

Glacijalni i periglacijalni sedimenti u Novigradskom moru

Tihomir MARJANAC¹, Ljerka MARJANAC² i Ernest OREŠKI²

¹⁾ Geološko-paleontološki zavod PMF, Ul. kralja Zvonimira 8, YU-41000 Zagreb

²⁾ INA-Geološki konzalting, Savska c. 88a, YU-41000 Zagreb

Ključne riječi: pleistocen, glacijacije, sedimenti, Dalmacija

Key words: Pleistocene, glaciations, sediments, Dalmatia

Krupnozrnati kvartarni sedimenti na jugozapadnoj obali Novigradskog mora interpretirani su kao glacijalni sedimenti – tiliti koji su istaloženi u formi završne morene, i fluvioglacijalni sedimenti istaloženi u blago meandrirajućim kanalima iznad starijeg dijamiktitnog tijela, te u prepletenim kanalima na nešto višem nivou. Lateralno u odnosu na tilit nalaze se jezerski sitnozrnati sedimenti s izoliranim ekstraktima koji su u jezerski okoliš dospjeli slobodnim padom nakon topljenja ledenih ploča. U jezerskim sedimentima utvrđene su varve – prerađeni turbiditi, i sedimenti istaloženi iz tokova koji su nastali otapanjem ledenjaka. Lokalno su nađene i krioturbacijske deformacije, a karakteristična je pojava »zdjela« koje su vjerojatno nastale otapanjem ledenih leća u sedimentu. Relativno česti su sedimentni klinovi metarskih dimenzija koji su ispunjeni dijamiktitom i/ili kalkarenitom, a interpretirani su kao sedimentom ispunjeni kalupi otopljenih ledenih klinova i trupaca stabala. Fluvioglacijalni sedimenti nalaze se iznad paleosola u krovini starijeg dijamiktita, i u pravilu su nekoliko redova veličine sitnozrnati od dijamiktita, a transport se odvijao paralelno današnjoj obali Novigradskog mora. Vjerojatno su nastali u vrijeme otapanja ledenjaka. Pojava 2 nivoa dijamiktita i paleosoli u podlozi jezerskih sedimenata, iznad starijeg dijamiktita i u podlozi mlađeg dijamiktita, te u njegovoj krovini ukazuju na periode s toplom klimom između kojih je vladala znatno hladnija klima (vjerojatno glacijali i interstadijali). Pretpostavljena je srednje pleistocenska starost prikazane oledbe i njenih sedimenata.

The coarsegrained Quaternary sediments at the southwestern bank of Novigradsko more in northern Dalmatia are interpreted as the glacial sediment – tillites deposited as a terminal moraine; and fluvioglacial sediments deposited in gently meandering channels above the older diamicite body, and in braided channels at slightly higher level. Laterally to tillite occur lacustrine finegrained sediments with varves – reworked turbidites, sediments deposited from glacial underflow and dropstones. Locally there also occur cryoturbations and characteristic »dishes« that probably originated by melting of buried ice lenses. Relatively frequent are also sediment wedges that present infilled ice wedge and trunk casts. Fluvioglacial sediments occur above the paleosol that overlies the older diamicite, and they are as a rule a few orders of magnitude finer-grained than diamicite. The transport acted parallel to the present coast line of Novigradsko more. It is likely that they originated during melting of glaciers. The occurrence of two diamicite levels and paleosols underlying lacustrine sediments, overlying older diamicite, underlying and overlying the younger diamicite indicate on periods with the warmer climate (probably interstadials) and in between acted much colder climate (probably stadials). The middle Pleistocene age is supposed for the presented glaciations and related sediments.

Uvod

Ideje o oledbama u području Velebita datiraju od kraja 19. i početka 20. stoljeća (Hranilović 1901, Gavazzi 1903 a,b i Schubert 1909), a pokušaja da se o njima raspravi s više argumenata nalazimo kod Bauera 1934 g. i Degena 1936 g. (pregledno u Poljak 1947). Nasuprot navedenim autorima Gorjanović (1902) i Poljak (1947) negiraju oledbe Velebita u svim njegovim dijelovima, što Poljak obrazlaže uglavnom diskusijom o reljefnim oblicima, a sedimente koje su prethodni autori smatrali za potvrdu svojih stavova pretežno tumači kao fluvijalne. Tek u novije vrijeme Nikler (1973) opisuje nedvojbene morene ispod Velikog Rujna što se može smatrati za prvi neosporni dokaz da su na Velebitu postojali dolinski ledenjaci. Završetak ledenjaka – tj. njegova završna morena danas se nalazi na nadmorskoj visini od 920 m. Belij (1985) razrađuje ideju o oledbi Velebita i rekonstruira cirkove i kretanja Ribničkog ledenjaka kojeg rekonstruira u duljini od 10,5 km.

Istraživano područje nalazi se duž jugozapadne obale Novigradskog mora (sl. 1), gdje su na postojećim kartama izdvojeni sedimenti gornje krede i

gornjeg kvartara (Schubert 1908), samo gornje krede (Oluić & al. 1970), odnosno senona (Ivanović & al. 1973). Izdanci tvore dobro otkrivenu abrazijsku terasu visine nekoliko metara, a promatranje je moguće duž 4,5 km duge obale i okomito na nju u dužini od desetak metara. Prikazani sedimenti na izdancima su istraženi snimanjem detaljnih sedimentoloških stupova, te snimanjem pojedinih segmenata izdanka u detaljnom mjerilu. Imbrikacije klasta i položaj tekstura mjerene su na svim dostupnim klastima i plohama da bi se upoznao smjer paleotransporta.

Neke karakteristike glacijalnih i periglacijalnih sedimenata

Glacijalni sedimenti tradicionalno se prepoznaju prema krupnozrnatim morenskim sedimentima – tilitima koji mogu, ali ne moraju sadržavati uglate i izglacane fragmente stijena, koje mogu potjecati iz bliskih ali i udaljenih izvorišta. Tiliti tvore sedimentna tijela – morene koje imaju karakterističan oblik i položaj u odnosu na ishodišni ledenjak; te veća sedimentna tijela kao što su drumlini i eskeri. Pre-

poznavanje navedenih sedimentnih tijela moguće je posredstvom avio-snimaka, ali i promatranjem s planinskih vrhova. Na osnovu 120 m visoke morene ispod Velikog Rujna koja je dobro uočljiva na terenu pleistocensku oledbu je potvrdio Niker (1973), i do danas to je jedini nedvojbjeni nalaz tragova glacijacije na Velebitu.

Periglacialni i proglacialni sedimenti mogu biti kopneni – karakterizirani permafrostom; lakustrinski i fluvijalni – s preradivanim glacialnim detritusom; te marinski. U proglacialnim okolišima osjeća se jak utjecaj bliskog ledenjaka, pa i donos detritusa kojeg je ledenjak nosio sobom. Taloženje detritusa može biti gravitacijsko (slobodan pad, gravitacijski tokovi detritusa) ili iz vodenih tokova (vučenjem čestica). Promatrani izvan konteksta, periglacialni i proglacialni sedimenti nisu prepoznatljivi sami po sebi, a na postanak u blizini ledenjaka mogu ukazivati malobrojne teksture koje su za sada poznate samo iz proglacialnih i periglacialnih prostora, kao što su krioturbacije (koje se lako zamijene s konvolucijama koje nastaju drugim procesima), ledeni klinovi i poligonalna tla. Potpuniji pregled proglacialnih i periglacialnih procesa i okoliša navode Washburn (1973), Edwards (1986) i drugi.

