

Biostratigrafske i sedimentološke značajke donje krede otoka Veli Brijun i usporedba s odgovarajućim naslagama jugozapadne Istre

Ivo VELIĆ¹ i Josip TIŠLJAR²

¹Geološki zavod Zagreb, Sachsova 2, p. p. 213, YU — 41000 Zagreb,

²Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu,
Pierottijeva 6, YU — 41000 Zagreb

Karbonatnim sedimentima otoka Veli Brijun određena je stratigrafska pripadnost gornjem baremu i donjem aptu, te vršnom dijelu donjeg alba i početku gornjeg alba. Taloženi su u izrazito plitkomorskim, dinamičnim okolišima karbonatne platforme na relaciji plitki subtidal — intertidal s čestim izronjavanjima. Definiranje starosti otisaka stopala gmazova u gornjem baremu i u dva horizonta donjeg alba dovodi se u vezu s opetovanim emerzijama i okopnjavanjem ovdje i u susjednim terenima Istre, gdje je utvrđen maksimalni hijatus raspona gornji barem — vršni dio donjeg alba.

The age of carbonate deposits of the Veli Brijun Island has been established as the Upper Barremian, Lower Aptian, Uppermost lower Albian, and basal Upper Albian. They have been deposited in very shallow-water environments, changing from shallow subtidal to intertidal, with frequent emersions. The reptilian footprints occurring in the Upper Barremian and at two levels in the Lower Albian indicate repeated emersions and sub-aerial exposure both on the Veli Brijun Island and on the neighbouring peninsular Istria, where, also, the stratigraphic gap of maximum duration from the Upper Barremian to topmost Lower Albian has been established.

UVOD

U pripremanju za V skup sedimentologa Jugoslavije, koji je početkom lipnja 1986. god. održan na Brijunima, detaljnije je biostratigrafski i sedimentološki istražen otok Veli Brijun, jer je ulazio u uži izbor za jednu od ekscurzija skupa. Ekscurzija je organizirana u Istri (Tišljarić & Velić, 1986), a osnovne geološke značajke otoka predložene su sudionicima u vrijeme održavanja skupa.

Već smo u tim prvim geološkim »kontaktima« i u kasnijim posjetama otoku s ciljem dopune podataka utvrdili niz novosti u biostratigrafiji i sedimentologiji, a i u općoj strukturi V. Brijuna. Rezultati su takvi da u znatnoj mjeri mijenjaju prijašnju sliku o geološkoj građi najvećeg brijunskog otoka. To nas je ponukalo prikazati u ovom radu dio tih rezultata, prvenstveno zato što u tiskanim materijalima V skupa sedimentologa Jugoslavije nisu objavljeni. Osim toga, ovaj je otok, ranije ljetna rezidencija Predsjednika Tita i Predsjedništva SFRJ, nedavno

proglašen nacionalnim parkom i spomen područjem dijelom otvoren javnosti, pa će i ovaj naš rad, nadamo se, poslužiti njegovom boljem geološkom upoznavanju.

Sa zahvalnošću ističemo da su navedena istraživanja sufinancirana od Republičke samoupravne interesne zajednice za znanost (SIZ III) SR Hrvatske. Upravi Nacionalnog parka Brioni, poimenice prof. B. Lorković, prof. T. Vitasoviću i inž. M. Blagojević, zahvaljujemo na susretljivosti i pomoći za vrijeme terenskog rada.

BIOSTRATIGRAFSKE I SEDIMENTOLOSKE ZNAČAJKE

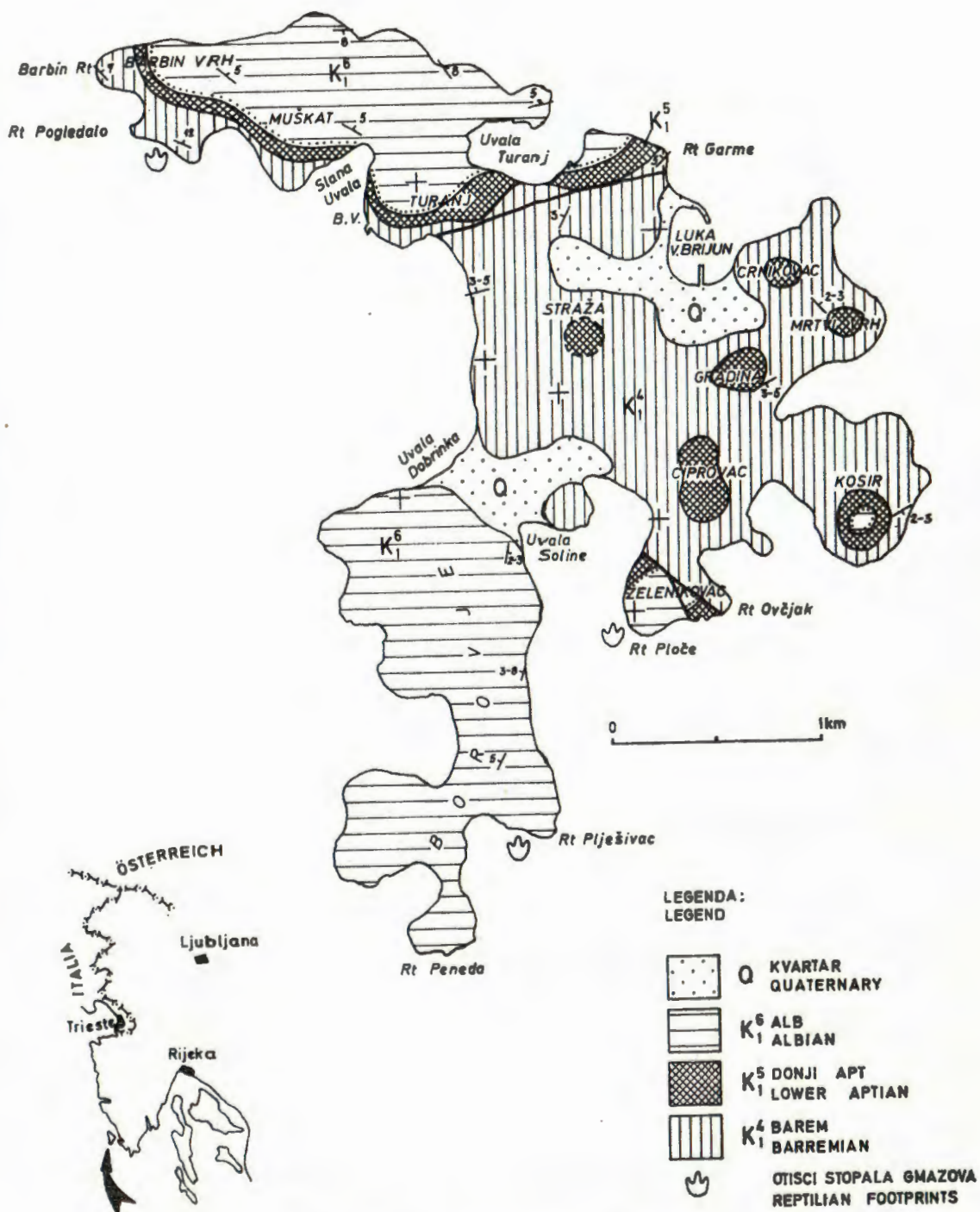
O dosadašnjim geološkim istraživanjima Brijuna relativno je malo literaturnih podataka i oni su uglavnom vezani uz radove o geologiji šireg, najčešće istarskog područja. Kao i u drugim našim zapadnim krajevima tako nas i kod Brijuna najstariji podaci vode u drugu polovicu prošlog stoljeća i upućuju na austrougarske geologe i institucije, od tada pa do kraja I svjetskog rata. Između dva rata tu su talijanski autori, a tek nakon II svjetskog rata javljaju se i naši geolozi. Uglavnom se radi o geološkim kartama malog mjerila, regionalnim radovima šireg područja i sl., a u svima se Brijuni, kao i veći dio Istre prikazuju unutar krednih naslaga.

Do sada najcjelovitije podatke o geologiji Brijuna nalazimo u radovima A. Poljšaka (1965, 1967 i 1970) prema kojima je Veli Brijun izgrađen od naslaga apta i alba. Svijetli, dobro uslojeni vapnenci apta otkriveni su u zapadnom dijelu otoka, a na njima kontinuirano slijede također svijetli i dobro uslojeni vapnenci alba. Za najjužniji dio otoka karakteristična je izmjena vapnenaca i dolomita (u albu). Tektonski, Brijuni su dio jugoistočnog krila prostrane i blage istarske antiklinale sa subhorizontalnim ili horizontalnim, mjestimice blago zatalasanim slojevima (maksimalni nagib do 10°). Gravitacijsko, vertikalno rasjedanje malih je skokova. Formiranje zapadnoistarske antiklinale pripada laramijskoj orogenetskoj fazi, a normalno rasjedanje mlađim, tercijarnim fazama.

Najnovija istraživanja dala su potpunije rezultate o stratigrafskoj pripadnost naslaga Velog Brijuna. Utvrđeni su gornji barem i donji apt, te vršni dio donjeg alba i početak gornjega alba. Na dva lokaliteta izdvojene su i kvaratarne tvorevine.

Naslage *gornjeg barema*, zastupane različitim tipovima vapnenaca, otkrivene su u središnjem dijelu otoka, pružajući se dijagonalno od sjeverozapada prema jugoistoku. Sjeveroistočnu granicu s aptom prati se od Barbinog rta na sjeverozapadu uz obalu do Bijele vile (u karti B. V.), a zatim na istok do rta Garme. Jugozapadna granica s mlađim članovima pokrivena je kvartarom ili morem od uvale Dobrinke preko uvale Soline do rta Ovčjak. Ima indikacija da je rasjedna (sl. 1).

