

Uloga antagonističkih procesa izgradnje i razgradnje grebena u povijesti poroziteta — primjer paleocenskog grebena u Baniji

Ljubo BABIĆ¹ i Jožica ZUPANIĆ²

¹ *Geološko-paleontološki zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Socijalističke revolucije 8, 41000 Zagreb*

² *Mineraloško-petrografski zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Demetrova 1, 41000 Zagreb*

Prikazani su procesi izgradnje i razaranja grebena, kako djeluju kod postanka, modifikacije i uništenja poroziteta. Razmatrana je povijest raznih vrsta pora: (1) veći prostori u osnovnoj građi, (2) manje šupljine rasta, (3) intraskeletne pore, (4) šupljine organskog bušenja, (5) vjerojatne skeletno-kalupne šupljine, (6) šupljine otapanja i (7) pukotinske šupljine. Proučavanje njihove povijesti i povijesti grebena upućuje na vremenski slijed procesa za pojedinu vrstu pora i slijed procesa za razne vrste pora, te na mogućnosti održanja pojedinih porozitetnih faza raznih vrsta šupljina.

UVOD

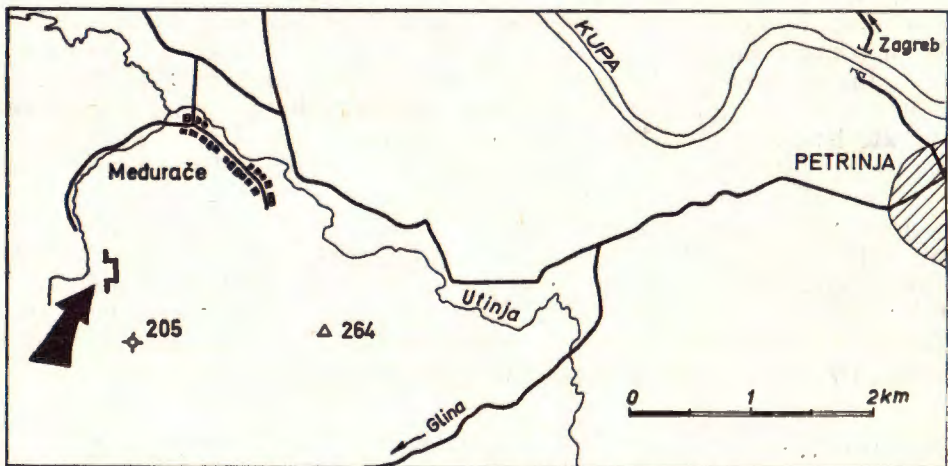
Nije potrebno podrobnije zalaziti u probleme postanka sedimentata, da bi se zaključilo da procesi izgrađivanja jednog sedimentnog tijela predstavljaju samo jednu od tendencija unutar povijesti sedimenta, a da su procesi razaranja i erozije, dakle degradacijski procesi, jednako utjecajni na povijest i kasnije karakteristike sedimentnog proizvoda. Posebno mjesto imaju ti procesi kod karbonatnih tvorevina, a osobito karakteristično kod grebena. Na izabranom primjeru jednog grebena u Baniji (smještaj na sl. 1 i 2) mogli smo promatrati posljedice nekoliko vrsta takvih procesa, a također i kombinaciju djelovanja gradivnih i spomenutih razornih procesa. Ono što se činilo zanimljivim ovdje pokazati, bila je pojava da su se svi oni mogli registrirati na istom greben-skom tijelu. Uz to, mogu se lijepo usporediti s procesima koji djeluju i u današnjim grebenima. Gradivni i razorni procesi, koje ovdje, radi pogodnosti prikaza, prikazujemo kao antagonističke parove, izravno utječu na povijest poroziteta, smanjuju ga, odnosno povećavaju.

O PALEOCENSKOJ PALEOGEOGRAFIJI OVOG I ŠIREG PREDJELA

Ova je tema drugdje prikazana opširnije i dokumentirano (Babić & al., 1976), a ovdje donosimo samo opću sliku, kao podlogu za daljnje posebno razmatranje.