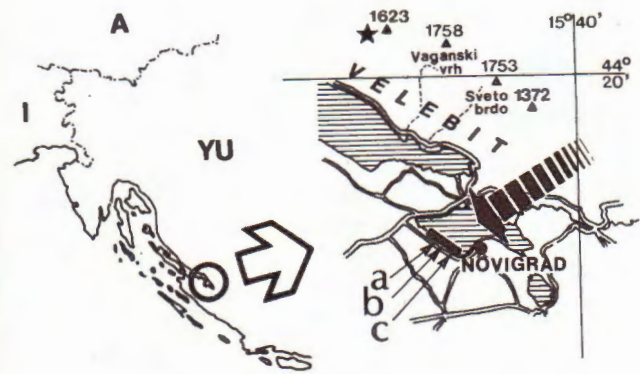
Međusobni odnos glacialnih i proglacialnih sedimentata može biti različit. Mogu biti u lateralnom kontaktu ali i superponirani. Prostor ispred čela ledenjaka koji se povlači je izuzetno dinamičan. Tu se talože i preraduju sedimenti koje je donio ledenjak, a istovremeno mogu nastajati i lakustrinski, odnosno marinski sedimenti. Prateći vertikalni slijed glacialnih i proglacialnih sedimentata mogu se rekonstruirati faze napredovanja i povlačenja ledenjaka (cf. Miller 1989).

Sedimenti i sedimentacijski procesi

Dijamiktiti

Na terenu su utvrđena dva nivoa dijamiktita. Stariji dijamiktit je otkriven u debljini od maksimalno 5 m (sl. 2), no kako se nalazi na samoj obali Novigradskog mora (sl. 3), sigurno je deblji – ali debljina ispod morske razine nije poznata. Mladi dijamiktit otkriven je u znatno manjoj debljini (cca 1-2 m) i prostiranje mu je ograničenije.

Stariji dijamiktit je najčešće masivan, a samo lokalno inverzno graduiran i stratificiran. U pravilu se sastoji od nepravilno raspoređenih krupnih dobro zaobljenih i sferičnih (sl. 4), ali i fasetiranih (sl. 5) vapnenačkih blokova, šljunčanog dobro zaobljenog detritusa i »osnove« koja se sastoji od sitnozrnatog do srednjezrnatog arenita u crvenkastom matriksu koji podsjeća na terra rossa. Volumen blokova dostiže nekoliko m³, a najveći izmjeren blok ima dimenzije 5,5×7×4 m i zaobljene rubove. Na dijelu izdanka gdje je otkriven stratificiran dijamiktit, izdužen i plosnat detritus je slabo imbiciran. U pravilu na gore opada udio osnove, a povećava se udio šljunka između velikih blokova, što je vjerojatno posljedica preradivanja i ispiranja sitnozrnatijeg detritusa tekućicama. Mjestimično se u gornjem dijelu dijamiktita vidi arenit koji je odozgo infiltriran u otvorenu rešetku dijamiktita. Tragovi struganja



Sl. 1. Položaj istraženog izdanka u Novigradskom moru. Zvezdica označava približnu lokaciju završne morene Ribničkog ledenjaka, a slova a, b, c, položaj sedimentoloških stupova na sl. 2. Crna strelica označava mogući smjer kretanja ledenjaka.

Fig. 1. Location of the explored section on the coast of Novigradsko more. Approximate location of the Ribnic glacier terminal moraine is indicated by a star, and letters a, b, c, indicate locations of sedimentologic columns at Fig. 2. Black arrow indicates possible direction of glacier advance.

Sl. 2. Karakteristični sedimentološki stupovi. Približan položaj na istraženom profilu prikazan je na sl. 1.

- jezerski okoliš sa sedimentima koji su nastali taloženjem iz gravitacijskih tokova i slobodnim padom (»dropstones«). Na stupu c vide se i ulošci konglomerata i sedimentni klin.
- kopno gdje su samo povremene bujice donosile šljunak i pijesak. Rizoidi ukazuju na kolonizaciju višim biljem.
- plitak kanal ispunjen krupnim pijeskom i šljunkom.
- korito meandrirajućeg toka s krupnim detritusom u dnu. Tečenje je bilo okomito na kose slojeve, tj. prema sjeverozapadu.
- stariji tiliti kojem gornja granica bila preradivana, a detritus pretaloživan u jezerski okoliš.

LEGENDA

- deformirana laminacija 2) valni riplovi 3) strujni riplovi 4) kosa laminacija 5) paralelna laminacija (uključujući i varve) 6) detritus veći od 2 mm 7) rizoidi 8) paleosol općenito 9) pokriveno 10) veličina zrna P=pelit M=srednjezrnati arenit R=rudit

Fig. 2. Characteristic sedimentologic columns. Approximate positions of the explored section are presented at Fig. 1.

- lacustrine environment with glacial outwash sediments and dropstones. At column c occur conglomerate interlayers and a sediment wedge that protrudes through lacustrine sediments.
- emergent land where only flash floods transported gravel and sand. Vegetative cover is indicated by rhizoids.
- shallow channel infilled with the coarse sand and gravel.
- meandering channel with a coarse channel lag. The flow was towards the northwest.
- older tilite with reworked upper boundary, and the debris was resedimented in the lacustrine environment.

KEY

- deformed lamination 2) wave ripples 3) current ripples 4) oblique lamination 5) parallel lamination (including varves) 6) debris coarser than 2 mm 7) rhizoides 8) paleosol in general 9) covered section 10) grain sizes P=pelite M=mediumgrained arenite R=rudit