Baremska starost utvrđena je rijetkim nalazima alge *Salpingoporella melitae* Radoičić, a i drugih vrsta krupnih salpingoporella, vjerojatno iz grupe *S. genevensis* (Conrad), *S. urlanadasi* Conrad et al., moguće i *S. muehlbergii* (Lorenz). Ova salpingoporelska zajednica karakteristična je za barem krških Dinarida. Od foraminifera registrirani su oblici šireg donjokrednog raspona: *Sabaudia minuta* (Hof-



Sl. 1. Geološka skica otoka Veli Brijun.
Fig. 1. Geological sketch-map of the Veli Brijun Island.

ker), *Cuneolina scarsellai* De Castro, *Novalesia producta* (Magniez), *Debarina hahounerensis* Fourcade et al. Općenito oskudna fosilna zajednica ne iznenađuje s obzirom na ekstremno plitke okoliše, prevladavajući intertidal (katkad i supratidal) do najplići subtidal s puno stromatolita i peletnih vapnenaca.

Sedimenti barema na otoku V. Brijun sastoje se od tanko- do debelo slojevitih (15—70 cm) stromatolitnih, pelsparitnih, pelmikritnih i mikritnih vapnenaca, a u manjoj količini i vapnenačkih intraformacijskih konglomerata/breča.

Najobilniji su horizontalno do slabo valovito laminirani LLH-stromatoliti. Sastavljeni su od 0,5 do 6 mm debelih lamina i proslojaka pelsparitne i/ili pelmikritne i kriptalgalne građe i strukture. Uz stromatolitne lamine, koje su nastale hvatanjem i obraštanjem vrlo sitnog karbonatnog taloga na livade modrozelenih alga u intertidalu, ovi vapnenci kao glavne sastojke još sadrže kuglaste do elipsoidalne fekalne pelete i karbonatni mulj — mikrit s većim ili manjim udjelom ljušturica ostrakoda, sitnih gastropoda i intraklasta, a sporadično i skeleta zelenih alga i bentoskih foraminifera.

Pelmikriti, pelspariti i mikriti se pojavljuju kao tanji ili deblji (10 do 50 cm) slojevi u izmjeni sa stromatolitima. Struktura i sastav su im identični spomenutim tankim proslojcima u stromatolitima. Izmjena peletnih, mikritnih i stromatolitnih vapnenaca je često pravilna, ritmička, kao što je to slučaj i u baremu zapadne Istre (Tišljari, 1978; Tišljari et al., 1983).

Vapnenačke breče/konglomerati posebno su karakteristični u završnom dijelu barema (sl. 2; Tab. I, sl. 1; Tab. III, sl. 1). Sastoje se od loše sortiranih, uglastih do više-manje zaobljenih fragmenata i valutica stromatolitnih, peletnih i mikritnih vapnenaca iz svoje neposredne podine. Fragmenti i valutice potječu od razaranja već očvrstnutih, ali i poluočvrstnutih baremskih vapnenaca zbog abrazije plimatskih struja i olujnih valova. Na uvjete i okoliš njihovog taloženja ukazuje nejednolično duboka erozija podinskog sloja (Tab. II, sl. 1), ispunjavanje dublje ili pliće usječenih plimatskih kanala u podinskom intertidalnom sedimentu te striktna petrografska pripadnost fragmenata i valutica stijenama neposredne podine. S jedne strane izmjena tih breča s LLH-stromatolitima i peletnim vapnencima jasno ukazuje na sedimentaciju u intertidalu i u vrlo plitkom subtidalu u neposrednoj zoni djelovanja struja i valova izazvanih plimama i oseka. S druge pak strane, jaka erozija intertidalnih sedimenata, stvaranje razmjerno velike količine fragmenata i valutica, kao i njihova akumulacija na erodiranoj površini ili u plimatskim kanalima, te po pružanju velika, a po padu mala rasprostranjenost jednog sloja breče, kao i varijabilna debljina govore da je bitnu ulogu pri stvaranju i taloženju tog detritusa imalo i povišenje energije vode. Sumirajući sve ove elemente breče su interpretirane kao peritidalne i olujne breče, odnosno tzv. tempestiti. Ovakve breče nisu osobitost barema samo V. Brijuna, već ih često nalazimo i u baremu Istre (Tišljari et al., 1983).

Na izrazito plitkovodni režim sedimentacije, praktički neposredno ispod ili u zoni izmjene plime i oseke (plitki subtidal — intertidal) s povremenim izronjavanjem, uz već spomenute litološke i sedimentološke

značajke, izravno ukazuju i izvrsno očuvani otisci stopala gmazova na gornjim slojnim površinama baremskih vapnenaca u sjeverozapadnom dijelu otoka, na obali kod rta Pogledalo (sl. 2, Tab. II). Otisci se nalaze na gornjoj slojnoj plohi cca 20 cm debelog fenestralnog mikrita, koji pokazuje teksturne i strukturne značajke karakteristične za taloge koji su povremeno izronjavali iznad srednje razine mora. U njegovoj podini nalazi se nejednolično debeli sloj peritidalne vapnenačke breče (Tab. I, sl. 1), a u krovini 5 do 20 cm tanko slojeviti interidalni stromatolitni i peletni vapnenci. U ovim posljednjim izvanredno su dobro uščuvani valoviti tragovi — ripple marks (Tab. I, sl. 2), na gornjim slojnim ploham s amplitudama 1—2 cm i dužinama valova 3—4 cm. Iz ovakvog slijeda sedimentata i pozicije otisaka u njima proizlazi da su otisci uščuvani u intertidalnom mulju u uvjetima niske energije vode i brzog očvršćavanja mulja. Visoka koherentnost takvog mulja i sljepljenost njegovih čestica prisutnošću sluzi cijanoficeja, omogućila je u prvom redu stvaranje savršenog otiska, a zatim zbog brzog sušenja mulja za vrijeme niskih oseka i njegovo dovoljno očvršćavanje tako da ga struje slijedeće plime više nisu mogle razoriti. Nanošenjem novog vrlo sitnog sedimenta plimom niske energije, preko otisaka i cijele površine sloja na kojoj se otisci nalaze, stvoreni su uvjeti za njihovu fosilizaciju. Osim toga, otisci su se mogli petrificirati i u slučaju kad su bili utisnuti u još vlažni mulj koji je izronio iznad srednje razine plime, da bi zatim u subaerskim uvjetima bio djelomice brzo litificiran. Mogućnost fosilizacije otisaka nastalih ispod razine oseke bitno je smanjena i svedena samo na muljevite plićake s mirnom vodom i razmjerno jako koherentnim (algalno sljepljenim) muljem.

U kontinuitetu s baremom slijede svijetli, uglavnom onkolitni, debelo slojeviti vapnenci donjeg apta. Prate se u uskom pojasu od rta Garme, uvale i brda Turanj u Slanu uvalu, i na jugozapadne padine Muškata i Barbina vrha. Osim toga zbog gotovo horizontalnog položaja slojeva mnoge glavice i čuke središnjeg dijela otoka izgrađene su od vapnenaca apta: Straža, Gradina, Crnikovac, Mrtvi vrh, Ciprovac, Kosir. Na obalama poluotočica Zelenikovac, u tektonski spuštenom bloku, uz rasjed s baremom, otkriveni su izdanci donjoaptskih vapnenaca (sl. 1).

Od fosila dominantna je inkrustirajuća alga *Bacinella irregularis* Radoičić, ali nažalost bez provodne vrijednosti, za razliku od rijetko prisutne dasikladaceje *Salpingoporella dinarica* Radoičić. Među foraminiferama najznačajnija je vrsta provodna za najgornji barem i donji apt *Palorbitolina lenticularis* (Blumenbach) te donjoaptska *Sabadua briacensis* Arnaud-Vanneau, u zajednici s drugim vrstama šireg donjokrednog raspona: *Praechrysalidina infracretacea* Lupert-Sinni, *Cuneolina laurentii* Sartoni & Crescenti, *C. scarsellai*, *Novalesia producta*, *Debarina hahounerensis*.

Sedimenti donjeg apta zastupani su masivnim do debelo slojevitim (1 do 2 m) vapnencima (Tab. III, sl. 2), ispresjecanim ne baš čestim horizontalnim stilolitima. To su mikriti, biomikriti i onkoliti. Zbog emerezije koja je u ovom području počela već u aptu, njihova ukupna debljina je mala, uglavnom između šest i deset metara (sl. 2).

Sl. 2. Geološki stup karbonatnih naslaga donje krede Velog Brijuna.

