Strmica izdvojena su tri litofacijesa koja su ilustrirana na primjeru slijeda Strmica (slika 2). To su *Siliciklastični litofacijes (donji skit, Sajske naslage)* te *Muljni i Siltozno-muljni litofacijes (gornji skit, Kampilske naslage)*. Uočen je također kontinuirani prijelaz iz dominantno siliciklastične sedimentacije donjeg skita u karbonatne madstone i lapore gornjega skita.

SILICIKLASTIČNI LITOFACIJES se sastoji od ciklusa metarskih dimenzija i ilustriran je slikom 2a. Gotovo svaki ciklus može se definirati strogim ritmom izmjene dvaju subfacijesa gdje je u oba dokumentirano djelovanje oluja.

Subfacijes tankoslojevitih šejlova, siltita i pješčenjaka karakteriziran je pojavom tankih olujnih slojeva pješčenjaka i siltita koji se izmjenjuju sa slojevima šejla taloženog između oluja. Paralelna laminacija te graduirana ritmičnost pješčenjaka i siltita ukazuju na olujno porijeklo (Reineck i Singh, 1972; Anderton, 1976; Kreisa, 1981). Oštra donja slojna ploha svjedoči o naglom početku taloženja, a kontinuirani prijelaz iz srednjeznatih pješčenjaka u sitnozmatije sedimente svjedoči o slabljenju energije u vrijeme jenjavanja oluje. Mjestimično prisutna tekstura utiskivanja ukazuje na veću količinu materijala naglo istaloženog površ hidroplastičnog mulja. Erozijom gornje površine paralelno laminiranih slojeva formirana je humčasta slojevitost koja je karakteristična za oluje, dok se laminacija valnih riplova također može interpretirati kao posljedica oscilatorne (valne) olujne komponente. Sedimenti ovog subfacijesa taloženi su u nešto dubljem (distalnijem) dijelu unutarnjeg šelfa. Podjela šelfa definirana je prema Harms et al. (1982).

Subfacijes debeloslojevitih pješčenjaka i oolita slijedi na subfacijesu tankoslojevitih šejlova, siltita i pješčenjaka. Subfacijes čine sitnozmatni i srednjeznati pješčenjaci te krupnozmatni ooidni grejnstoni. Debeli slojevi su produkt amalgamacije. Uslijed visokog energetskeg režima pri taloženju u vrlo plitkim sredinama šelfa (proksimalni dio unutrašnjeg šelfa) onemogućena je akumulacija šejla, osim u obliku tankih nekontinuiranih proslojaka. Kombinirani mehanizam jednosmjernog i oscilatornog (valnog) gibanja u vrijeme oluja odgovoran je za nastanak tekstura kao što su erozijske forme na donjoj slojnoj plohi, kosa slojevitost krupnih ooidnih dina, humčasta slojevitost pješčenjaka i erozija mulja. O naglom početku taloženja tijekom oluje kao i velikoj količini naglo istaloženog materijala govore i tragovi utiskivanja decimetarskih dimenzija na donjim slojnim ploham pješčenjaka. Karakteristike ovog subfacijesa interpretirane su taloženjem u vrlo plitkom, proksimalnom dijelu unutarnjeg šelfa i djelomično u predjelu potopljenog žala (shorefacea).

Ritmička izmjena dvaju subfacijesa kreira cikličnost Siliciklastičnog litofacijesa a njihova je vertikalna izmjena interpretirana opetovanim sniženjem ili povišenjem morske razine uslijed čega se taloženje stijena izdvojenih u subfacijese pomiče u snjeru prema obali ili od obale. Tako se dominantno pelitna sedimentacija

u distalnom unutarnjem šelfu (*Subfacijes tankoslojevitih šejlova, siltita i pješčenjaka*) prekida u trenutku naglog oplićavanja, uslijed čega krupnozmatiji sedimenti, taloženi u proksimalnom dijelu šelfa (*Subfacijes debeloslojevitih pješčenjaka i oolita*), progradiraju i naliježu na Subfacijes tankoslojevitih šejlova, siltita i pješčenjaka. Spomenuti ciklusi su metarskih dimenzija i mogu se interpretirati kao ciklusi 5. reda (slika 2).