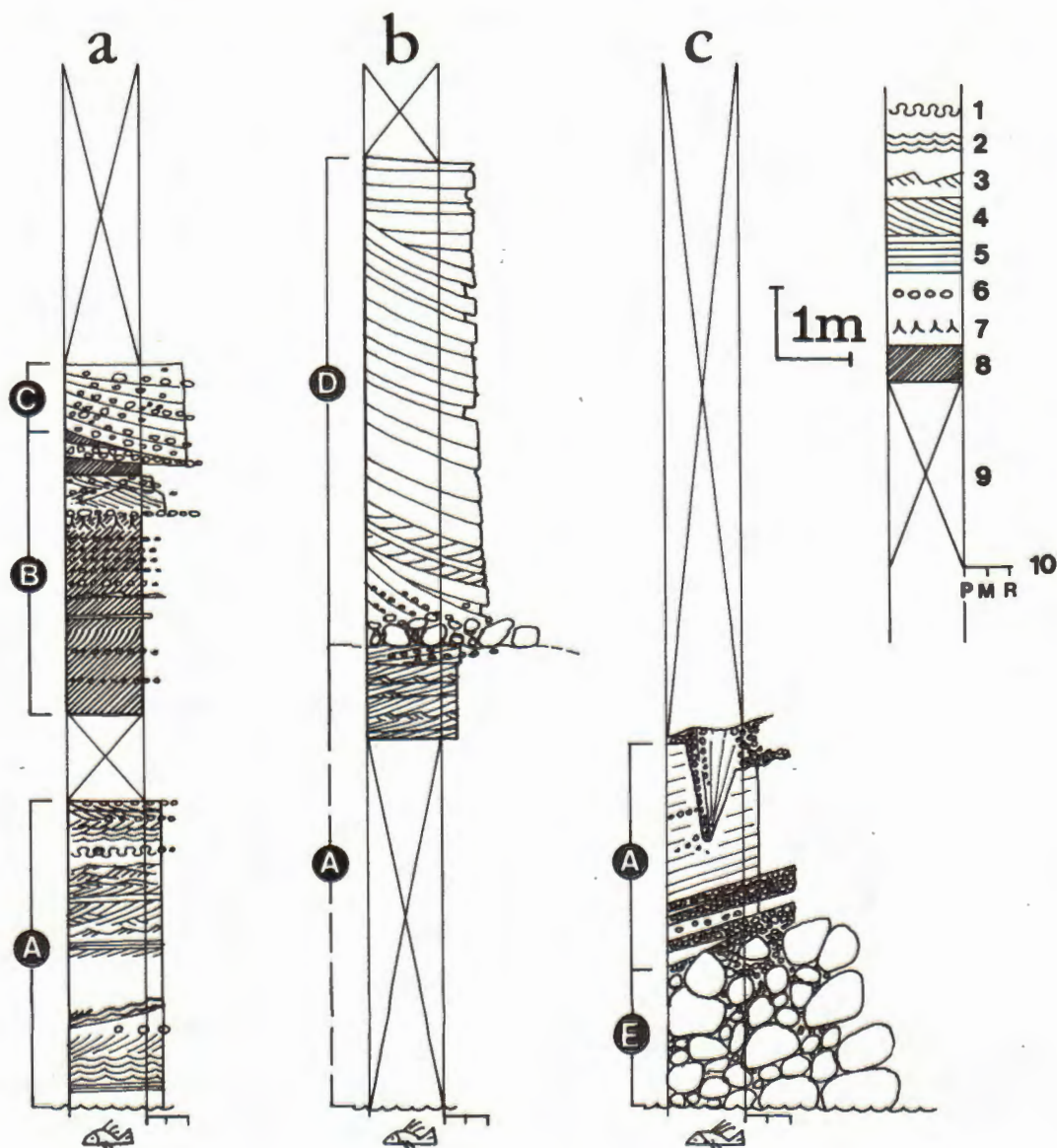
po podlozi (strije) uočeni su samo na nekoliko blokova, a i tada su bili slabo razvijeni – što je najvjerojatnije posljedica struganja po stijenama približno iste čvrstoće što nije moglo dati jasne brazde. Stariji dijamiktit tvori nekoliko ispupčenih sedimentnih tijela kojima se vidi reljef do 5 m visine, a baza im nije otkrivena – ali su u prostoru vjerojatno povezana. Ukupna debljina zato nije poznata, ali se prema morfologiji dna u priobalnom dijelu Novigradskog mora može pretpostaviti da iznosi desetak metara. Dijamiktit je nagnut prema moru pod kutem od cca 10° i u poprečnom presjeku vidi se isklinjavanje s konglomeratima (sl. 2 c), što upućuje na preradivanje dijamiktit. Lokalno se površ starijeg dijamiktita nalazi do 1 cm debela feromanganska kora smeđe do crne boje koja prekriva sve neravnine na podlozi, a lokalno se površ dijamiktita nalazi crvenosmeđi paleosol deo do 15 cm.

Mlađi dijamiktit je tanji, masivan s obilnom osnovom, a geometrija mu nije poznata zbog loše otkrivenosti na terenu.

Sastav detritusa je vapnenački; uočeni su fragmenti i blokovi različitih vapnenaca, npr. kristalasti-rekri-

stalizirani vapnenci bez vidljive mikrofaune, stromatolitni vapnenci i blokovi s bogatom rudistnom faunom koji su nađeni samo u istočnom dijelu starijeg dijamiktit, sitniji detritus paleogenskih forminiferskih vapnenaca i hibridnih arenita nepoznate starosti, te jedan klast kalцитom pseudomorfoziranog gipsa.

Granulometrijski sastav dijamiktit ukazuje na istovremeni transport i taloženje jako širokog spektra veličina zrna – od pijeska do metarskih blokova (sl. 3,4), što je moguće samo ledenjačkim transportom. Dobra zaobljenost i dobra sferičnost blokova ukazuje na zaobljavanje tokom transporta, a to je moguće u bazalnom dijelu ledenjaka gdje se vučeni detritus (podinska morena) kreće uz kontakt s podlogom i struže kako po podlozi, tako i među pojedinim blokovima. Na taj način neki su blokovi izbrusili ravne plohe na inače zaobljenoj površini, a krajnji stadij takvog obrađivanja su fasetirani blokovi (sl. 5). Zaustavljanjem ledenjaka nagomilavao se opisani detritus kao vučeni til (»lodgment till«). Lokalna stratifikacija u dijamiktitu vjerojatno je posljedica smicanja mase sedimenta pod pritiskom ledenjaka koji se još uvijek kretao. Tom prilikom su neki



pločasti klasti imbicirani i ukazuju na smjer vučenja prema jugoistoku – približno suprotno nagibu plohe smicanja. Otapanjem leda može se osloboditi i detritus kojeg ledenjak nosi u ledenoj masi i koji nije bio izložen zaobljavanju pa je češće uglat i nema polirane plohe; no i njega se teško razlikuje od vučenog tila, naročito ukoliko su superponirani i ukoliko su transportirane stijene mekane pa se lako zaobljavaju i pri neznatnom kotrljanju. Gornja granica tila vjerojatno je bila prerađivana tekućicama koje su ispirale sediment i prenosile pijesak i sitni ruditi u proglacijalno jezero gdje se isklinjavaju s jezerskim sedimentima. Feromanganska kora površ starijeg dijamiktita nastala je tokom dugotrajnog prekida sedimentacije na istaknutim dijelovima bazalnog tila, a paleosol trošenjem stijene tokom dužeg aridnog razdoblja.

Konglomerati

Konglomerati su za razliku od dijamiktita dobro pakirani, znatno bolje sortirani, s malim udjelom sitnozrnate osnove ili bez nje, često stratificirani i graduirani. Veličina zrna je u rasponu od krupnih valutica i oblutaka, do krupnog šljunka, premda se mjestimično mogu naći i malobrojni klasti promjera desetak centimetara. Mjestimično su imbicirani, a mjestimično je orijentacija klasta nepravilna. Često su inverzno graduirani što je posljedica transporta kod kojeg su se zrna sortirala sudaranjem, a time je prouzročena i djelomična imbrikacija diskoidalnih klasta. Normalno graduiranje odražava taloženje iz toka koji je slabio pa to ukazuje na jake oscilacije u kompetenciji toka koji je prenosio detritus. Geometrija slojeva je različita, mjestimično su ravni-planirani, a mjestimično su kosi. Debljina slojeva je različita, ali je reda veličine desetak centimetara, i najčešće tvore ispune plitkih kanala. Sastav detritusa je istovjetan sastavu detritusa u dijamiktitima pa je izvoriste vjerojatno bilo isto.