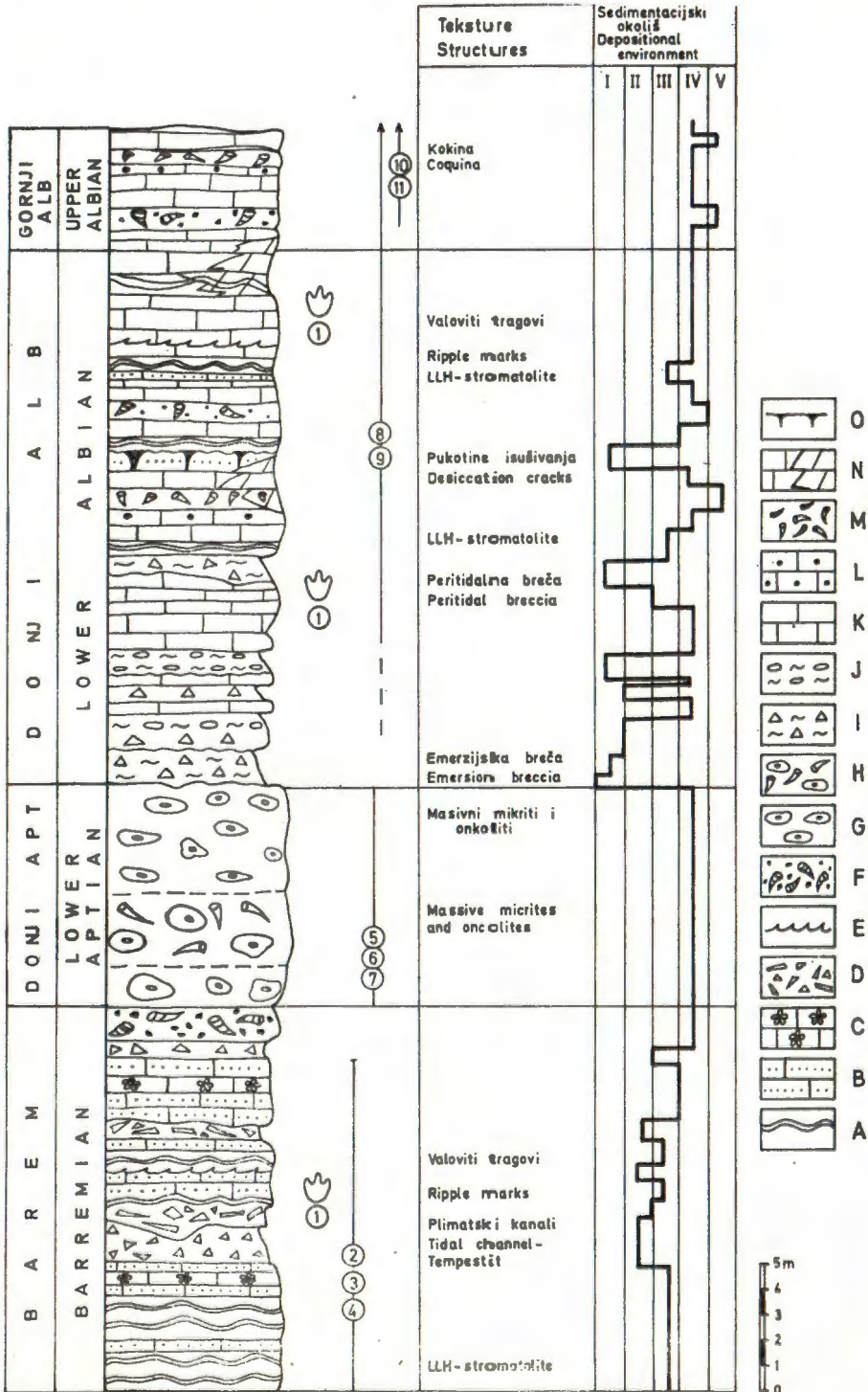
Legenda

- Fosili: 1 — otisci stopala gmazova, 2—4 — *Salpingoporella melitae*, *S. genevensis*, *S. urlanadasi*, 5 — *S. dinarica*, 6 — *Bacinella irregularis*, 7 — *Palorbitolina lenticularis*, 8 — *Nummoloculina heimi*, 9 — *Cuneolina gr. pavonia*, 10 — »*Valdanchella*« *dercurti*; 11 — *Neoiraquia insolita*.
- Sedimentacijski okoliši: I — emerzije, II — intertidal s kratkotrajnim iznunjavanjima (povišena energija vode), III — intertidal (plimatska zaravan), IV — zaštićeni plicak niske energije vode, V — plicak s povišenom energijom vode.
- Litologija i teksture: A — stromatoliti, B — pelmikriti/pelspariti, C — biomikriti sa salpingoporelama, D — peritidalne i desikacijske breče, E — valoviti tragovi tečenja, F — gastropodni biointraspariti, G — izmjena onkolit-mikrit, H — onkoliti i mikriti s rekvijenijama, I — emerzijske breče, J — nadplimatski muljeviti konglomerati, K — mikrit i fenestralni mikrit, L — oointrasparit, M — rudistne kokine, N — leće i proslojci kasnodijagenetskog dolomita, O — pukotine isušivanja.

Fig. 2. Geological column of the Lower Cretaceous carbonates of the Veli Brijun Island.

Explanation of symbols:

- Fossils: 1 — reptilian footprints, 2—4 *Salpingoporella melitae*, *S. genevensis*, *S. urlanadasi*, 5 — *S. dinarica*, 6 — *Bacinella irregularis*, 7 — *Palorbitolina lenticularis*, 8 — *Nummoloculina heimi*, 9 — *Cuneolina gr. pavonia*, 10 — »*Valdanchella*« *dercourti*, 11 — *Neoiraquia insolita*.
- Depositional environments: I — emersions, II — intertidal with temporary emersions (high water energy), III — intertidal (tidal flat), IV — quiet water shoals, V — shoals with agitated water.
- Lithology and structures: A — stromatolite, B — pelmicrite/pelsparite C — Salpingoporella biomicrite, D — peritidal and desiccation breccia, E — ripple marks, F — gastropod biointrasparite, G — oncolite/micrite alternation, H — oncolite and micrite with Requienias, I — emersion breccia, — mud pebble conglomerate, K — micrite — fenestral micrite, L — oointrasparite, M — rudist coquina, N — beds and lenses of latediagenetic dolomite, O — desiccation cracks.



U mikritnom matriksu ti vapnenci sadrže krupne ljušture ili fragmente školjkaša (= *Requienia ammonia* (Goldf.) — prema Polšak, 1965, str. 424), gastropode, foraminifere, alge i onkoidno obavijene skelete bačinela i gastropoda, tako da stvaraju 1 do 8 cm velike, grudaste onkoide ili makroide. Ti su onkoidi, uz karbonatni mulj, odnosno mikrit, dominantan i karakterističan sastojak donjoaptskih vapnenaca. U jezgri pojedinačnog onkoida ili makroida je skelet alge *Bacinnella irregularis* ili gastropod, a okolo debeli, katkada nepravilno koncentrično građeni, kriptokristalasti onkoidni ovoj. Ovoj je nastao hvatanjem vrlo sitnog karbonatnog mulja na sluz i vlakanca modrozelenih alga i cijanobakterija koje su rasle po površini skeleta, odnosno jezgre onkoida. Zbog strujanja vode skeleti-jezgre izložene su stalnom valjanju i prevrtanju. Nastaju razlike u intenzitetu rasta modrozelenih alga na gornjem odnosno donjem dijelu jezgre pa se oko nje postupno stvara nejednolično debeli ovoj uhvaćenog mulja tako da zrno dobiva oblik nepravilne grude. Zbog povišenog sadržaja organske tvari (sluzi?) grude imaju nešto tamniju nijansu od mikrita koji je istaložen između njih.

Zavisno o međusobnom odnosu mikrita i onkoida vapnenci donjega apta pokazuju ritmičnu izmjenu mikrit/biomikrit — onkolit, jednaku onoj u stijenama apta u Istri (Tišljara, 1978). To su vapnenci koji se u nizu kamenoloma u Istri vade kao kvalitetan arhitektonsko-građevinski kamen poznat pod komercijalnim imenom »Istarski žuti«.

Za razliku od barema s prevladavajućom sedimentacijom u intertidalu, dominantni okoliš u donjem aptu je zaštićeni plićak ili prostrana laguna. Tu se u razdobljima s niskim intenzitetom akumulacije karbonatnog mulja stvaraju onkoidi, kojima su u jezeru bacele, a ovoj od cijanoficeja. Na taj način nastaju slojevi onkolita. U razdobljima s pojačanim intenzitetom akumulacije mulja nastaju slojevi mikrita/biomikrita. U plićim, vjerojatno rubnim ili morfološki izdignutim dijelovima lagune, početkom donjeg apta obitavaju rekvijenije čije su ljušture i kršje povremeno naplavljavani u karbonatni mulj. Nalazimo ih samo u donjem, starijem dijelu donjoaptskih vapnenaca.

Izrazito plitkomorski karakter donjokredne sedimentacije sa čestim izronjavanjima i stvaranjem emerzijskih breča prouzročilo je u cijeloj jugozapadnoj Istri sedimentacijsku redukciju dijela apta i alba, koja se reflektirala i debljinskom redukcijom naslaga. Mjestimice su emerzije bile i drastičnije izražene, tako da je npr. na potezu Baderna — Tar registrirano okopnjavanje (s pojavama boksita u tragovima) u rasponu gornji barem — gornji dio donjeg alba. Ova, za Istru regionalna pojava odrazila se i na V. Brijunu nedostatkom cijelog gornjeg apta i velikog dijela donjeg alba. Tako na opisanim vapnencima donjeg apta slijedi pojas od 5—6 metara debelih emerzijskih breča (sl. 2, Tab. IV), a na njima dobro uslojeni svijetli vapnenci alba. Nalazi gornjoalbskih orbitolinida na poluotoku Borovje upućuju na zaključak da slojevi u njihovoj podini odgovaraju visokom donjem albu, koji je bliska krovina spomenutim graničnim emerzijskim brečama i samom donjem aptu. Izdvajanje vršnog donjeg alba od gornjeg alba pokazalo se nemogućim zbog velike pokrivenosti otoka zemljom crljenicom, humusom kao i nepristupačnošću nekim lokalitetima.

Na emerzijskim brečama, dakle, slijede vapnenci *alba* u sjevernom dijelu otoka od rta Garme i uvale Turanj do Barbinog vrha i rta. Krajnji južni dio otoka — poluotok Borovje čitav je izgrađen od vapnenaca *alba* s nešto kasnodijagenetskih dolomita. Granica sa starijim članovima pokrivena je kvartarom između uvala Soline i Dobrinka. Albu pripadaju još i vapnenci Zelenikovca (oko rta Ploče) i sama glavica Koscira (sl. 1).

I karbonatni sedimenti *alba* nastali su u izrazito plitkomorskim okolišima, pa su fosiliferni slojevi ograničeni najčešće na ne baš česte grainstone plitkog subtidala. Od makrofosila zapaženi su sitni puževi (nerineide) i kokine s pahiodontnim školjkašima (Tab. VI, sl. 2), a na rtu Ploče ponovo otisci stopala gmazova. Gotovo svi su izvađeni i spremjeni u brijunskom muzeju. Tragove stopala gmazova u ovom dijelu otoka navodi i Polšak (1965) i ilustrira tragove s rta Peneda (= rt Plješivac, tab. I, sl. 1). Navodi i mišljenje Bachofen-Echta (1925) da otisci pripadaju rodu *Iguanodon*. Polšak drži da se radi o dvije vrste tragova koji vjerojatno potječu od različitih životinja.

Albsku stvarost bez sumnje potvrđuju nalazi mikrofosila. Radi se isključivo o foraminiferskoj zajednici: *Nummuloculina heimi* Bonet, *Cuneolina pavonia* d'Orbigny, *C. pavonia parva* Henson, »*Valvulammina*« *picardi* Henson, koje nalazimo kroz cijeli stup brijunskog *alba* te orbitolinide »*Valdanchella*« *dercourti* Decrouez & Moullade, *Neoiragia insolita* (Decrouez & Moullade) i *Paracoskinolina fleuryi* Decrouez & Moullade iz vršnog dijela albskih naslaga na Brijunu. Citirane vrste orbitolinida provodne su za gornji alb s vrakonom, a pojedinačno se mogu naći i u donjem cenomanu (Decrouez & Moullade, 1974; Neumann & Schroeder eds., 1985). S obzirom na blizinu njihovih nalazišta prema vapnencima donjeg apta (cca 30 m debljine u stupu) zaključujemo da je u albskim emerzijama konzumiran veći dio sedimenata donjeg *alba*.