Muljni litofacijes (slika 2b) karakterizira povišenje karbonatne pelitne komponente, odsustvo pješčenjaka i oolita te pojava vrlo debelih laminiranih ili tankoslojevitih intervala u kojima se izmjenjuju karbonatni madstoni, lapori i siltozni lapori. U njima se povremeno, bez izražene cikličnosti, pojavljuju skeletni lagovi sastavljeni od krupnozmatog materijala. Pojava bioturbacije i ihnofosila je česta. Vrlo rijetko u bazi ovakvih slojeva pojavljuje se "gutter cast" tekstura.

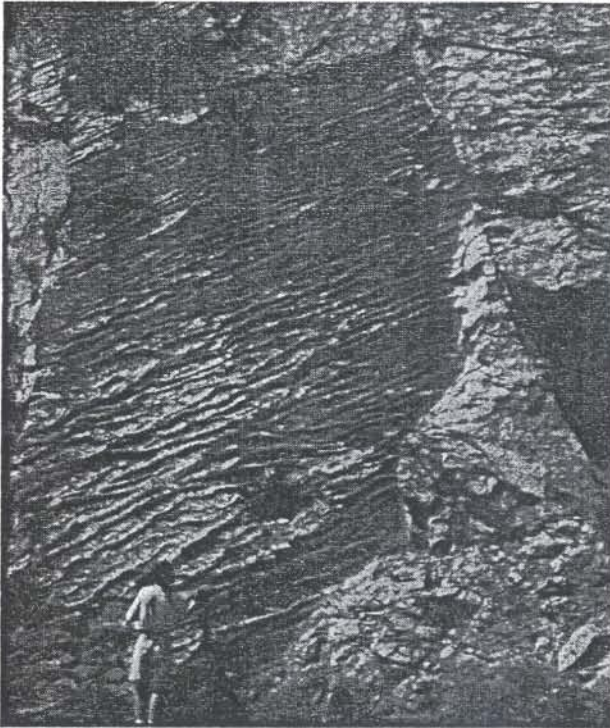
Karakteristike ovog litofacijesa odražavaju olujne procese u sredinama dubljega mora – vanjskog šelfa gdje se djelovanje oluja manifestira podizanjem već istaloženog sedimenta u suspenziju nakon čega krupniji skeletni fragmenti padaju na dno tvoreći olujni lag te bivaju zatpani sitoznatim sedimentom tijekom jenjavanja oluje. Sedimentacija pelitnog materijala nastavlja se u periodima bez oluja tvoreći debele intervale između dvaju olujnih događaja.

Siltozno-muljni litofacijes se sastoji od tankoslojevitih ili laminiranih intervala u kojima se lapori, siltozni lapori i karbonatni madstoni učestalo izmjenjuju sa slojevima kalkarenacejskih siltita (slika 2c). U siltitima se uz čestu pojavu graduirane ritmičnosti (Reineck i Singh, 1972) uočava humčasta ili valovita laminacija u vršnim dijelovima slojeva. Pojava bioturbacije kao i ihnofosili sačuvani na slojnim ploham su česti. U bazi kalkarenacejskih siltita, u oba slijeda, učestalo se pojavljuje "gutter cast" tekstura koja na otvorenim donjim slojnim ploham predstavlja otiske u obliku linearnih ili prepletenih žljebova (slike 2c, 3 i 4). U slojevima lapora također se pojavljuje fauna amonita.



Sl. 3. Donja slojna ploha kalkarenacejskih siltita s "gutter cast" teksturom linearna oblika (Siltozno-muljni litofacijes); dužina čekića je 33 cm.

Fig. 3. Lower bedding plane of calcarenaceous siltstone bed displaying linear gutter cast (Siltstone-mudstone facies); hammer for scale is 33 cm long.