Sl. 1 Opća smještajna karta
Fig. 1 General situation map



Sl. 2 Smještaj kamenoloma s izdancima grebenskih sedimenata
Fig. 2 Situation of the quarry with outcrops of reef sediments

U paleocenu je postojao izdužen morski areal, koji se pružao barem od Medvednice do donjeg toka Drine. Njegovu okosnicu predstavljao je bazenski predio s fliškom sedimentacijom, dok su rubno bazenu bili plići predjeli. U tim predjelima (sa sjeverne strane bazena) prevladavaju silicijski klastični sedimenti obalnih i plitkomorskih okoliša. Takvi su se okoliši naslanjali na kopno koje je najvećim dijelom bilo izgrađeno od metamorfita i kiselih eruptiva, što bi odgovaralo građi Panonske mase, a manjim dijelom od eugeosinklinalnih tvorevina. Pojava grebena i drugih plitkomorskih karbonatnih okoliša je lokalna i uzdužno nekontinuirana, a smještaju se tamo gdje u pozadini nema većih ušća rijeka. Rekonstruirani paleogeografski smještaj banijskog grebena (sl. 3) u os-



Sl. 3 Paleogeografski profil sa smještajem banijskog grebena (nije u njerilu)

- 1 Panonska masa, mjestimično s nešto sedimentnog pokrivača
- 2 »Eugeosinklinalne« tvorevine mezozoika ± drugi sedimenti
- 3 Obalna i plitkomorska sedimentacija klastita
- 4 Greben i prigrebenski plićak
- 5 Bazenski sedimenti

Fig. 3 Paleogeographic section showing the situation of the Banija reef (not to scale)

- 1 Pannonian Mass, locally covered with sediments
- 2 Mesozoic »eugeosynclinal« formations ± other sediments
- 3 Coastal and shallow marine clastic sedimentation
- 4 Reef and near-reef shoal environments.
- 5 Basinal sediments

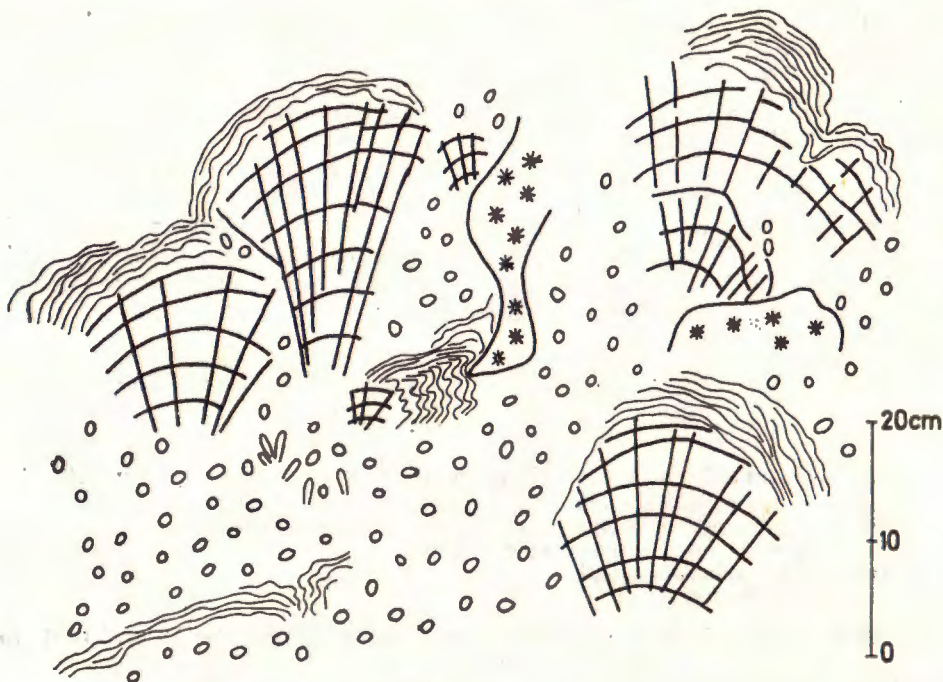
novi odgovara njegovu mjestu u jednom »klasičnom« rasporedu okoliša i facijesa, kakav je čest u raznim razdobljima, a od poznatih rekonstrukcija, takvu je već među prvima sačinio i Henson u svom također klasičnom radu (1950).