Početak taloženja u donjem albu obilježen je izmjenom plitkovodnih vapnenaca s tanjim proslojcima, lećama i slojevima priobalnih konglomerata i peritidalnih breča, kao posljedice oscilirajuće transgresije. Breče/konglomerati sastoje se od uglasitih do slabo zaobljenih ulomaka vapnenaca koji sadrže albsku faunu. U pojedinim lećama ili slojevima breča nalazimo crne ulomke i valutice — »beackpebbles«, koji su nastali razarenjem močvarnih, reduktivnih crnih taloga olujnim valovima.

Nakon ovakvih oscilacija morske razine s tendencijom postupnog, sve jačeg preplavlivanja polako se uspostavlja stabilniji režim plitkovodne sedimentacije, što rezultira taloženjem tankoslojevitih, ponegdje i tankopločastih, mikritnih, biomikritnih, peloidalnih mikritnih/sparitnih i intrasparitnih vapnenaca. Mjestimice, osobito u južnom dijelu otoka (poluotok Borovje) ti su vapnenci često slabije ili jače kasnodijagenetski dolomitizirani u dolomitične vapnence i dolomite.

Vapnenci se sastoje od peloida, intraklasta, varijabilnog udjela karbonatnog mulja ili sparitnog cementa, a mjestimice i bentonskih foraminifera, ostrakoda, mikrogastropoda i pahiodontnih školjkaša (Tab. VI, sl. 2). Sporadično se unutar peloidalnih, intraklastičnih i biomikritnih/sparitnih vapnenaca nalaze tanji slojevi mikrita i pelmikrita sa stromatolitnim laminama (Tab. VI, sl. 1) ili pak tanji proslojci oosparita ili ooidnih intrasparita.

Vapnenci alba na V. Brijunu taloženi su u plitkom moru u prostranim zaštićenim plićacima s promjenljivom, ali ne i prejakom, energijom vode na što, uz njihov sastav i strukturu, ukazuju i pojave valovitih tragova — ripple marks — na gornjim slojnim ploham. Ti su valoviti tragovi s malim amplitudama (2—3 cm) i malim valnim dužinama (4—5 cm), slični onim u baremu, što karakterizira plićake s blago pokretljivom vodom. Iste takve valovite tragove nalazimo u vapnencima visokog alba u Puli.

Sporadične pojave tankih slojeva oosparita i/ili ooidnih intrasparita na istočnoj obali poluotoka Borovje ukazuju na povremeno kratkotrajno postojanje plićaka s pokretljivom vodom. U tim intervalima pojačanim strujama naplavljuju se sitni gastropodi i školjkaši, katkad u takvoj množini da nastaju prave kokine (debljine do 40-ak cm). Mjestimična oplićavanja do zone izmjene plime i oseke (intertidal) uzrokuju taloženje pelmikrita i stromatolita (Tab. VI, sl. 1), koji sadrže fekalne pelete, pukotine isušivanja (Tab. V, sl. 2), i imaju fenestralnu građu. Na gornjoj slojnoj plohi takvih vapnenaca pojavljuju se izvrsno uščuvani otisci stopala gmazova. I ovi su otisci, poput onih iz barema, izravni dokaz postojanja intertidalnih i muljevitih plićaka s povremenim izronjavanjem iznad srednje morske razine.

Dolomitizirani vapnenci i dolomiti pripadaju kasnodijagenetskom tipu. Po svojim petrološkim i mineraloškim karakteristikama jednaki su mikro- do makrokristalastim dolomitima iz alba okolice Fažane, Galižane i Pinezića. To su tipični »protodolomiti« s niskim stupnjem uređenosti kristalne rešetke i znatnim viškom kalcija (Tišljarić, 1976).

Ovdje se mogu još spomenuti i kvartarne naslage. Kod toga, međutim, treba biti vrlo oprezan jer su te najmlađe taložine u recentnom stanju na V. Brijunu u velikoj mjeri posljedica utjecaja i intervencije čovjeka u prirodni okoliš, dakle — umjetne i alohtone. To se prvenstveno odnosi na područje luke, gdje je za parkovno-pejsažno uređenje okoliša hotela i zoološkog vrta navažana zemlja, pijesak, otpadni materijal starih kamenoloma, pa čak i više tona teški blokovi debelo uslojenog donjoaptskog vapnenca. Umjetnim se doimlju humus i zemlja crljenica između uvala Soline i Dobrinka, a ne čini se nemogućom i pretpostavka da je mjestimice na današnjim livadama i proplancima, gdje su nekada bili vinogradi, dovažana zemlja crljenica. Ona je površinski najrašireniji sediment na otoku, ali nigdje posebno debela da bi se mogla izdvojiti na karti. Maksimalne je debljine između 2 i 3 metra.

KORELACIJA DONJE KREDE VELOG BRIJUNA I JUGOZAPADNE ISTRE

Premda je već u opisu biostratigrafskih i sedimentoloških karakteristika barema, apta i alba V. Brijuna spomenuta njihova sličnost i povezanost s odgovarajućim naslagama u jugozapadnoj Istri, potrebno je i nešto šire prikazati sedimentacijske i općenito geološke prilike u donjoj kredi, jer one mogu imati značajnu ulogu u tumačenju regionalnih zbiivanja na tom dijelu karbonatne platforme.

Tijekom gornjega barema dominiraju intertidalni i plitko-subtidalni okoliši uz često ritmičko taloženje mikrita/pelmikrita, fenestralnog mi-

krita i LLH-stromatolita. Ova ritmičnost posljedica je opetovanih promjena okoliša na relaciji zaštićeni plićak — plitki subtidal donji intertidal — intertidal uz postojanje prostranih plimatskih zaravni, odnosno tidal flat-a.

Pojave pertidalnih i olujnih breča krajem barema imaju također regionalno značenje i rasprostranjenost. One ukazuju na promjene energetskog potencijala vode, a vjerojatno i blago oplićavanje. Otisci stopala gmazova u baremskim vapnencima kod rta Pogledalo ukazuju na povremena izronjavanja i okopnjavanja dijelova karbonatne platforme, odnosno na postojanje manjeg ili većeg kopna neophodnog za život gmazova već u baremu. S druge pak strane, otisci stopala gmazova u vapnencima iz dva horizonta donjeg alba u jugoistočnom dijelu otoka pokazuju da su i u to doba postojali slični uvjeti i okoliši. Na području južne Istre otisci stopala gmazova poznati su još i u vapnencima donjega turona na otočiću Fenoliga (Gogala, 1975; Gogala & Pavlovec, 1978; Tišljari et al., 1983). Ovako široki vremenski raspon s ekološki povoljnim uvjetima za život krupnih gmazova, daje nam i nove podatke o paleogeološkim odnosima u tom dijelu platforme.

Što se tiče objašnjavanja tih odnosa u donjoj kredi Brijuna i Istre važne podatke nalazimo u vremenu i načinu pojavljivanja emerzijskih breča i u trajanju emerzija.

U razdoblju apt-alb u južnoj Istri Polšak (1965) spominje povremene oscilacije morske razine koje su »uzrokovale znatna oplićavanja i lokalne, ali kratkotrajne emerzije na koje ukazuju vapnenci s odlično sačuvanim otiscima stopala gmazova na otočju Brioni«. Isti autor, osim što smatra »da su se gmazovi kretali po još plastičnom vapnenom mulju, koji je bio pokriven tankim slojem morske vode ili pak mjestimično predstavljao kratkotrajnu kopnenu površinu plavlenu morem«, spominje i »povremene tragove slabe erozije na donjim ploham vapnenaca i tanke uloške vapnenih breča«.

Rezultati naših istraživanja na V. Brijunu i u jugozapadnoj Istri ukazuju generalno na gornjoaptsku emerziju s različitim trajanjem od lokaliteta do lokaliteta. Ona je na V. Brijunu uzrokovala stratigrafsku i sedimentološku prazninu od sredine donjeg apta kroz cijeli gornji apt i veći dio donjeg alba, kako je to prethodno objašnjeno. Ta emerzija nije lokalna pojava jer je registrirana u cijelom kopnenom pružanju krila zapadnoistarske antiklinale. Snimanjem više detaljnih geoloških stupova (Sl. 3) uz kompleksne analize biofacijesa, litofacijesa i okoliša sedimentacije u istočnom i jugoistočnom krilu spomenute strukture, dobiveni su podaci o različitom vremenskom početku i trajanju emerzije. Najčešće je ona postojala kroz cijeli gornji apt i u donjem albu. Mjestimice je počela tek krajem gornjeg apta i završila u donjem albu (npr. Dvigrad), a na drugim mjestima započinje ranije u donjem aptu i traje do u donji alb, npr. V. Brijun (Tišljari & Velić, 1986). Već na prvi pogled zapaža se izrazita razlika u odnosima registriranih stratigrafskih članova i njihovih debljina. Kod Dvigrada kontinuirani stratigrafski i sedimentacijski slijed iz gornjega barema, preko kompletnog donjeg apta i gotovo cijelog gornjeg apta prekinut je emerzijom na samoj granici apt — alb. Nasuprot tome na V. Brijunu emerzijom je zahvaćen već i donji apt, pa u slijedu nedostaju viši donji apt, cijeli gornji apt i

veći dio donjega alba. Kako je već spomenuto, velika je vjerojatnost da nedostajući članovi nisu ni bili istaloženi, jer južno od Bala nigdje u emerzijskim brečama nisu nađeni ulomci ili valutice višeg donjeg apta niti gornjeg apta, a na čitavom razmatranom području niti bazalnog donjeg alba. Od Dvigrada prema Brijunu jasno se prati »porast« hijatusa, odnosno duže trajanje emerzije i okopnjavanja (Sl. 3). Da je emerzija znatno zahvatila i alb nema sumnje, ali koliko, to je teško pouzdano utvrditi. Na V. Brijunu emerzijom je konzumiran najveći dio sedimenata donjega alba, a na susjednom istarskom kopnu svakako manji. Karakteristične su situacije južno od Bala prema moru gdje je u albu zapaženo, u provini glavne emerzije, višekratno pojavljivanje emerzijskih breča. Uočene su pojave da mlađa emerzija erodira ne samo neposredno u podini istaložene mikrite i biomikrite, već i breče starije emerzije (npr. kamenolom Bale, Negrin, V. Brijun). To je dinamika oscilirajuće transgresije, a njezina posljedica je debljinska redukcija donjega alba. Kad se ima ovo u vidu onda ne iznenađuje činjenica da na V. Brijunu od emerzijskih breča (početak alba) do granice donji — gornji alb ima svega tridesetak metara plitkovodnih karbonata.