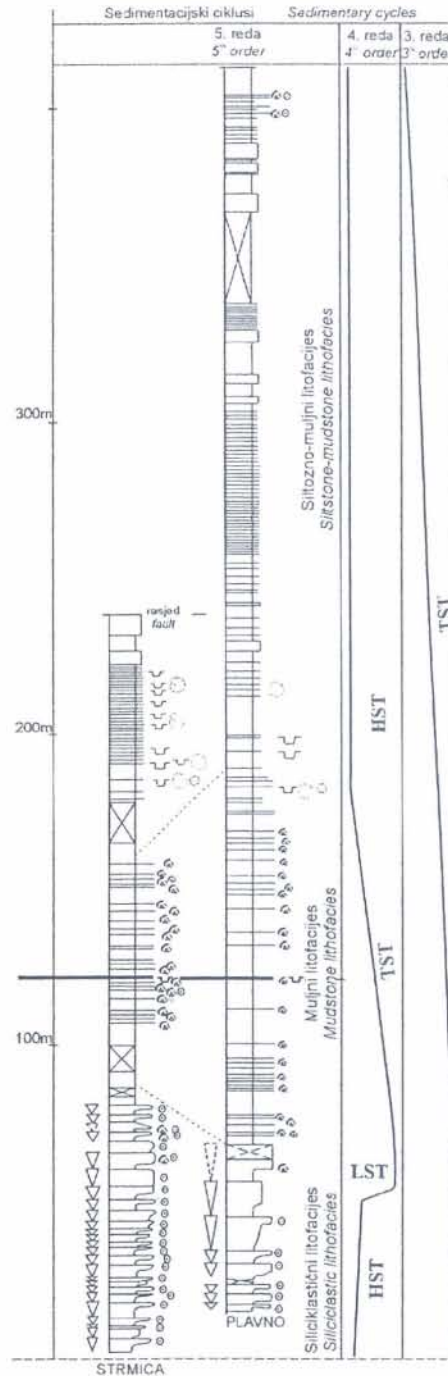


Sl. 4. Donja slojna ploha kalkarenacejskih silita s "gutter cast" teksturom prepletena oblika (Siltotno-muljni litofacijes).

Fig. 4. Lower bedding plane of calcarenaceous siltstone bed showing braided gutter cast pattern (Siltstone-mudstone facies).

Slojevi kalkarenacejskih silita s "gutter cast" teksturom, te karbonatnih madstona i lapora, predstavljaju alternaciju olujnih sedimenata – silita i sedimenata koji odražavaju mirnu, polaganu bazensku sedimentaciju uglavnom mulja u periodima između oluja (karbonatni madstona i lapori). Olujni slojevi silita u ovom litofacijesu sadrže karbonatni skeletni materijal pelitnih dimenzija koji je vjerojatno bio transportiran olujama nešto dalje od obale i predstavlja distalni odraz olujnih procesa podrazumijevajući iznenadni donos siltnog materijala iz obalnih plićih dijelova šelfa i taloženje na početku vanjskog šelfa.

U smislu detaljno proučenih litofacijesnih značajki u vertikalnom se slijedu oba istražena profila može, na nivou pravilnosti ciklusa četvrtoga reda, uočiti trend visoke vode (highstand systems tract, HST) koji prelazi u progradaciju za vrijeme razdoblja niske vode (lowstand systems tract, LST) zatim u transgresivni trend (transgressive systems tract, TST), te ponovno u sistem visoke vode (HST) (slika 5). Ako se čitav slijed promatra kao ciklus trećega reda, uočava se opći transgresivni trend.



Sl. 5. Distribucija litofacijesa na profilima Strmica i Plavno s pretpostavljenim trendovima oscilacije morske razine. Korelacija je načinjena obzirom na prvu pojavu "gutter cast" tekstuure vertikalno u slijedu. Valja uočiti da se u tom slučaju izuzetno dobro korcliraju intervali u kojem su prisutni amoniti kao i slojevi u kojima se po prvi puta pojavljuje foraminifera *Meandrospira pusilla*. Legenda kao na sl. 3; HST – period visoke vode, LST – period niske vode, TST – transgresivni trend; točkaste linije predstavljaju granice litofacijesa.

Fig. 5. Lithofacies arrangement in the Strmica and Plavno section with the high and low frequency sea level oscillations reconstructed. Correlation has been made according to the first appearance of the gutter casts. Note good correlation of the ammonoid bearing interval as well as good correlability of the first appearance of *Meandrospira pusilla* in sediment setting. Legend as in Fig. 3. HST – highstand systems tract, LST – lowstand systems tract, TST – transgressive systems tract; Dotted lines are lithofacies boundaries.