Konglomerati se pojavljuju samostalno, kao u jugoistočnom dijelu izdanka gdje ispunjavaju plitka (vjerojatno prepletena) korita, ili udruženi s kalkarenitima kao u kanalskim ispunama u sredini izdanka (sl. 2 b).

Kalkareniti

Kalkareniti su na istraženom profilu zastupljeni u cijeloj njegovoj dužini, ali im je debljina vrlo različita i iznosi od nekoliko desetaka centimetara do nekoliko metara. Veličina zrna je u rasponu od sitnozrnatog do krupnozrnatog arenita i rudita. Stupanj cementacije je različit – sitnozranti areniti mogu biti na istom izdanku slabo i jako cementirani, a srednjezrni i krupnozrni kalkareniti uglavnom nisu jako cementirani. Veći klasti u kalkarenitima su relativno rijetki i dosežu najveći promjer od 2-3 cm. Sitnozrni grade planarne-ravne slojeve, a srednjezrni i krupnozrni su najčešće u kanalskim ispunama gdje tvore kose slojeve i velike riplove (sl. 2 b). U kalkarenitima se često vidi jasna stratifikacija i inverzno te normalno graduiranje, što je posebno karakteristično za kose slojeve, i ukazuje na postanak iz tokova kojima je brzina jako oscilirala i u kojima

je bilo izraženo sudaranje zrna. Sedimentna lineacija je jako dobro razvijena na kosim slojevima i ukazuje na pravac transporta detritusa, a taj je paralelan pružanju kosih slojeva, odnosno SZ-JI.

U planarnim kalkarenitima vide se lijepi valni riplovi (sl. 6) i kosa laminacija, paralelna laminacija i konvolucije, te izrazite polarne »jezičaste« teksture (sl. 7). »Jezičaste« teksture su koso laminirane i nastale su tečenjem jako guste disperzije detritusa. Njihov položaj je u pravilu radijalan u odnosu na »zdjele« i sedimentne klinove (sl. 13), što ukazuje na njihovu genetsku uvjetovanost. Asimetričan oblik ukazuje na smjer tečenja, ali i na naglu konsolidaciju forme koja je izgleda bila otporna na daljnje prerađivanje.

Kalkarenitni prosljoci vide se i u najsitnozrnatijim kalkarenitima do kalksilititima koji se nalaze u lateralnom odnosu sa starijim dijamiktitom. Navedeni prosljoci su riplani – ponekad predstavljaju i izolirane riplove visine nekoliko centimetara, a razmaknute desetak centimetara, koji ne pokazuju jasno graduiranje i imaju mjestimično oštar kontakt s krovinskim sitnozrnatijim sedimentom. Riplovi (sl. 8) su izrazito asimetrični – strujni i pokazuju približno isti smjer toka, i vjerojatno su nastali taloženjem iz gravitacijskih tokova sedimenta nalik na mutne struje (turbiditi). Nakon taloženja sediment su prerađivale pridnene struje koje su tako stvorile sediment nalik na konturite (vidi Stanley 1988).

Riplovi u kalkarenitima koji su taloženi kao planarni slojevi, pa i cijeli slojevi arenita mjestimično su deformirani teksturama nalik na konvolucije s prebacivanjem »jezičaca«. Baza tih tekstura je gotovo ravna, a zakrivljenost se povećava na gore i interpretirane su kao krioturbacijske teksture koje nastaju smrzavanjem vodom bogatog glinovitog sedimenta što stvara jak pritisak uslijed kojeg se deformiraju sedimenti u krovini. Detaljniji prikaz postanka krioturbacijskih tekstura nalazimo kod Malez & Rukavina (1975) i Rukavina (1978), a poznate su i iz spiljskih okoliša (ibid).

Sitnozrnati sedimenti s. str.

Sitnozrnati sedimenti u užem smislu su vrlo sitnozrnati kalkareniti i kalcisilititi koji su lokalno otkriveni u debljini od više metara. Kalcisilititi su mjestimično masivni i grubo laminirani, mjestimično koso i koristasto laminirani; a mjestimično sadrže i tanke varve debljine nekoliko milimetara do nekoliko centimetara. Lokalno se unutar sitnozrnatih sedimenata nalaze i nepravilne leće glinovitog kalcisilitita koje imaju nejasne rubove i vjerojatno predstavljaju deformirane erozijske ostatke nekonsolidiranih sedimenata koji su nastajali taloženjem iz suspenzije. U navedenom tipu sedimenata lokalno se vide i bioturbacije. U starijem dijelu slijeda unutar sitnozrnatih sedimenata nalaze se i riplani sitnozrnati kalkareniti koji su interpretirani kao prerađeni turbiditi (sl. 8).

Na nekoliko nivoa u sitnozrnatom sedimentu nalaze se izolirani klasti promjera do 10 cm koji su taloženi istovremeno s taloženjem iz suspenzije, što se vidi po laminacijama koje se ne prekidažu oko klasta (sl. 9).

Masivni i grubo laminirani kalcisiltiti vjerojatno su nastali u jezerskoj sredini suspenzijskim taloženjem eolski donesenog silta.

Varve su nastale tako što su periodičke mutne struje donosile suspendirani detritus koji je nakon taloženja bio prerađen pridonjenim strujama, a tokom mirovanja u jezeru taložene su glinovite lamine koje su ponekad naknadno deformirane.

Izolirani veliki klasti dospjeli su do mjesta taloženja zarobljeni u ledenim blokovima i pločama što su plutale jezerom. Otapanjem se oslobađao uklopljeni detritus i taložio na dno među sitnozrnate sedimente. Valni riplovi koji su mjestimično razvijeni u planarnim sitnozrnatim arenitima ukazuju na postanak u relativno plitkom jezerskom okolišu.

Paleosoli

Mjestimično se uz sitnozrnate sedimente nalaze i žučkasti paleosoli koji na gore postepeno postaju crvenkastosmeđi. U gornjem dijelu paleosola nalaze se nizovi raspršenih valutica promjera nekoliko centimetara, a mjestimično se vide i desetak centimetara dugi rizoidi promjera oko 1 cm koji prodiru u podinski sediment, na primjer u fluvijalne rudite (sl. 11). Mjestimično se vide i sedimentni klinovi (sl. 12) koji su interpretirani kao ispune kalupa drvenih trupaca.

Paleosoli su nastajali trošenjem sitnozrnatih sedimentata u relativno toploj suhoj klimi na što ukazuje crveni kolorit što potječe od Fe oksida. Nizovi valutica su produkt epizodičnog donosa detritusa vjerojatno povremenim tokovima, a rizoidi i kalupi trupaca ukazuju na relativno dugotrajnu kopnenu fazu i topliju klimu tokom koje je više bilje koloniziralo supstrat.

Periglacijalni sedimentni oblici

Na istraženom profilu uočena su 3 tipa sedimentnih tijela koja su metarskog reda veličine, i vezane su za sitnozrnate sedimente kao što su sitnozrnati kalcareniti-kalcisiltiti i paleosoli.