Slični su i još izraženiji odnosi u sjeverozapadnom krilu istarske antiklinale. Maksimalni hijatus utvrđen je kod Baderne gdje alb (vjerojatno već gornji) izravno leži na približno srednjem baremu. Ovdje je praznina materijalno i vremenski vrlo značajna: nedostaje moguće i koja stotina metara karbonatnih sedimenata, a vremenski raspon trajanja emerzije ili kopnenog režima oko 15—20 milijuna godina (prema npr. Harland et al., 1982; Odin & Kennedy, 1982). Idući od Baderne na zapad, nadomak Taru hijatus se smanjuje, glavna emerzija počinje »kasniti« pa se opet pojavljuju slojevi nižeg dijela donjeg apta (u kontinuitetu s gornjim baremom), da bi na obali kod Červara situacija bila vrlo slična onoj na V. Brijunu. Istraživanja su još u toku, a rezultati će biti objavljeni drugom prigodom.

Zaključno se može ustvrditi da izneseni podaci ukazuju na neravnomjerna izdizanja u ovom dijelu karbonatne platforme uz značajnije oscilacije morske razine u rasponu od gornjeg barema do vršnog donjeg alba, koje su odraz globalnih događaja (Vail et al., 1977; Harris et al., 1984). To uzrokuje promjenu uvjeta i okoliša sedimentacije i neujednačenu akumulaciju sedimenata u jedinici vremena. Izravne su posljedice razlike u debljinama pojedinih biostratigrafskih i litofacijelnih jedinica na tom području.

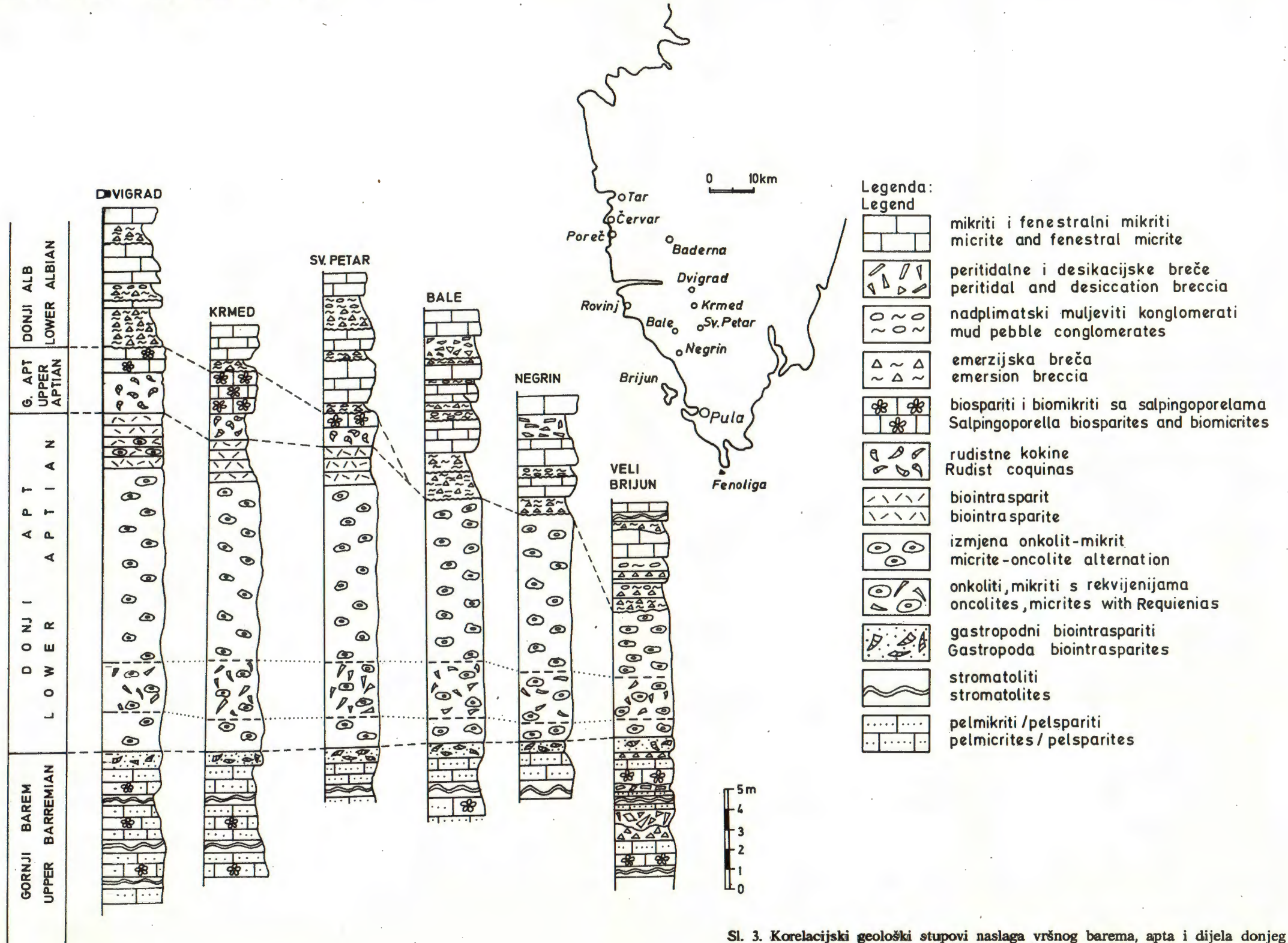
Analizirajući sve ove podatke, uz one još u pripremi, nameće se zaključak da je karbonatna platforma, osim više-manje nejednolično brzog i kontinuiranog »tonjenja« imala mjestimice i povremeno kretanja i suprotnog predznaka, koja su u jugoistočnom krilu istarske antiklinale najizraženija i najveća bila upravo u aptu i donjem albu V. Brijuna.

PREGLED REZULTATA

Opisanim istraživanjima ostvaren je niz novih rezultata kojima se znatno mijenja dosadašnja slika geološke građe Velog Brijuna.

U stratigrafiji:

— paleontološki su dokazani i biostratigrafski izdvojeni barem i donji apt, te vršni donji alb i početak gornjeg alba;



Sl. 3. Korelacijski geološki stupovi naslaga vršnog barema, apta i dijela donjeg alba u jugoistočnom krilu istarske antiklinale.

Fig. 3. Geological correlation columns of the Uppermost Barremian, Aptian and Lower Albian from the SE part of the Istrian anticline.

— za vrijeme gornjeg apta na V. Brijunu, slično kao i u susjednoj Istri, nema sedimentacije zbog emerzije kojom je zahvaćen dio karbonatne platforme što ga danas pokriva područje zapadnoistarske antiklinale. Stratigrafska praznina na V. Brijunu definirana je u rasponu sredina donjeg apta — gornji dio donjeg alba;

— određena je starost otisaka stopala gmazova u gornjem baremu kod rta Pogledalo i u dva horizonta donjeg alba — starijem na rtu Ploče i mlađem na rtu Plješivac.

U sedimentologiji:

— čitav je otok izgrađen od karbonatnih stijena — različitih tipova vapnenaca sa sporadičnim pojavama vapnenačkih breča u gornjem baremu i donjem albu i kasnodijagenetskih dolomita u vršnom donjem i početku gornjeg alba;

— sve su to plitkomorski sedimenti — LLH-stromatoliti i peletni vapnenci s ulošcima peritidalnih i olujnih breča — tempestita u gornjem baremu, ritmička izmjena mikrita/biomikrita i onkolita u donjem aptu, zatim izmjena emerzijskih breča/konglomerata s mikritima/biomikritima u nižem, te mikriti/biomikriti s proslojcima biosparita, oosparita, intrasparita, stromatolita, kokina sa školjkašima i mjestimice kasnodijagenetskog dolomita u višem dijelu albskog stupa;

— okoliši su interpretirani od intertidalnih i plitko subtidalnih u baremu, preko zaštićenih plićaka ili prostrane lagune u donjem aptu, kopnenog režima u gornjem aptu i početkom alba, te oscilirajućeg plitkog subtidala s povremenim izronjavanjima i kratkotrajnim emerzijama u nižem donjem albu, do prostranih zaštićenih plićaka plitkog subtidala i mjestimice intertidala u višem donjem i početku gornjeg alba;

— naglašena je važnost pojedinih utvrđenih tekstura i pojava za interpretaciju okoliša kao npr. valoviti tragovi — ripple marks, plimski kanali s peritidalnim brečama unutar slojeva sa stromatolitima i otisci stopala gmazova u tim sedimentima — za zonu izmjene plime i oseke u gornjem baremu i mjestimice u donjem albu.

U geološkoj regionalnoj korelaciji:

— usporedba paleogeoloških odnosa V. Brijuna sa susjednim terenima zapadnoistarske antiklinale analizirana je u svijetlu prostornog i vremenskog opsega gornjoaptske emerzije: od kratkotrajnog prekida na granici apt-alb kod Dvigrada s emerzijskom redukcijom završnih slojeva apta i početka alba do značajnog hijatusa gornji barem-baza gornjeg alba kod Baderne, procjenjenog trajanja oko 10 milijuna godina i »nedostatkom«
preko 200 metara plitkovodnih karbonata;

— u tom sklopu Veli Brijun spada u lokalitete sa srednjom vrijednošću trajanja emerzije, odnosno hijatusa od sredine donjeg apta do gornjeg dijela donjeg alba;

— različito trajanje glavne emerzije od lokaliteta do lokaliteta objašnjava se neravnomjernim izdizanjima pojedinih dijelova karbonatne platforme, a debljinska redukcija naslaga donjeg alba učestalim (ope-tovanim) pojavama emerzijskih breča, odnosno emerzija u oscilirajućoj transgresiji.