“Gutter cast” tekstura u profilima Plavno i Strmica

U profilima Plavno i Strmica “gutter cast” tekstura se prvi puta pojavljuje u Muljnom a zatim, učestalije, u Siltozno-muljnom litofacijesu (slika 5). Bitno je napomenuti da je ova pojava uvijek zabilježena u bazi olujnih slojeva čiji je početak obično markiran olujnim lagom (Muljni litofacijes) ili gradacijom proslojaka kalkarenacejskih siltita (Siltozno-muljni litofacijes). Na donjim slojnim plohama bilo je moguće razlikovati dva oblika pojavljivanja “gutter cast” teksture:

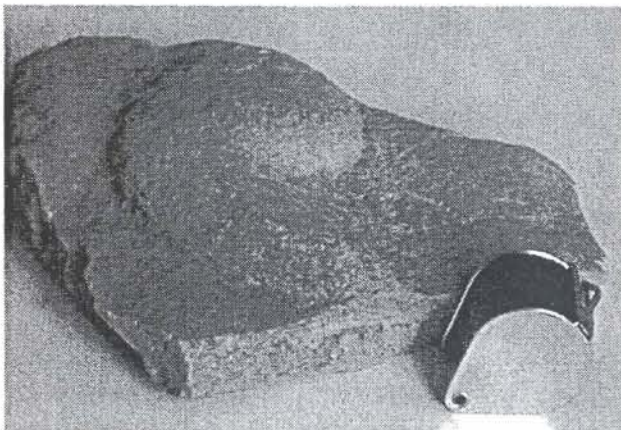
1) Kao izuzetno ravnih plitkih žljebova koji u poprečnom presjeku imaju oblik slova “U”, blago položenih stranica. Njihova širina ne prelazi 4 cm a dubina 2,5 cm. Ispuna žljebova je jednolična i odgovara ili vapnenačkom madstonu ili, češće, kalkarenacejskom siltitu. Izgled ovakvog varijeteta “guter cast-a” ilustrira slika 3.

2) Kao prepleteni žljebovi koji su u presjeku također “U” oblika no imaju uspravne stranice, a njihova je širina nekoliko puta veća od dubine. Na mjestima spajanja žljebova širina ponekad premašuje 15 cm. Izgled ovakvih žljebova ilustrira slika 4. Ispuna je također duž čitavog poprečnog presjeka homogena.

Bitno je naglasiti da je pružanje “gutter cast-a”, u slučaju oba varijeteta, približno isto i odgovara pravcu SI – JZ.

Vrlo često u literaturi opisana “gutter cast” tekstura može biti udružena i genetski povezana s tzv. “pot cast” teksturom (Alexander, 1932; Aigner i Futterer, 1978, Myrow, 1992b).

Tekstura koja bi mogla odgovarati “pot cast” teksturi uočena je u slijedu trijaskih sedimenata potoka Zmijavac kod Muća gdje su Ščavničar i Šušnjara (1983) detaljno opisali slijed te dali interpretaciju uvjeta taloženja. “Pot cast” tekstura u tom slijedu odgovara vrlo plitkim okruglastim, tanjurastim izbočinama, te ponekad postoji kratki žlijeb na jednoj strani izbočine (slika 6).

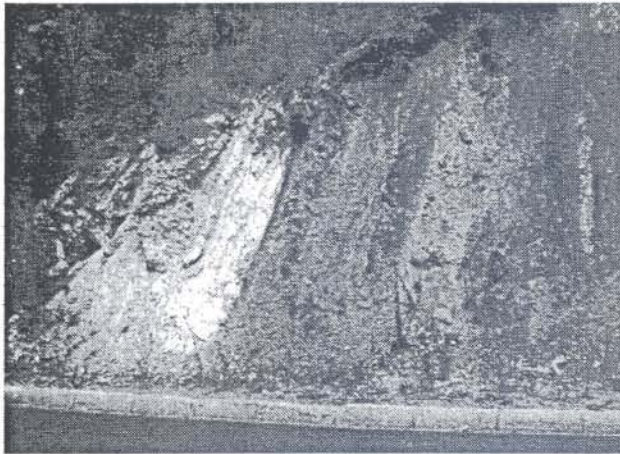


Sl. 6. “Pot cast” tekstura u sedimentima donjeg trijasa kod Muća.

Fig. 6. Pot cast from Lower Triassic sedimentary rocks at Muć locality.

Diskusija

U slijedu sedimenata Plavno i Strmica “gutter cast” tekstura može se tumačiti (kao što je tumačeno u većini suvremenih radova) kao posljedica djelovanja oluja jer su se sedimenti sva tri izdvojena litofacijesa taložili uz dominantnu ulogu oluja na šelfu. Olujni se utjecaj pritom različito manifestirao ovisno o dubini bazena (proksimalni ili distalni šelf). Promatrajući karakteristike vertikalnog slijeda sedimenata oba istražena lokaliteta mogu se uočiti isti trendovi – HST (agradacija) – LST (progradacija) – TST (transgresija) – HST (agradacija) (slika 5), no i različite debljine izdvojenih litofacijesa. U želji da se koreliraju dva opisana slijeda, najlakše je posegnuti za granicom između crvenih Sajskih, dominantno klastičnih naslaga i sivih Kampilskih, dominantno laporovitih naslaga kao korelacijskim reperom (slika 7). Ili, ako se promatra analiza litofacijesa, ta lako uočljiva razlika u litologiji predstavljala bi granicu Siliciklastičnog i Muljnog litofacijesa. No, postavlja se pitanje je li to odgovarajući kronostratigrafski reper.