»Zdjele«

U jugoistočnom dijelu profila otkriveno je nekoliko pravilnih kružnih uleknuća-»zdjela« promjera od jedan do više metara (sl. 10), a dubine do cca 1 m koje zauzimaju različite nivoe u sedimentu. Danas su sve te »zdjele« otvorene i ispuna nije poznata, osim cementiranog sitnozrnatog arenita koji se uz rub povija prema središtu depresija. Izgleda da su neke »zdjele« bile stepeničasto povezane, no to nije jasno vidljivo. Dno »zdjela« je ravno, ali je nerijetko blago nagnuto, rubovi su vertikalni ali s konkavnim prijelazom u dno. Cementirani arenit koji ih uz rub ispunjava ima karakteristične »jezike« koji ukazuju na naglo očvršle sedimentom izuzetno bogate tokove (sl. 7). Orijentacija tih »jezika« je radijalna u odnosu na »zdjele« što ukazuje na njihovu genetsku uvjetovanost.

Postanak opisanih sedimentnih formi može se tumačiti otapanjem leća leda koje su se nalazile plitko ispod sitnozrnatog arenita. Njihovim otapanjem nastale bi zdjelaste depresije, a oslobađanjem

voda bi pospješila tečenje nelitificiranog slabokonolidiranog sedimenta u krovini koji bi potom ispunio depresiju. Kako je sediment već bio donekle konolidiran, to je njegova gustoća bila velika (sadržavao je malu količinu vode) pa je tečenje moglo biti kratkotrajno. Oslobađanjem vode sediment se naglo zaustavio tako da su se mogle sačuvati »jezičaste« forme tečenja sedimenta. Prema pretpostavljenom mehanizmu postanka, »zdjele« bi mogle biti analozi većih periglacijalnih formi koje su poznate pod nazivom »kettle holes« ili »kettles«.

Sedimentni klinovi

U većem dijelu profila česti su sedimentni klinovi koji su barem djelomično ispunjeni krupnozrnatim sedimentima veličine krupnog šljunka. Njihova širina iznosi od desetak centimetara (sl. 13) do preko 3 m u najširijem dijelu (sl. 14). Na dolje se sužavaju, a dubina je u rasponu od desetak centimetara do više metara. Neki su izduženi (sl. 13), a neki su kružnog presjeka (sl. 12) s promjerom od desetak centimetara. Ispune su često vertikalno prutane (barem u rubnom dijelu), a rubovi su jasni i oštri. Rub najvećeg »klina« na sl. 14 omeđen je povijenim slojevima okolnih sedimentata što ukazuje na kolaps ruba i pretaloživanje detritusa u šupalj kalup. Ispuna većine »klinova« sastoji se od dobro zaobljenih valutica promjera nekoliko centimetara i srednjezrnatog pijeska u osnovi. Mjestimično je ispuna sitnozrnata i sastoji se od srednjezrnatog do sitnozrnatog arenita, a u »klinu« na sl. 14 i više metara debelog masivnog tamnocrvenog paleosola. Neke ispune izgledaju masivne, ali su češće subvertikalno prutane-stratificirane ispune (cf. Washburn 1973, sl. 3.14), odnosno ispune s povijenim sedimentima na rubovima koji se spuštaju u kalup, a na nekim sitnozrnatim slojevima razvijeni su i »jezici« (sl. 13). Na krajnjem zapadnom dijelu izdanka nalazi se 2,5 m širok, preko 3 m dubok sedimentni klin (sl. 15) ispunjen neuobičajenim vrlo krupnozrnatim slabozobljenim detritusom s klastima i do 20 cm promjera. Detritus ne pokazuje nikakvu organizaciju i vezan je za dijamiktit koji odgovara starijem tilitu. Prema položaju u odnosu na druge sedimentne klinove ovaj je najstariji.

Postotak prikazanih karakterističnih izduženih formi vezan je uz otapanje ledenih klinova što nastaju u permafrostu smrzavanjem vode u pukotinama nastalim uslijed kontrakcije nekonsolidiranog pijeska (vidi diskusiju o postanku u Malez 1965, Washburn 1973 i Young & Long 1976), a forme kružnog presjeka raspadanjem djelomično zatpanih drvenih trupaca. Na taj način su nastali kalupi u koje se prvo pretaložio detritus s rubova uslijed djelomičnog kolapsa strmih rubova i sedimenti pokrovnih naslaga. Na taj način nastali su i jako gusti tokovi koji su se naglo zaustavljali (? smrzavali) ostavljajući »jezike« na strmim plohama. Preostali prostor u kalupu naknadno je ispunio pijesak, a formu na sl. 14 ispunio je debeo paleosol. Forma na sl. 15 vjerojatno predstavlja kalup širokog ledenog klina formiranog u permafrostu ispred čela ledenjaka u vrijeme njegovog napredovanja, a ispuna je njegov bazalni til.

Ispuna kaverne?

U jugoistočnom dijelu izdanka nalazi se djelomično otkopano sedimentno tijelo širine 5 m, a visine 2 m kojem baza nije vidljiva (sl. 16).

Zidovi su izgrađeni od cementiranog sitnozrnatog arenita i u donjem dijelu su vertikalni, a ispunu predstavlja vrlo sitnozrnati laminirani arenit s malobrojnim ekstraktima u najnižem dijelu i dobro cementirani arenit koji tvori laminirane »police« i odvaja 4 mlade »etaže« sitnozrnatijeg sedimenta. Sediment »polica« uz rub pojave povija na dolje poput sedimenta koji ispunjava kavernu duž čijih rubova je moguća drenaža vode.

Postanak prikazanog sedimentnog tijela nije jasan, premda je sličnost s ispunama kaverni izrazita. Prikazana pojava je okružena sa svih strana jezerskim sedimentom pa se nameće zaključak da je po postanku mlada.

Sedimentacijski okoliši

Rekonstrukcija sedimentacijskih okoliša moguća je na osnovu poznavanja autohtonih (sitnozrnatih) i alohtonih (krupnozrnatih) sedimenta. Prosječno vrlo sjtno zrno arenita i silt te proslojci gline ukazuju na suspenzijsko taloženje u mirnom vodenom okolišu – jezeru. Dubina je bila relativno mala na što ukazuju valni riplovi i mjestimične bioturbacije. Varve su vjerojatno nastale sezonskom varijacijom u taloženju, a turbiditi su nastajali pretaloživanjem sitnozrnatog detritusa kojeg su prenosili gravitacijski tokovi, a prerađivale pridnene struje. Opisani okoliš bio je proglacijalno jezero, a transport turbidita bio je od aktivnog ledenjaka prema jezerskom bazenu. Jezero je vjerojatno nastalo otapanjem ledenjaka, a po njemu su plutale ledene ploče i blokovi koji su nosili krupan detritus što je nakon otapanja leda slobodnim padom dospjevao u sitnozrnate sedimente kao ekstrakti (»dropstones«). Lateralni odnos sitnozrnatih sedimenta i tilita može odražavati položaj čela ledenjaka koji je tu odložio završnu morenu.