Primljeno: 7. 1. 1987.

LITERATURA

- Bachofen-Echt, A. (1925): Die Entdeckung von Iguanodontenfährten im Neokom der Insel Brioni. — *Sitzungsanz. Akad. Wiss., Math.-nat. Kl.*, 12, Wien.
- Decrouez, D. & Moullade, M. (1974): Orbitolinidés nouveaux de l'Albo-Cénomaniens de Grèce. — *Arch. Sc. Genève*, 27/1, 75—92, Genève.
- Gogala, M. (1975): Sledi iz davnine na jugu Istre. — *Proteus*, 37, 229—232, Ljubljana.
- Gogala, M. & Pavlovec, R. (1978): Še enkrat o sledovih dinozavrov. — *Proteus*, 40, 192—193, Ljubljana.
- Harland, W. B., Cox, A. V., Llewellyn, C. A., Pickton, C. A. G., Smith, A. G. & Walters, R. (1982): A geological time scale. — Cambridge University Press, 131 str., Cambridge.
- Harris, P. M., Frost, S. H., Seiglie, G. A. & Schneidermann, N. (1984): Regional unconformities and depositional cycles, Cretaceous on the Arabian Peninsula. In: Schlee, J. S. (ed.): Interregional unconformities and hydrocarbon accumulation. — *Am. Assoc. Petrol. Geol., Memoir*, 36, 67—80, Tulsa.
- Neumann, M. & Schroeder, R. (ed.) (1985): Les grands Foraminifères du Crétacé moyen de la région méditerranéenne. — *Geobios, Mém. spéc.*, 7, 160 str., Lyon.
- Odin, G. S. & Kennedy, W. J. (1982): Mise à jour de l'échelle des temps mésozoïques. — *C. R. Acad. Sc.*, 284/2, 383—386, Paris.
- Polšak, A. (1965): Geologija južne Istre s osobitim obzirom na biostratigrafiju krednih naslaga (Géologie de l'Istrie méridionale spécialement par rapport à la biostratigraphie des couches crétacées). — *Geol. vjesnik*, 18/2, 415—510, Zagreb.
- Polšak, A. (1967): Osnovna geološka karta SFRJ. List Pula 1:100.000. — Inst. geol. istraž. Zagreb (1963), Sav. geol. zavod, Beograd.
- Polšak, A. (1970): Osnovna geološka karta SFRJ. Tumač za list Pula 1:100.000. I — Inst. geol. istraž., Zagreb, Sav. geol. zavod, 44 str., Beograd.
- Tišljar, J. (1976): Ranodijagenetska i kasnodijagenetska dolomitizacija i dedolomitizacija u krednim karbonatnim sedimentima zapadne i južne Istre (Hrvatska, Jugoslavija) (Early diagenetic and late diagenetic dolomitization and dedolomitization processes in Cretaceous deposits of western and southern Istria, Croatia, Yugoslavia). — *Geol. vjesnik*, 29, 287—321, Zagreb.
- Tišljar, J. (1978): Onkolitni i stromatolitni vapnenci u donjokrednim sedimentima Istre (Oncolites and stromatolites in Lower Cretaceous carbonate sediments in Istria, Croatia, Yugoslavia). — *Geol. vjesnik*, 30/2, 363—382, Zagreb.
- Tišljar, J. & Velić, I. (1986): Ritmička sedimentacija u peritidalnim i lagunarnim karbonatnim sedimentima donje krede Istre. — V skup sedimentologija Jugosl., Brioni 02—05. 06. 1986., Vodič eksterkurzije, 1—26, Zagreb.
- Tišljar, J., Velić, I., Radovčić, J. & Crnković, B. (1983): Upper Jurassic and Cretaceous peritidal, lagoonal, shallow marine and perireefal carbonate sediments of Istria. In Babić, Lj. & Jelaska, V. (ed.): Contributions to Sedimentology of Some Carbonate and Clastic Units of the Coastal Dinarides. Excursion Guide-book — 4th I. A. S. Regional Meeting, Split, 1983, 13—22, Zagreb.
- Vail, P. R., Mitchum, R. M. & Thompson, S. (1977): Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 4: Global cycles of relative changes of sea level. In: Payton, C. E. (ed.): Seismic stratigraphy — applications to hydrocarbon exploration. — *Am. Assoc. Petrol. Geol., Memoir*, 26, 83—97, Tulsa.

Biostratigraphic and sedimentologic characteristics of the Lower Cretaceous deposits of the Veli Brijun Island and comparison with the corresponding deposits in SW Istria (western Croatia, Yugoslavia)

I. Velić and J. Tišljar

Recent research has produced more precise and well-documented results regarding the age of the Veli Brijun Island deposits. They have been deposited during the Upper Barremian and Lower Aptian, and the topmost Lower Albian and beginning of the Upper Albian. Quaternary deposits occur in two sites.

The Upper Barremian limestones are exposed in the central part of the island, striking NW — SE. Their age has been documented by means of *Salpingoporella*-species: *S. melitae* Radoičić, and other species, most likely from the group *S. genevensis* (Conrad), and *S. urlanadasi* Conrad et al., and probably also *S. muehlbergii* (Lorenz). This association is typical of the Barremian in the Karst Dinaric Mountain. It is associated with wider-ranging Lower Cretaceous foraminifera: *Sabaudia minuta* (Hofker), *Cuneolina scarsellai* De Castro, *Novallesia producta* (Magniez), and *Debarina hahounerensis* Fourcade et al. Not surprisingly, the whole assemblage is rather low diversified, due to extremely shallow environments, prevailing intertidal, sometimes even supratidal, to very shallow subtidal with abundant stromatolites and peletal limestones.

The deposits consist of thin to thick-bedded (15–70 cm) stromatolite, pelsparite, pelmicrite, and micrite limestones, and subordinated calcareous intraformation conglomerate/breccia.

Most abundant are horizontal to slightly wavy laminated LLH-stromatolites. They are composed of 0.5–6 mm laminae and intercalations of pelsparite and/or pelmicrite and crystalgal fabric.

Pelmicrites, pelsparites and micrites occur as thin to thick (10–50 cm) beds alternating with stromatolites. Their structure and composition is the same as in the above mentioned thin intercalations within the stromatolites. The alternation of peletal, micrite, and stromatolite limestones is often regular, rhythmic, as is also case in the Barremian of W Istria (Tišljar, 1978; Tišljar et al., 1983).

Calcareous breccias/conglomerates are particularly important in the topmost part of the Barremian (Text fig. 2; Pl. I, fig. 1, Pl. III, fig. 1). They consist of poorly sorted, angular to more or less rounded fragments of stromatolite, peletal and micritic limestones from immediately underlying beds. The fragments originated from the destruction of lithified and half-lithified Barremian limestones caused by abrasion by tidal currents and storm waves. The conditions and environments of their deposition are indicated by the erosion of the underlying beds reaching different depths (Pl. III, fig. 1), the filling of tidal channels, incised more or less deeply within the underlying micritic sediment, as well as by strict petrographic provenience of the fragments from the immediately underlying rocks. At one side, the alternation of these breccias with LLH-stromatolites and peletal limestone clearly indicate the intertidal to very shallow subtidal sedimentation, i.e. in the zone of strong tidal currents and wave action. At the other side, the higher water is indicated by high erosion of intertidal sediments and by the formation of a comparatively large amount of fragments and their accumulation on the eroded surface or in the tidal channels, as well as by both the large extension of breccia (in the direction of strike) and its small extension in the direction of dip and its variable thickness. Summing up all these data, we interpret the breccia as peritidal and storm breccia, or so-called tempestites. These breccias are typical not only of the Upper Barremian of the Veli Brijun Island, but have been found also in the Barremian of Istria (Tišljar et al., 1983).

In addition, a very shallow water depositional setting, practically immediately below or within the intertidal zone (very shallow subtidal to intertidal) with temporary emersions, is indicated also by well preserved reptilian footprints on the upper bedding planes of the Upper Barremian limestones in the NW part of island, on the shore near the Pogledalo promontory (Text fig. 1 and 2; Pl. II). The footprints are preserved on the upper surface of a fenestral micrite, about 20 cm thick, which shows textural and structural features typical of temporary emersions. It is underlain by the peritidal calcareous breccia of variable thickness (Pl. I, fig. 1), and overlain by 5–20 cm of thin bedded intertidal stromatolite and

peleat limestones. The latter contain well preserved ripple marks (Pl. I, fig. 2) on the upper bedding planes with amplitude of 1–2 cm and wave lengths of 3–4 cm. Both the described sedimentary sequence and the position of the footprints within it, show that the footprints are preserved in the intertidal mud under conditions of low water energy and rapid lithification of the lime mud.

With no interruption, the Barremian deposits are overlain by light, mostly oncolite, thick bedded Lower Aptian limestones. They can be traced in a narrow zone in northern part of the island, and in a number of hilltops in the central part of the island (Text fig. 1).

Among the fossils the alga *Bacinella irregularis* Radoičić predominates, unfortunately with no stratigraphic value, in contrast to rare *Salpinogoporella dinarica* Radoičić. The most important foraminifers are *Palorbitolina lenticularis* (Blumenbach) and *Sabaudia briacensis* Arnaud-Vanneau of the uppermost Barremian and Lower Aptian age, accompanied by longer-ranging species, such as *Cuneolina laurentii* Sartoni & Crescenti, *C. scarsellai* De Castro, *Praechrysalidina infracretacea* Luperto-Sinni, *Novalesia producta* (Magniez), *Debarina hahounerensis* Fourcade et al.

The Lower Aptian deposits are represented by massive to thick bedded (1–2 m) limestones (Pl. III, fig. 2) with rare horizontal stylolites. These are micrites, biomicrites, and oncolites. Due to emersion which occurred here as early as in the Lower Aptian, their thickness does not exceed 6–10 m (Text fig. 2).