Sl. 7. Lako uočljiva granica Sajskih (crvenih, dominantno siliciklastičnih) naslaga i Kampilskih (sivih, dominantno karbonatnih) naslaga isključuje se kao mogući korelacijski marker.

Fig. 7. Well observed boundary between Seis (red, siliciclastic rich) beds and Campil (grey, carbonate rich) beds is dismissed as a correlation marker.

Ako se promatraju debljine litofacijesa, može se uočiti da je Siliciklastični litofacijes na profilu Strmica bitno deblji nego na profilu Plavno, odnosno da je Muljni litofacijes deblji na profilu Plavno nego na profilu Strmica. Kako Siliciklastični litofacijes predstavlja taloge plićeg, proksimalnog šelfa, to se može pretpostaviti da su plitki marinski uvjeti na profilu Strmica trajali duže nego na profilu Plavno, te da je profil Strmica bio smješten bliže obali (slika 8a). U distalnom dijelu bazena (slijed Plavno) ukupna debljina ovog litofacijesa je manja kao što je prikazano shematski na slici 8a. Također, ako se promatra Muljni litofacijes, koji je čitavom svojom debljinom

prisutan u oba slijeda, može se uočiti da je na profilu Plavno on bitno deblji nego na profilu Strmica iz čega se pretpostavlja da su uvjeti sedimentacije vanjskog šelfa, u kojima su sedimentirani talozi Muljnog litofacijesa, na lokalitetu Plavno trajali duže. Posljedice progradacije odnosno transgresije koja je u čitavom bazenu nastupila u isto vrijeme ne očituju se litološkom promjenom jednako u svim dijelovima bazena. U dijelu bazena koji je bio bliže obali "progradacijski", Sajski će facijesi biti deblji (Strmica) dok će u distalnom dijelu bazena (slijed Plavno) njihova ukupna debljina biti manja kao što je prikazano shematski na slici 8b.

Ako se pak promatra transgresivni slijed u distalnom (dubljem) dijelu šelfa, transgresija će se očitovati promjenom sedimentacije iz tipično klastične u sve više karbonatnu ranije, tj. u slijedu sedimenata promjena od crvenih (Sajskih) u sive (Kampilske) sedimente biti će zabilježena niže u slijedu (slika 8b). Istovremeno se u proksimalnom (pličem) dijelu šelfa i dalje nastavlja sedimentacija crvenih klastita samo što se izgled ciklusa 5. reda mijenja u smislu da je debljina *Subfacijesa šejlova, silita i pješčenjaka* sve veća, a debljina *Subfacijesa pješčenjaka* i oolita sve manja.

To istovremeno znači da se promjene od progradacije (Sajske naslage, odnosno Siliciklastični litofacijesi) u transgresiju (Kampilske naslage, Muljni litofacijesi) ne manifestiraju isto u području bliže i dalje od obale.

Ako se korelacijom žele povezati dva istovremena događaja onda uobičajeni litostratigrafski princip spajanja granice Sajskih i Kampilskih naslaga ne bi bio prihvatljiv upravo zbog činjenice da je do promjene litologije (Sajske odnosno Kampilske naslage) došlo u različito vrijeme u različitim dijelovima bazena (slike 5 i 8).

Korelacijski princip koji bi uzimao u obzir izdvojene litofacijese također nije odgovarajući. Različita debljina pojedinog litofacijesa odraz je progradacijskih odnosno transgresijskih trendova u zavisnosti od položaja u sedimentacijskom bazenu pa korelacija određene granice facijesa nije odgovarajuća za rekonstrukciju geološke prošlosti.