Geometrija konglomerata i kalkarenita pokazuje da su ti sedimenti ispunili kanale. Njihova debljina iznosi više metara, a raspon je poznat samo u jednom slučaju (22 m). Prema položaju navedenih kanala može se zaključiti da je na svim stupovima istražen isti nivo fluvioglacijalnih sedimenta. Kosi slojevi u kanalima su tangencijalni i pružaju se paralelno pružanju kanala i pravcu transporta, na što ukazuje sedimentna lineacija i djelomično vidljiva geometrija kanala, a interpretirani su kao sprudovi (»point bar«) koji predstavljaju lateralnu akreciju u riječnim koritima. Os kanala blago je nagnuta (3–5°) prema sjeverozapadu. Manje teksture kao što su male dine u kanalu orijentirane su okomito u odnosu na kose slojeve. U dnu kanala mjestimično se vide krupni klasti veličine lopte, tzv. »channel lag« ali i feromanganska kora debljine do 1 cm koja je mjestimično erodirana, a klasti se pojavljuju u najstarijem dijelu kanalske ispune. To nam govori da u tom kanalu nakon zasjecanja duže vrijeme nije bilo sedimentacije pa su bili ostvareni uvjeti za kemogenu precipitaciju feromanganske kore. Naknadno je pak nastupilo razaranje tako stvorene kore i pretaloživanje

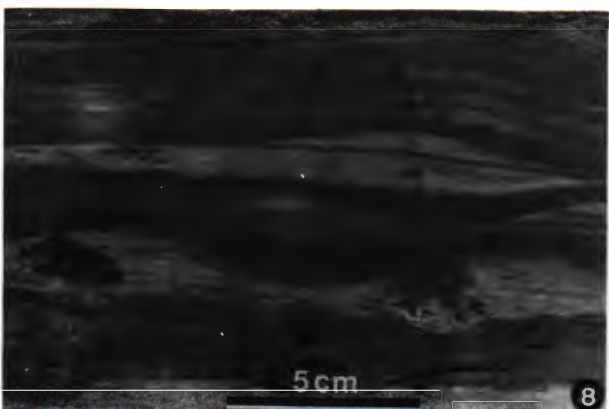
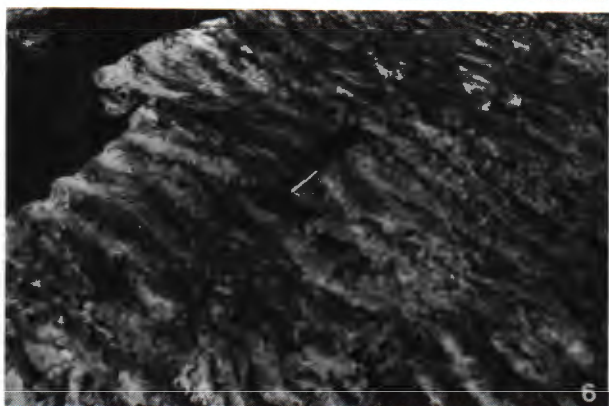
nastalog detritusa. U tom razdoblju u kanalu je bila znatno oslabljena cirkulacija vode pa su taložene gline. Vjerojatno je promatrani kanal bio privremeno pregrađen od glavnog korita ili su klimatski faktori (zahlađenje s oledbom) uvjetovali prestanak vodenog toka. Kako se čini da većina kanalskih ispuna odgovara različitim presjecima istog kanala, vrlo je vjerojatno da je to bio meandrirajući tok niskog sinuožiteta – na takvu interpretaciju ukazuju i karakteristike kanalske ispune koja je normalno građurana s izrazitom lateralnom akrecijom što je u skladu s modelom za meandrirajuće rijeke (Walker & Cant 1984). Paleotransport se kanalom odvijao generalno prema sjeverozapadu na što ukazuje nagib osi kanala.

Konglomerati u jugoistočnom dijelu izdanka nalaze se na najvišem nivou i vjerojatno predstavljaju najmlađi fluvioglacijalni sediment. Karakteristični plitki kanali i međusobno zasjecanje kanala svojstveni su za prepletene tokove s brzim lateralnim seljenjem korita i sprudova.

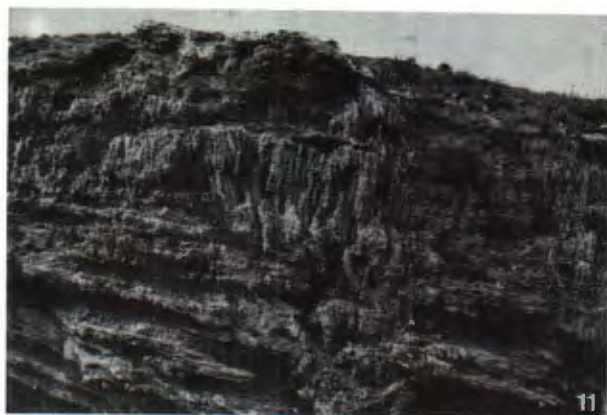
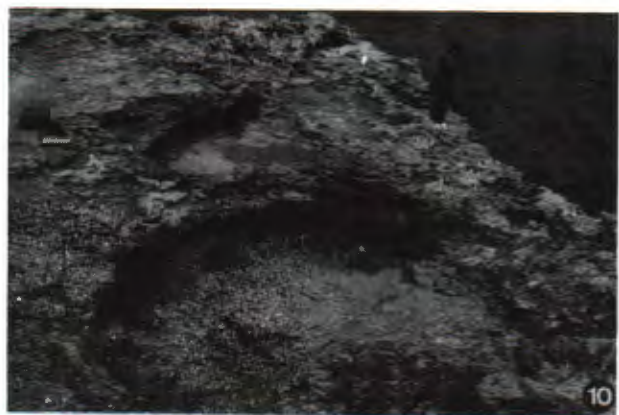
Diskusija

Na istraženom profilu se lakustrinski sedimenti nalaze u lateralnom odnosu s tilitom – završnom morenom koju predstavlja stariji dijamikt, a stratigrafski mladi su fluvioglacijalni sedimenti s kanalima koji imaju šljunčanu i pješčanu ispunu. Fluvioglacijalni sedimenti nastali su prerađivanjem tila i

-
- Sl. 3. Dio morene na obali Novigradskog mora, karakteristični su veliki blokovi dužine do 8 m, i širok spektar veličina klasta.
- Fig. 3. A part of moraine on the coast of Novigradsko more. Huge clasts up to 8 m long are characteristic, as well as the wide spectrum of grain sizes.
- Sl. 4. Blokovi su dobro zaobljeni, a mjestimično i izbrušeni (fasetirani).
- Fig. 4. Blocks are well rounded, and locally grind off (faceted).
- Sl. 5. Izrazito fasetiran blok.
- Fig. 5. Characteristic faceted block.
- Sl. 6. Valni riplovi na planarnom arenitnom proslojku u jezerskim sedimentima na stupu a. Osciliranje vode bilo je pravcem sjever-jug.
- Fig. 6. Wave ripples on planar arenite interbed in lacustrine sediments on section a. Water oscillated north-south.
- Sl. 7. »Jezici« razvijeni uz rub »zdjele« unutar jezerskih sedimenta u blizini stupa a.
- Fig. 7. »Tongues« formed along a »dish« within lacustrine sediments near the section a.
- Sl. 8. Varve u jezerskom sedimentu često su predstavljene prerađenim turbiditima u izmjeni sa sedimentom istaloženim iz suspenzije.
- Fig. 8. Varves in lacustrine sediments are frequently presented by reworked turbidites in alternation with sediments deposited from suspension.
- Sl. 9. Ekstrakt u grubo laminiranom kalcisiltitu nedaleko stupa a. Lokalno vide se i klasti promjera do 30 cm.
- Fig. 9. Dropstone in crudely laminated calcisiltite in vicinity of the section a. Locally occur dropstones with diameter of 30 cm.