In these limestones, large valves or fragments of pelecypods, i.e. *Requienia amonia* (Goldfuss) — according to Polšak (1965), gastropods, foraminifers, algae and oncolitally coated *Bacinella* skeletons (reaching from 1 to 8 cm in diameter, and thus forming algal balls or macroids) are dispersed in the micritic matrix. The oncolites are, in addition to lime mud or micrite, respectively, the dominant and the most characteristic component of the Lower Aptian limestones.

Micrite, biomicrite and oncolite alternate rhythmically, as is also the case in the Lower Aptian of the peninsular Istria (Tišljar, 1978).

On the contrary to the predominantly intertidal sedimentation in the Upper Barremian, the main Lower Aptian environment is the restricted shoal or a large lagoon. During periods of low accumulation rate of the lime mud oncolites with *Bacinella* nuclei and cyanophyte envelopes are being formed, giving rise to oncolite beds. But, during periods of higher mud accumulation rate, micrite/biomicrite beds originate. In the Lower Aptian, *Requenzias* inhabited the more shallow, probably marginal or morphologically higher parts of the lagoon, and their valves and debris sporadically were washed away into the lime mud. They occur only in the lower, older part of the Lower Aptian limestones.

The extremely shallow water Lower Cretaceous sedimentation, with frequent emersions producing emersion breccias, caused the sedimentary reduction in the Aptian and Albian stages reflecting itself also in the reduced sediment thickness and affecting the whole of the SW Istria. Locally emersions were even more pronounced; thus for instance in the Baderna — Tar region the emersion (with bauxite occurrences) was lasting from the Upper Barremian to the uppermost Lower Albian. On the Veli Brijun Island, this Istrian regional event is marked by the lack of the Upper Aptian and of the large part of the Lower Albian. Therefore, the above described Lower Aptian limestones are overlain by a 5–6 m thick zone of the emersion breccias (Text fig. 2; Pl. IV), followed by well bedded, light Albian limestones. The findings of the Upper Albian orbitolinids on the Borovje peninsula indicate that the underlying beds belong to the upper part of the Lower Albian, which in turn, follows soon above the boundary emersion breccias and the Lower Aptian.

Thus the emersion breccias are overlain by the Albian limestones in the northern part of the island. The southern-most part of V. Brijun Island — the Borovje peninsula — is wholly built up of Albian limestones with some late diagenetic dolomite (Text fig. 1).

Because the Albian carbonates have been deposited in very shallow water environments, the fossiliferous beds are represented only by not very frequent grainstones (agitated shallow subtidal). They contain small gastropods (nerineids) and coquinas (shell-beds) with pachyodont bivalves (Pl. VI, fig. 2), and, on the Ploče promontory, reptilian footprints again (Text fig. 1). The reptilian footprints from that part of the island have been mentioned and figured also by Polšak (1965), who quotes the opinion of Bochofen-Echt (1925) that the footprints be-

long to the genus *Iguanodon*. Polšak is of the opinion that there are two types of footprints which belong to two different species — the opinion we agree with.

The Albian age is documented by microfossils (foraminifers only): *Nummuloculina heimi* Bonet, *Cuneolina pavonia* d'Orb., *C. pavonia parva* Henson, and *Nezzazatinella* (= »*Valvulammina*») *picardi* (Henson) which occur through the entire Albian sequence, and orbitolinid species »*Valdanchella*» *dercourtii* Decrouez & Moullade, *Neoiragia insolita* (Decrouez & Moullade), and *Paracoskinolina fleuryi* Decrouez & Moullade, which occur in the upper parts of the Brijuni Albian deposits. The species cited are characteristic of the Upper Albian (incl. Vraconian) and occur also in the Lower Cenomanian (Decrouez & Moullade, 1974; Schroeder & Neumann, eds., 1985). Based on the vicinity of their finding sites to the Lower Albian limestones (about 30 m of sediment thickness), we conclude that repeated Albian emersions have consumed the largest part of the Lower Albian deposits.

The beginning of the Lower Albian sedimentation is marked by the alternation of shallow marine limestones and thin intercalations, lenses and beds of shore-line conglomerates and peritidal breccias, resulting from the oscillating transgression. Breccias/conglomerates consist of angular to poorly rounded limestone fragments with Albian microfauna. Some breccia lenses or beds contain black pebbles, derived from the destruction by storm waves of the marshy, reductive black deposits. The oscillating transgression eventually culminated in establishing stable, uninterrupted shallow water environments, resulting in the deposition of thin-bedded, even laminated, micrites, biomicrites, pelmicrites, pelsparites, and intrasparites. Locally, these limestones are more or less affected by dolomitization into late-diagenetic dolomites.

The limestones consists of peloids, intraclasts, a variable amount of lime mud or sparry cement, and locally contain benthic foraminifera, ostracodes, microgastropods, and pachyodont bivalves (Pl. VI, fig. 2). Sporadically, thin beds of micrites and pelmicrites or of oosparites or oointrasparites are intercalated within peloidal, intraclast, and biomicrite-sparite limestones (Pl. VI, fig. 1).

The Albian limestones on the Veli Brijun island have been deposited in shallow water, in large restricted shoals with varying, but not too high, water energy. This is indicated, in addition to their structure and composition, also by ripple-marks on their upper bedding planes. These ripple-marks are of low amplitude (2–3 cm), and small wave-lengths (4–5 cm), similar to those in the Barremian, and characterizing the shoals with slightly agitated water. The same kind of ripple-marks occur also in the Upper Albian limestones near Pula. Sporadic occurrences of thin oosparite/oointrasparite beds in the eastern coast of the Borovje peninsula indicate the existence of short-lasting temporary shoals with agitated water. During these intervals the currents have accumulated large amounts of small gastropod and pelecypod shells, sometimes, making true shell-beds (coquinas) up to 40 cm thick. The intertidal shoaling phases produced pelmicrites and stromatolites (Pl. VI, fig. 1) with fecal pellets, desiccation cracks (Pl. V, fig. 2), and fenestral texture. On the upper bedding planes well-preserved reptilian footprints occur. These footprints also, like the Barremian ones, indicate the existence of intertidal and muddy shoals with temporary emersions above the mean tide level.

Dolomites and dolomitized limestones are of the late-diagenetic type. Quaternary deposits consist for the most part of terra rossa.

Geological events and paleoenvironmental correlation of the Lower Cretaceous in the Veli Brijun island and in the SW Istria

Though the similarity of the Barremian, Aptian, and Albian sediments on the Veli Brijun island with those in the SW Istria has already been mentioned in the above descriptions, we would like to discuss the Lower Cretaceous depositional and paleogeological circumstances in more detail, as they have important bearing on the explanation of regional events in that part of the carbonate platform.

During the Late Barremian intertidal and shallow subtidal environments predominate, with frequent rhythmical deposition of micrite/pelmicrite, fenestral

micrite, and LLH-stromatolites. The rhythmicity is due to repeated environmental changes, ranging from protected shoals to shallow subtidal to lower intertidal with large tidal flats.

The peritidal and storm breccias at the end of the Barremian have regional extension and significance. They indicate the changing water energy and probably also a slight shallowing. The reptilian footprints in the Upper Barremian limestones of the Pogdalo promontory indicate temporary emersions and land phases of the parts of the carbonate platform, producing larger or smaller dry-land areas suitable for the population of the Barremian reptiles. On the other side, the reptilian footprints found in two levels of the Lower Albian in the SE part of the island prove that that type of environment occurred repeatedly also at that time. In the peninsular SW Istria the reptilian footprints have also been found in the Lower Turonian on the Fenoliga islet (Gogala, 1975; Gogala & Pavlovec, 1978; Tišljarić et al., 1983). All these data indicate that specific environments on that part of the carbonate platform lasted — or at least intermittently occurred — during a period of about 30 MY.

The occurrences and distribution of the emersion breccias give valuable insights into the explanation of these relationships in the Lower Cretaceous of Istria, proving, among other things, the duration of the emersions, etc.

Polšak (1965) mentioned temporary sea-level oscillations in the Aptian-Albian age in south Istria, which caused significant shoaling phases and local and short-lasting emersions, indicated by well-preserved reptilian footprints in the limestones on the Brioni archipelago. He further thinks that the »reptiles walked upon the un lithified lime mud, covered by a thin veneer of sea-water, or locally emerged and temporarily flooded by the sea« and mentioned »slight traces of erosion on the lower bedding planes of the limestones and thin intercalations of calcareous breccia«.

Our results generally indicate the Late Aptian emersion, but with different duration at different areas. On the Veli Brijun Island, the emersion caused the stratigraphic gap ranging from the middle of the Early Aptian up to near the end of the Early Albian (see the descriptions above). This emersion is not local, as it has been evidenced in the entire peninsular Istria, all over the West Istrian anticline. Several geologic columns (Text fig. 3), coupled with complex biofacies, lithofacies, and environmental analyses, in the eastern and southern part of the above mentioned anticline, yielded evidence on different duration (= different beginning and closing times) of the emersion. Most frequently, the emersion lasted through the Late Aptian and Early Albian. Locally, however, it started as late as at the end of the Late Aptian and came to an end during the Early Albian (e.g. Dvigrad), while elsewhere it started earlier in the Early Aptian and lasted into the Early Albian (e.g. Veli Brijun island; Tišljarić & Velić, 1986, and this paper). At the first glance, the varying relationships of different stratigraphic members and their various thicknesses are strikingly obvious. At Dvigrad, the uninterrupted stratigraphic and sedimentary succession of the Upper Barremian, wholly developed Lower Aptian and almost the entire Upper Aptian, has been interrupted near the Aptian-Albian boundary. Contrary to that, on the Veli Brijun Island, the emersion started earlier, in the Early Aptian so that the sediments of the upper part of the Lower Aptian, the entire Upper Aptian, and larger part of the Lower Albian are missing. As has already been mentioned above, the missing members have most likely not been deposited at all, as nowhere south of Bale late Lower Aptian, Upper Aptian, and basal Lower Albian fragments have been found. Going from Dvigrad to the Brijuni Islands, the gap (i. e., the duration of the emersion and of the land phase) clearly increases (Text fig. 3). The Albian was certainly also affected by emersion, but it is difficult to tell exactly how much. On the Veli Brijun island, a large part of the Lower Albian deposits are missing, while it is certainly much less on the neighbouring peninsular Istria. A very characteristic situation occurs south of Bale, where the emersion breccias — overlying the main emersion — occur repeatedly in several closely spaced levels during the Albian. At places, the younger emersion has eroded not only the immediately underlying micrites and biomicrites but has also cut off varying amounts of the former breccia level (= belonging to the former emersion; e.g. the Bale quarry, Negrin, Veli Brijun Island (Pl. IV). This indicates the dynamics of an oscillating transgression, causing the reduction of the Lower Albian sediment thickness. Bearing this in mind, it is not surprising