Karbonatne izdanke banijskog lokaliteta sačinjavaju masivni sedimenti grebenskog okoliša i uslojeni sedimenti prigrebenskog (vjerojatno zagrebenskog) plićaka. Prve spomenute tvorevine nose pojave o kojima je ovdje riječ.

POJAVE I PROCESI

1) Veći prostori u osnovnoj građevini

A) Hermatipni koralji i crvene alge glavni su graditelji masivnog grebenskog tijela. Rastu jedni na drugima ili grade biolititne jedinice, kojima glavninu čine buseni koralja, jedan ili više njih. Takve gradivne jedinice, čija je visina od desetak do oko 30 cm, mogu biti humčastog, bubrežastog ili pogačastog oblika, te s nepravilnim izbojcima i ograncima, i mogu slijediti jedna iznad druge u nepravilnom rasporedu (sl. 4). Već sama ta osnovna izgradnja grebenske rešetke (u našem slučaju koralji i crvene alge), koja je u predjelu svog aktivnog rasta dobro poznata kao izuzetno porozna tvorevina, napačnuta je protivnim procesima. S jedne



Sl. 4 Detalj građe grebena, pojednostavljeno i šematizirano prema presjecima vidljivim na trošenim plohama. Biolititne građevine mogu biti gušće ili pak jače razmaknute.

Debele crte i zvjezdice: koralji

Tanke crte: koralinacejske kore i grane

Krugovi: vapnenac razne strukture, koji sadrži razne skelete, skeletne fragmente i biolititne fragmente (sedimenti punjenja).

Fig. 4 A detail of reef body fabric, simplified and schematized from sections seen on weathered surfaces. Biolithite construction may be more closely or more loosely spaced.

Neavy lines and asterisks: corals

Thin lines: corallinacean crusts and branches

Circles: limestone of various texture containing various skeletons, skeletal fragments and biolithite fragments (»fillings«).

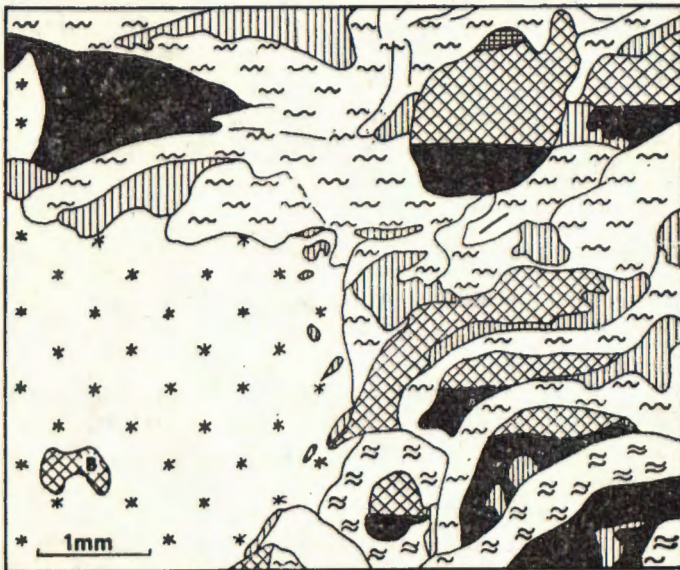
strane, razaranjem same građevine, a s druge strane, ispunjavanjem prostora među biolititnim tvorevinama. Razaranje se obavlja na dva načina: jedan je mehanički (abrazija), a drugi, za kojega se u banijskom primjeru moglo ustanoviti da je igrao važnu ulogu, je biološki (bioerozija). Intenzitet razaračkih procesa dokazuje ne samo detritus, koji ispunjava prostor među biolititnim tvorevinama, nego i karbonatni pijesak prigrebenskog pličaka.