- Sl. 10. »Zdjele« nedaleko stupa a, dubina do 1 m, a uz rub su razvijeni »jezici«.
- Fig. 10. »Dishes« in vicinity of the column a, depth up to about 1 m, and »tongues« occur along margins.
- Sl. 11. Rizoidi iz horizonta s paleosolom prodiru u gornji dio koso uslojenih fluvijalnih kalkarenita. Promjer rizoida je oko 1 cm.
- Fig. 11. Rhizoids penetrate from the paleosol horizon into the upper part of cross bedded fluvial calcarenites. Their diameter is about 1 cm.
- Sl. 12. Sedimentni klin kružnog presjeka ispunjen kalkarenitom i raspršenim šljunkom, prodire kroz paleosol i interpretiran je kao ispuna kalupa nastalog od drvenog trupca.
- Fig. 12. The sedimentary wedge with rounded section filled with calcarenite and dispersed gravel penetrates through paleosol, and is interpreted as the infill of a trunk cast.
- Sl. 13. Izduženi sedimentni klin s »jezicima« uz rub, interpretiran je kao ispunjen kalup ledenog klina.
- Fig. 13. Elongated sedimentary wedge with »tongues« occurring along the margin, interpreted as infill of the ice wedge.
- Sl. 14. Veliki sedimentni klin, u najširijem dijelu promjera 3 m i dubok preko 3 m, dopireva do tilita u bazi. Uz rub su okolni sedimenti povijeni prema »klinu«. Ispuna je arenit pretaložen s rubova i više metara debeo paleosol. Širina motiva na slici je 4 m.
- Fig. 14. The large sedimentary wedge, 3 m wide in the widest section, and more than 3 m deep, reaches the underlying basal tite. Along its margins the neighbouring sediments are inclined towards the wedge. The infill is arenite resedimented from margins and a few meters thick paleosol. The motif width on the photo is about 4 m.
- Sl. 15. Sedimentni klin s izrazito krupnozrnatom ispunom koja prodire od dijamiktita na dolje. Promjer pojedinih klasta je 20 cm.
- Fig. 15. Sedimentary wedge with distinctly coarse grained infill that penetrates downwards from diamicite. The diameter of individual clasts is up to 20 cm.
- Sl. 16. Moguća ispuna kaverne u kalcisiltitu.
- Fig. 16. Possible fossil cavern infill in calcisiltites.



predstavljaju istovremeni sediment na cijelom profilu. Prerađivanjem tila nastao je detritus koji je istaložen u kanalima kojima se transport odvijao približno prema sjeverozapadu barem u istraženom dijelu profila. Stariji (?) kanali u srednjem dijelu profila bili su meandrirajući premda se čini da su imali nizak sinuoзитet na što ukazuju dugi presjeci. Izvorište prerađenog detritusa nije bio til kojeg nalazimo u podini – jer sediment koji je nastao njegovim prerađivanjem nemožemo naći u njegovoj krovini, već potječe od mlađeg tila koji je otkriven u jugoistočnom dijelu izdanka. Jezerski sedimenti koji se lokalno nalaze neposredno iznad bazalnog tilita ukazuju na povlačenje i otapanje ledenjaka. Otapanjem leda mogle su se osloboditi velike količine vode koje su mogle stvoriti riječna korita, a tok je tekao uzduž starije čeonne morene prema sjeverozapadu. Povrh istaknutih dijelova starijeg tilita mjestimično je razvijena feromanganska kora, a mjestimično i paleosol što ukazuje na topliju klimu i postanak tokom interstadijala ili interglacijala.

Iz navedenog slijeda sedimentata mogu se rekonstruirati 2 perioda zahlađenja od kojih je starije bilo izraženije, s debljom morenom koja je odložena na južnoj obali Novigradskog mora. Mlada oledba slijedi nakon dužeg toplog razdoblja tokom kojeg je nastao paleosol, a samo povremeno se formiralo i plitko jezero. Mladu oledbu dokazuju periglacijalne pojave (»zdjele« i sedimentni klinovi) i dijamiktiti. Prerađivanjem dijamiktita u humidnom razdoblju nastajali su fluvio-glacijalni sedimenti u okolišu meandrirajuće rijeke, a na nešto višem nivou i prepletene rijeke.

Do sada je bilo poznato da je Velebit bio zahvaćen virmskom oledbom na visini iznad 920 m (Nikler 1973), odnosno 840 m (Belij 1985), a općenito je prihvaćeno da je oledba u južnoj Evropi zahvaćala samo visoke planinske vrhove (Aubouin 1980). Frakes (1979) navodi da je po raširenosti u Alpama najizraženija riska oledba, a potom mindelska pa virmska. Može se dakle pretpostaviti da tragovi oledbe koje smo utvrdili u Novigradskom moru pripadaju oledbama s najvećim prostiranjem u Alpama, dakle riskoj i možda mindelskoj, odnosno sredini pleistocena, što je u skladu sa starošću jezerskih sedimentata u području Žegara i Ervenika (Malez & Sokač 1969).

Ishodište dolinskog ledenjaka koji je prenio ovako obilan detritus, na osnovi podataka kojima ovog trenutka raspolazemo, nije poznato. Nalaz valutice kalcificiranog gipsa može ukazivati na donos sa sjeveroistoka, iz širijeg područja Zrmanje; međutim ovo pitanje smatramo otvorenim, a odgovor bi trebao pružiti nastavak istraživanja.

Zaključak

Istraženi sedimenti su interpretirani kao glacijalni i periglacijalni sedimenti, a otkriveni su duž jugozapadne obale Novigradskog mora. Na postanak iz aktivnog ledenjaka ili u njegovoj blizini ukazuju slijedeća svojstva sedimentata:

– vrlo krupnozrnat dijamiktiti polimodalnog sastava s dobro zaobljenim klastima,

- volumen pojedinih klasta doseže i do nekoliko m³, a najveći je 154 m³,
- fasetirani i izbrušeni blokovi,
- tragovi vučenja (strije) na nekim blokovima,
- izolirani klasti decimetarskih dimenzija u jezerskom sedimentu (»dropsotnes«).

Na postanak u periglacijalnom prostoru ukazuju slijedeća svojstva sedimentata:

- sedimentni klinovi,
- »zdjele« razvijene u jezerskim sedimentima, a interpretirane kao male »kettle«-forme,
- krioturbacije u sitnozrnatim jezerskim sedimentima.

Prerađivanjem glacijalnih sedimentata nastajali su periglacijalni sedimenti koji su predstavljeni konglomeratima i šljuncima što ispunjavaju korita meandrirajućih tokova s dobro izraženom lateralnom akrecijom, ali i korito prepletenog toka kojem prostiranje nije poznato.

Ishodište prikazanog ledenjaka nije poznato ali bi najbliže izvorište valutice kalcificiranog gipsa koja je nađena u dijamiktitu moglo biti u širijem području gornjeg toka Zrmanje.

Ledenjak se vjerojatno kretao sa sjevera-sjeveroistoka, a prerađivanje detritusa bilo je prema sjeverozapadu, što je vjerojatno samo lokalna pojava.

Opisani sedimenti dokazuju da su dvije pleistocenske oledbe Vanjskih Dinarida dostigle današnji nivo mora na sjevernoj geografskoj širini od 44°12'.