that the time-span basal Albian (marked by emersion breccia) — the boundary Lower/Upper Albian is marked by no more than about 30 m of shallow water carbonates. Similar relations, but even more pronounced, are developed in NW part of the Istrian anticline. The maximum gap has been established at Baderna, where the uppermost Lower Albian or even the basal Upper Albian directly overlies the (approximately) Middle Barremian. Here the gap (both materially and temporarily) is very significant: possibly some hundred meters of carbonate deposits are missing (= indicating emersion and/or land phase) and spanning the time duration of some 10–15 MY (e.g., Harland et al., 1982; Odin & Kennedy, 1982). Going from Baderna westwards, the gap decreases, caused by the »lag« of the main emersion — the deposits of the Upper Barremian and the lower part of the Lower Aptian occur again, paralleling — on the shore near Cervar — the Veli Brijun situation. Detailed investigations of that problem are in course and the results will be published elsewhere.

Summing up, we conclude that the data presented above strongly indicate differentiated uplifting in that part of the carbonate platform, associated with significant global sea-level oscillations during the Late Barremian — final Early Albian time span (Vail et al., 1977; Harris et al., 1984). Taken together, these factors produced changing sedimentary environments and variable rate of deposition per unit of time. The direct results are different thicknesses of both biostratigraphic and lithostratigraphic units.

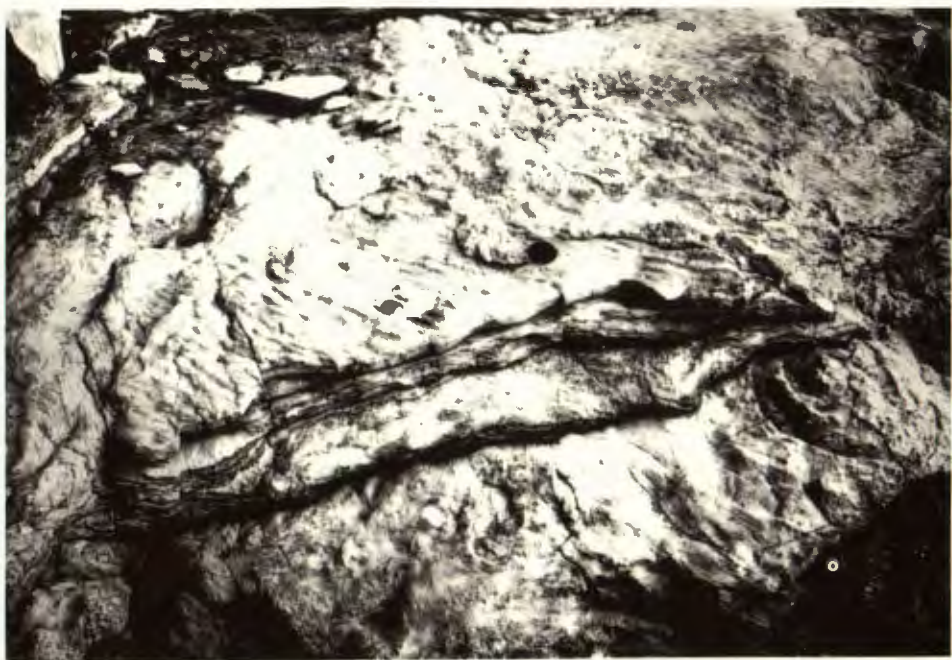
To conclude with, all these data (and the ones still in preparation) suggest that the carbonate platform, in addition to »sinking« at different rates and/or velocities, locally and occasionally also displayed movement in the (relatively) opposite direction. The latter are best visible and most strongly pronounced — within the regional frame of the West Istrian anticline — in the Aptian and Lower Albian of the Veli Brijun Island.

TABLA I — PLATE I

- Sl. 1. Peritidalna vapnenačka breča. U krovini sloj fenestralnog mikrita u kojemu se pojavljuju otisci stopala gmazova. Gornji barem, rt Pogledalo.
- Fig. 1. Peritidal breccia overlain by a bed of fenestral micrite with reptilian footprints on its upper surface. Upper Barremian, Pogledalo promontory.
- Sl. 2. Proslojak pletenog vapnenca s ripple mark teksturom u tankom sloju stromatolita. Gornji barem, rt Pogledalo. Poklopac objektiva fotoaparata ima promjer od 6 cm.
- Fig. 2. Intercalation of peletal limestone with ripple marks within a thin bed of stromatolite. Upper Barremian, Pogledalo promontory. Lens cap diameter is 6 cm.



1



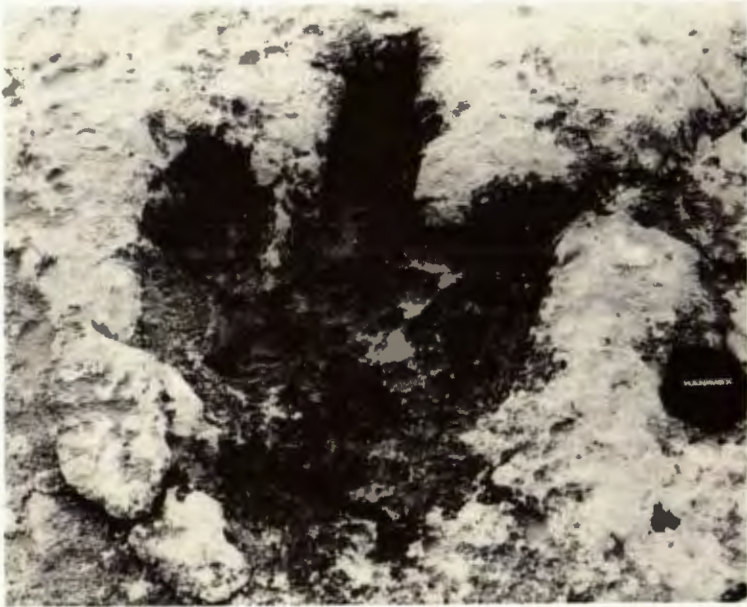
2

TABLA — PLATE II

- Sl. 1. Fenestralni mikrit s otiscima stopala gmazova. Gornji barem, rt Pogledalo.
Fig. 1. Fenestral micrite with reptilian footprints. Upper Barremian, Pogledalo promontory.
- Sl. 2. Povećani detalj sa sl. 1. Promjer poklopca objektiva 6 cm.
Fig. 2. Enlarged detail from Fig. 1. Lens cap is 6 cm in diameter.



1



2

TABLA — PLATE III

Sl. 1. Olujne breče — tempestiti s nejednoliko dubokom erozijom podinskog sloja: a — stromatoliti, b — erodirana peritidalna breča, c — olujna breča, d — stromatoliti. Gornji barem, stari kamenolom kod hotela »Karmen«.

Fig. 1. Storm breccias — tempestites; underlying bed eroded to various depths; a — stromatolites, b — eroded peritidal breccia, c — storm breccia, d — stromatolites. Upper Barremian, abandoned quarry in the Brioni harbour.

Sl. 2. Debelo uslojeni onkolitno-mikritni vapnenac donjeg apta s rekvijenijama. Rt Garme.

Fig. 2. Thick-bedded oncolite-micrite Requienia bearing limestone. Lower Aptian, Garme promontory.



1



2

TABLA — PLATE IV

- Sl. 1. Erodirana i brečirana površina donjoaptskog vapnenca (a), emerzijske breče (b) i izmjena donjoalbskih mikrita i emerzijskih breča (c). Granica apt-alb, rt Garme.
- Fig. 1. Eroded and brecciated surface of the Lower Aptian limestone (a), emersion breccia (b), and alternation of the Albian micrites and emersion breccias (c). The Aptian-Albian boundary, Garme promontory.
- Sl. 2. Detalj sa sl. 1. — prijelaz iz emerzijske breče (b) sastavljene od ulomaka donjoalbskog mikrita i crnih valutica («black-pebbles») u donjoalbske mikrite.
- Fig. 2. Detail from fig. 1. — transition from emersion breccia (b) composed of the Lower Albian micrite fragments and black-pebbles into the Lower Albian micrite (c). Garme promontory.



1



2

TABLA — PLATE V

- Sl. 1. Izmjena tankoslojevitih mikritnih, pletenih i stromatolitnih vapnenaca vršnog dijela donjeg alba. Istočna obala poluotoka Borovje.
- Fig. 1. Alternation of thin-bedded micritic, pelletal and stromatolitic limestones of the Uppermost Lower Albian. Eastern coast of Borovje.
- Sl. 2. Pukotine isušivanja u pelmicitima vršnog dijela donjeg alba. Istočna obala poluotoka Borovje.
- Fig. 2. Desiccation cracks in the pelmicrites of the Uppermost Lower Albian. Eastern coast of Borovje.



1



2

TABLA — PLATE VI

Sl. 1. Stromatolitno-pelmikritni vapnenac vršnog dijela donjeg alba Borovja.

Fig. 1. Stromatolitic-pelmicritic limestone of the Uppermost Lower Alban. Eastern coast of Borovje.

Sl. 2. Dolomitizirani kokina vapnenac sa školjkašima iz vršnog dijela donjeg alba. U gornjem desnom kutu zapaža se nepravilna granica kasnodijagenetske dolomitizacije. Uvala Soline. Promjer poklopca objektiva fotoaparata je 6 cm.

Fig. 2. Dolomitized coquina limestone with lamellibranchs of the Uppermost Lower Alban. In the upper right corner the boundary of irregular late diagenetic dolomitization occurs. Soline bay. Lens cap is 6 cm in diameter.



1



2