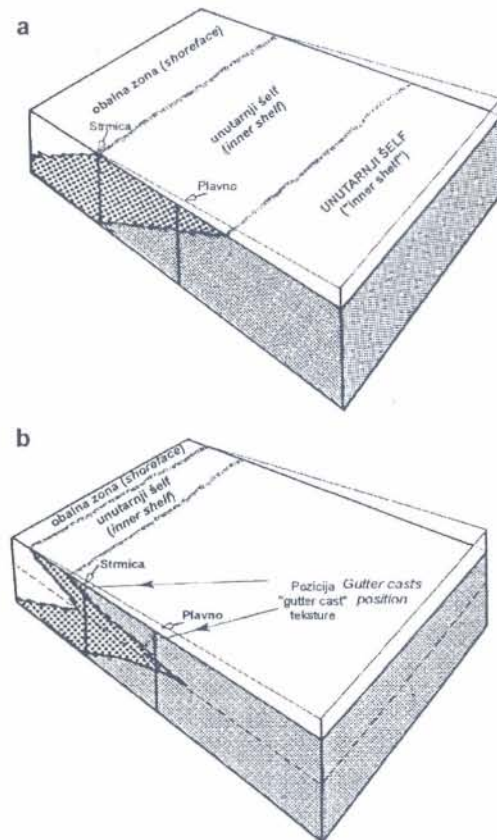
Detaljnju biostratigrafsku korelaciju nije bilo moguće napraviti, jer ne postoje precizni biostratigrafski markeri. Također ne postoji niti jedan sloj specifičnog litološkog sastava ili debljine koji bi mogao poslužiti kao litološki marker. Ostaje mogućnost iskoristiti zapis jedinstvenog događaja na širokom prostoru distalnog šelfa. To su oluje i njihov otisak u muljnom sedimentu – "gutter cast" tekstura kao mogući korelacijski marker.

Ako se promotri raspored "gutter cast-a" u sedimentima slijeda Plavno odnosno Strmica, može se uočiti njihovo učestalo pojavljivanje u određenom intervalu (od 184. do 221. metra slijeda). Također se može uočiti i njihova pojava prvi puta u oba slijeda 63m niže od početka spomenutog intervala (slika 5). Prva i izolirana pojava "gutter casta" zabilježena u Muljnom litofacijesu ukazuje da su uvjeti za njihov postanak bili relativno nepovoljni zbog prevelike dubine taložnoga prostora što je tunačeno

posljedicom transgresije. Prestankom transgresivnog trenda (TST) u razdoblju sedimentacije visoke vode (HST), ujednačenog donosa siltnog detritusa iz priobalja i punjenja bazena u ne tako dubokom moru, pojava "gutter cast" teksture je učestala jer je manja dubina povoljnija za njihov postanak.

Međusobnim povezivanjem prve pojave "gutter cast" teksture u oba stupa može se uočiti da se "gutter-i" ponovno počinju pojavljivati u istom nivou te da se ponovno mogu korelirati. U tom se slučaju poklapa i interval slijeda u kojem se pojavljuju amoniti što predstavlja stanovitu provjeru ispravnosti primjene "gutter cast" teksture kao korelacijskog markera. Isto vrijedi i za prvu pojavu foraminifere *Meandrosira pusilla* (slika 5).

Upotrebljavajući "gutter cast" teksturu kao korelacijski marker, što je u novijoj literaturi već korišteno kao princip korelacije (Jennette i Pryor, 1993; Myrow, 1992a) postaje razumljiva i razlika debljine izdvojenih litofacijesa odnosno položaj opisanih slijedova u sedimentacijskome bazenu na način kako je prikazano slikom 8. Lokalitet



Sl. 8. Taložni model s označenom pozicijom istraženih lokaliteta Plavno i Strmica. "Gutter cast" tekstura poslužila je kao korelacijski reper: a) Distribucija litofacijesa u progradacijskim uvjetima (LST); b) Distribucija litofacijesa u progradacijsko-transgresijskim uvjetima (LST-TST).

Fig. 8. Depositional model for Lower Triassic sedimentary rocks according to Plavno and Strmica section. Gutter casts served as a correlation marker. a) Lithofacies distribution in prograding conditions (LST); b) Lithofacies distribution in a progradation-transgression situation (LST-TST).

Plavno bio je smješten bitno dalje od obale što se manifestira karakteristikama prisutnih litofacijesa dok lokalitet Strmica odražava sedimentaciju u plicem dijelu šelfa, bliže obali.