Zahvala

Prikazani rezultati dobiveni su u sklopu istraživanja na projektu »Sedimentološko-stratigrafska istraživanja naslaga neogena i kvartara Vanjskih Dinarida« koja je za potrebe INA-Naftaplina izvodio INA-Projekt s vanjskim suradnicima. Ovom prilikom najsrdačnije zahvaljujemo INA-Naftaplina na odobrenju za publikiranje ovog rada, i akademiku Mirku Malezu na korisnim recenzentskim sugestijama.

Premda na novijim geološkim kartama kvartarni sedimenti na obali Novigradskog mora nisu izdvojeni; tokom terenskih istraživanja u sklopu izrade Osnovne geološke karte list Obrovac, kvartar je bio registriran i izdvojen na radnoj karti, a zbog mjerila karte kasnije nije bio reproduciran (Velić, I., usmena obavijest).

Predano: 3. I. 1990.

Prihvaćeno: 7. V. 1990.

LITERATURA

- Aubouin, J. (1980): Geology of Europe: a synthesis. Epizodes 1, 3-8. Ottawa.
- Belij, S. (1985): Glacijalni i periglacijalni reljef južnog Velebita. Pos. izd. Srpskog geografskog društva 61, 5-68, Beograd.
- Edwards, M (1986): Glacial Environments. U: Sedimentary Environments and Facies, II ed. (ur. Reading, H.G.), 445-470, Blackwell Sci. Publ., Oxford.
- Frakes, L.A. (1979): Climate Through Geologic Time. Elsevier Sci. Publ. Co., 310, New York.
- Gavazzi, A. (1903 a): Tragovi oledbe u našem kršu. Glasnik hrv. naravoslovnog društva 14, 174-175, Zagreb.
- Gavazzi, A. (1903 b): Trag oledbe na Velebitu? Glasnik hrv. naravoslovnog društva 14, 459, Zagreb.
- Gorjanović, D. (1902): Geomorfološki problemi iz hrvatskog krasa. Glasnik Hrv. naravosl. društva 13/4-6, 193-196, Zagreb.
- Hranilović, H. (1901): Geomorfološki problemi iz hrvatskog krasa. Glasnik Hrv. naravosl. društva 13/1-3, 93-133, Zagreb.

- Ivanović, A., Sakač, K., Marković, S., Sokač, B., Šušnjar, M., Nikler, L. & Šušnjara, A. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, List Obrovac L 33-140, Savezni geol. zavod, Beograd.
- Malez, M. (1965): O nekim periglacialnim pojavama u pleistocenu Slavonije. *Geol. vjesnik* 18/1 (1964), 159-165, Zagreb.
- Malez, M. & Rukavina, D. (1975): Krioturbaijske pojave u gornjopleistocenskim naslagama pećine Vindije kod Donje Voće u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. *Rad Jug. Akad. znan. umj.* 371, razr. prir. znan., 17, 245-265, Zagreb.
- Malez, M. & Sokač, A. (1969): O starosti slatkovodnih naslaga erveničkog i žegarskog polja. III simp. din. asocij., I, 81-93, Zagreb.
- Miller, J.M.G. (1989): Glacial advance and retreat sequences in a Permo-Carboniferous section, central Transantarctic Mountains. *Sedimentology* 36/3, 419-430, Blackwell. Sci. Publ., Oxford.
- Nikler, L. (1973): Nov prilog poznavanju oledbe Velebita. *Geol. vjesnik* 25 (1971), 109-112, Zagreb.
- Oluić, M., Haček, M. & Hanich, M. (1970): Fotogeološko-tektonska interpretacija šireg područja Bukovice (sjeverna Dalmacija). *Geol. vjesnik* 24, 57-63, Zagreb.
- Poljak, J. (1947): O zaledenju Velebita. *Geol. vjesnik* 1, 125-148, Zagreb.
- Rukavina, D. (1978): Pojave krioturbaicija u spiljskim sedimentima: slijed spiljske sedimentacije. *Vodič ekskurzije* 3. skupa sed. Jugosl. Zagreb, 43-48, Zagreb.
- Schubert, R.J. (1908): *Geologische Spezialkarte der Österr.-Ungar. Monarchie* 1:75000, Novegradi-Benkovac.
- Schubert, R.J. (1909): *Geologija Dalmacije*. Matica Dalmatinska, 3-183, Zadar.
- Stanley, D.J. (1988): Turbidites Reworked by Bottom Currents: Upper Cretaceous Examples from St. Croix, U.S. Virgin Islands. *Smithsonian Contributions to the Marine Sciences* 33, 1-79, Smithsonian Inst. Press, Washington D.C.
- Walker, R.G. & Cant, D.J. (1984): Sandy Fluvial Systems. U: *Facies Models*, II ed. (ur. Wakler, R.G.), 71-89, Geoscience Canada, Toronto.
- Washburn, A.L. (1973): *Periglacial processes and environments*. Edwards Arnold Ltd., 320, London.
- Young, G.M. & Long, D.G.F. (1976): Ice-wedge casts from the Huronian Ramsay Lake Formation (>2.300 my. old) near Espanola, Ontario, Canada. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* 19/3, 191-200, Elsevier Sci. Pub. Co., Amsterdam.

Glacial and periglacial sediments in Novigradsko more, Northern Dalmatia, Yugoslavia

T. Marjanac, Lj. Marjanac and E. Oreški

The ideas on glaciations of the Velebit Mountain date back to the turn of the century, Hranilović (1901), Gavazzi (1903 a,b), Schubert (1909). While Hranilović (1901), Bauer in 1934 and Degen in 1936 (Poljak 1947) claimed various evidences of glaciation, Gorjanović (1902) and Poljak (1947) negated any glaciation in any part of the Velebit Mountain. So far the only undeniable proof of glaciation was the report on terminal moraine on Veliko Rujno peak (Nikler 1973), and geomorphological discussion by Belij (1985). The above mentioned terminal moraine is located 920 m above present sea level.

The explored section is located along the southwestern coast of Novigradsko more in Northern Dalmatia near city of Obrovac. The Quaternary deposits are cropping out along 4,5 km long coast line, but they were not satisfactorily presented in existing geological maps, if at all (Schubert 1908. Oluić & al. 1970. Ivanović & al. 1973).

The explored sediments are interpreted as glacial and periglacial sediments; and the following characteristics and features indicate deposition from a melting glacier or in its vicinity:

- unsorted very coarsegrained diamictite with polymodal composition and well rounded clasts,

- volume of individual clasts reach several cubic meters, the largest one is 154 m³,
- faceted and polished blocks,
- dropstones in lake sediments.

The periglacial environment of some sediments is indicated by:

- cryoturbaitions in finegrained sediments,
- sediment wedges,
- »dishes« developed in lake sediments, interpreted as small-scale kettles.

Reworking of glacial sediments formed periglacial sediments that are represented by conglomerates and gravels that are infilling meandering channels with the well developed lateral accretion.

The source of the presented valley glacier is unknown, but the nearest source of calcified gypsum pebble found in diamictite can be in the area in vicinity of Zrmanja river on the northeast.

So, the glacier probably came from the north-northeast, and reworking of debris acted towards the northwest, but probably the later is only a local characteristic.

The described sediments indicate that two Pleistocene glaciations of Outer Dinarides reached the present sea level at 44°12' north latitude.