Zaključak

“Gutter cast” tekstura predstavlja ravne ili prepletene žljebove razvijene na donjim slojnim plohama muljevitih i/ili siltoznih donjotrijaskih sedimentata istraženih na profilima Plavno i Strmica u okolici Knina. Njihova pojava u vertikalnom slijedu sedimentata oba lokaliteta tumači se posljedicom djelovanja oluja jer je taloženje sedimentata tri izdvojena litofacijesa - Siliciklastičnog (pridruženog crvenim Sajskim naslagama) te Muljnog i Siltozno-muljnog litofacijesa (pridruženih sivim Kampilskim naslagama) bilo bitno utjecano olujama. Pritom je pojava “gutter cast” teksture značajna u muljevitim i siltoznim sedimentima (Muljni i Siltozno-muljni litofacijesa) distalnoga, dubljeg šelfa. Spomenuta je tekstura nastala erozijom površine plastičnih sedimentata uslijed gibanja jednosmjernih ili kombiniranih olujnih struja uz prisustvo helikoidalne strujne komponente čija je os paralelna površini sedimenta. Osim po pojavi “gutter cast” teksture, istraženi se lokaliteti mogu uspoređivati na osnovi sličnosti litofacijesa i trendova povišenja ili sniženja morske razine pri čemu se, u oba vertikalna slijeda, pokazuje trend agradacije (HST), progradacije (LST), transgresije (TST) i ponovno agradacije (HST). Za korelaciju, međutim, nedostaje izokroni (litostratigrafski ili biostratigrafski) korelacijski marker. Kao izokroni korelacijski marker predložena je “gutter cast” tekstura koja predstavlja otisak jednog događaja - oluje na širem prostoru šelfa. Upotrebljavajući ovaj korelacijski marker pojavila se razlika debljina izdvojenih litofacijesa što je tumačeno položajem opisanih profila u sedimentacijskome bazenu. Sedimenti slijeda Strmica taložili su se u proksimalnom, plicem dijelu šelfa, te je Siliciklastični litofacijesa toga slijeda deblji. Suprotno tome, sedimenti profila Plavno odražavaju taloženje distalnoga, dubljega dijela bazena gdje su Muljni i Siltozno-muljni litofacijesa većih debljina nego na profilu Strmica. Također, ako se promatra transgresivni slijed u distalnom dijelu šelfa može se uočiti da je do promjene sedimentacije iz tipično klastične (crvene Sajske naslage) u dominantno karbonatnu sedimentaciju (sive Kampilske naslage) došlo prije u slijedu sedimentata Plavno smještenog u dubljem dijelu bazena. Zbog toga se uvriježeni korelacijski princip spajanja granice Sajskih i Kampilskih naslaga može isključiti kao neodgovarajući.

Zahvala:

Najiskrenije zahvaljujemo recenzentima Dr. sc. Bruni Safticu i Mr. sc. Adrijanu Koširu na dragocjenim sugestijama, komentarima i ispravcima koje su značajno doprinijele poboljšanju kvalitete ovog članka.

Primljeno: 15.09.2002.

Prihvaćeno: 01.11.2002.

LITERATURA:

- Aigner, T. (1985): Storm Depositional Systems: Dynamic Stratigraphy in Modern and Ancient Shallow-marine Sequences. Lecture Notes in Earth Sci. 3, Springer-Verlag, 173 pp, New York.
- Aigner, T. and Futterer, E. (1978): Kalk-Töpfe und Rinnen (pot and gutter casts) im Muschelkalk – Anzeiger für Wattermeer?. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen, 156, 285-304, Tübingen.
- Allen, P. (1962): The Hastings Beds deltas: recent progress and Easter field meeting report. Proc. Geol. Assoc. London, 73, 219-243, London.
- Alexander, H.S. (1932): Pothole erosion. Journal of Geology, 40, 305-337, Univ. of Chicago.
- Aljinović, D. (1995): Storm influenced shelf sedimentation – an example from the Lower Triassic (Scythian) siliciclastic and carbonate succession near Knin (southern Croatia and western Bosnia and Herzegovina). Geol. Croat., 48/1, 17-32, Zagreb
- Anderton, R. (1976): Tidal shelf sedimentation: an example from the Scottish Dalradian. Sedimentology, 23, 429-458, Blackwell Publishing, Oxford.
- Brenner, R.L. and Davies, D.K. (1973): Storm-generated coquinooid sandstone: genesis of high-energy marine sediments from the Upper Jurassic of Wyoming and Montana. Geological Society of America Bulletin, 84, 1685-1698.
- Bridges, P. H. (1972): The significance of toolmarks on a Silurian erosional furrow. Geol. Mag., 109, 405-410. Cambridge University Press, Univ. of Cambridge.
- Broadhurst, F.M. (1968): Large scale ripples in Silurian Limestones. Lethaia, 1, 22-38.
- Duke, W.L. (1990): Geostrophic circulation or shallow marine turbidity currents? The dilemma of paleoflow patterns in storm-influenced prograding shoreline systems. Jour. Sed. Petrol., 60, 870-883, Boulder, Colorado.
- Flood, R.D. (1983): Classification of sedimentary furrows and a model for furrow initiation and evolution. Geological Society of America Bulletin, 94, 630-639.
- Goldring, R. (1971): Shallow-water sedimentation as illustrated in the Upper Devonian Baggy Beds. Mem. Geol. Soc. London, 5, 80 pp, London.
- Goldring, R. and Aigner, T. (1982): Scour and Fill: The Significance of Event Separation. In: Einsele, G. and Seilacher, A. (editors): Cyclic and Event Stratification. 354-362, Springer Verlag, Berlin.
- Greensmith, J.T. (1965): Calciferous Sandstone Series sedimentation at the eastern end of the Midland Valley of Scotland. Jour. Sedim. Petrol., 35, 223-242, Geol. Society Publishing House London.
- Greensmith, J.T., Rawson, P.F. and Shalaby, S.E. (1980): An association of minor fining-upward cycles and aligned gutter marks in the Middle Lias (Lower Jurassic) of the Yorkshire Coast. Proceedings of the Yorkshire Geological Society, 42/4, No. 29, 525-538, London.
- Grimani, I., Šikić, K. and Šimunić, An. (1972): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000, list Knin. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geol. zavod Beograd.
- Grimani, I., Šikić, K. and Šimunić, An. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000, Tumač za list Knin. (Abs.: Geology of the Knin sheet), 61 pp, Savezni geol. zavod Beograd.
- Harms, J.C., Southard, J.B. and Walker, R.G. (1982): Structures and Sequences in Clastic Rocks. Lecture Notes for Short Course No. 9, 8-1, 8-51 pp. SEPM, Boulder, Colorado.
- Jennette, D.C. and Pryor, W.A. (1993): Cyclic alternation of proximal and distal storm facies: Kope and Fairview formations (Upper Ordovician), Ohio and Kentucky. Jour. Sed. Petrol., 63, 183-203, Boulder, Colorado.
- Kreisa, R. (1981.): Storm generated sedimentary structures in subtidal marine facies with example from the middle and upper Ordovician of Southwestern Virginia. Jour. Sed. Petrol., 51, 832-849, Boulder, Colorado.

- Martinsson, A. (1965): Aspects of a Middle Cambrian thanatotope on Öland. *Geologiska Föreningens. Förhandlingar*, 87, 181-230, Stockholm.
- Myrow, P.M. (1992a): Bypass-zone tempestite facies model and proximity trends for an ancient muddy shoreline and shelf. *Jour. Sed. Petrol.*, 62, 99-115, Boulder, Colorado.
- Myrow, P.M. (1992b): Pot and gutter cast from the Chapel island formation, Southeast Newfoundland. *Jour. Sed. Petrol.*, 62, 992-1008, Boulder, Colorado.
- Norman, J.O. (1964): Lake Vättern. Investigations on shore and bottom morphology. *Geografiska Annaler*, 46, 1-238.
- Reineck, H.E. and Singh, I.B. (1972): Genesis of laminated sand and graded rhythmites in storm-sand layers of shelf mud. *Sedimentology*, 18, 123-128, Blackwell Pub., Oxford.
- Prentice, J.E. (1962): Some sedimentary structures from a Weald Clay sandstone at Warnham brickworks, Horsham, Sussex. *Proc. Geol. Assoc.*, 73, 171-185, London.
- Schröder, V.L. (1965): Zur Sedimentologie des Mittleren Buntsandsteins. *Geologische Jahrbuch*, 82, 655-704, Hannover.
- Ščavničar, B. and Šušnjara A. (1983): The geologic column of the Lower Triassic at Muć (Southern Croatia). *Acta Geologica*, 13, 1-25, Zagreb.
- Whitaker, J.H.McD. (1973): „Gutter cast“, a new name for scour-and-fill structures: with examples from the Llandoveryian of Ringerike and Malmoya, southern Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 53, 403-417, Oslo.