B) Ispunjavanje osnovne grebenske rešetke obavljalo se, kako obraštajnim ali i nepričvršćenim raznim organizmima-stanovnicima koji nisu pravi graditelji nego u osnovnoj rešetki nalaze pogodni biotop (crvene alge, prirasle foraminifere, crvi, puževi, briozoi i dr.), tako i s već spome-

nutim grebenskim detritusom. Tom detritusu može biti primiješan sediment koji je donešen iz susjednih prigrebenskih okoliša, a predstavljen je skeletnim materijalom (cijelim i fragmentiranim) s ponešto terigenih sicilijanskih čestica. Tako su svi slobodni prostori, koji su postojali unutar osnovne rešetke na mjestu njenog aktivnog rasta, ubrzo potpuno nestali.

2. Manje šupljine rasta

A) Po načinu postanka slične su prethodno spomenutim prostorima, i obje bismo vrste mogli nazvati »šupljinama rasta«, jer proces rasta djeluje kao proizvođač šupljine. No dok su ono prvo veći prostori, i smješteni između većih biolititnih tvorevina, dakle unutar glavnih elemenata grebenske građevine, ovi drugi su manji (najveće opažene dimenzije do oko desetak mm) smješteni unutar biolititnih tvorevina, među granama i obraštajima, pa predstavljaju strukture nižeg reda (sl. 4 i 5). One šup-



Sl. 5 Ispunjavanje šupljina rasta; prema fotografiji izbruska (iz Babić & al., 1976).

Crno: sitnozrnati sediment u šupljini

Dijagonalna mreža: sparitni cement općenito (u šupljini); B: u organskoj bušotini

Zvjezdice: koralji (masivni)

Ostale oznake: razni prirasli organizmi

Bijelo: zamjenski i žilni sparit

Fig. 5 Small growth cavity filling; after thin-section microphotograph (from Babić & al., 1976).

Black: fine-grained sediment in the cavity

Diagonal crossed lines: sparry calcite cement in general (in the cavity); B: in organic boring cavity

Asterisks: corals (massive)

Other signs: various fixed organisms

White: replacement and vein sparite

ljine, koje su bile teže pristupačne, nisu mogle biti brzo posve ispunjene, kao što je bilo moguće kod većih »šupljina« rasta (1). Njihov postanak dakle zavisi o samom organskom rastu, i to o kvaliteti zatvaranja i brzini rasta iznad šupljine. Volumen tih pora prvotno je bio prilično velik.

B) Veći dio takvih šupljina punjen je »unutarnjim« sedimentom razmjerno brzo nakon njihova postanka. Sediment koji je još mogao naći put do šupljina je sitnozrnat, pa nalazimo mikrit i kalcsiltit. Jedne su ispunjene potpuno, druge djelomično i njima je gornji dio ostao slobodan, a treće, koje su rijetke, ostale su potpuno prazne. Punjenje sedimentom nije dakle potpuno uništilo ovu vrstu primarnog poroziteta.

C) Nova porozitetna faza obuhvaća dakle djelomično neispunjene šupljine rasta, u kojima je nastalo novo dno, više ili manje ravno, te rijetke potpuno prazne šupljine. Ona traje još neko vrijeme nakon prekidanja mogućnosti dotoka sedimenta. Toj se fazi suprotstavlja novi način uništenja, koje se više ne provodi pomoću punjenja detritusom, odnosno sedimentom, nego kemogenom sedimentacijom, odnosno kristalizacijom sparita (sl. 5). To se može obaviti u dva navrata, odnosno obrubnim pa mozaičnim cementom.

Prema tome, u našem primjeru grebene, šupljine rasta bile su ispunjene, čak i usprkos nemogućnosti potpunog ispunjenja sedimentom svih tih šupljina, odnosno usprkos postojanja jednog mlađeg šupljinskog stadija, koji je bio kratkog vijeka.

3. Intraskelletne pore

Karakteristike te vrste prvotnog poroziteta ovise o građi skeleta kod pojedinih vrsta i skupina organizama. Tako skelet koralja sadrži šupljine među septima (zastupljeni su heksakoralji), bodljikaši imaju dobro poznat veliki porozitet kalcitnih zrna svojih skeleta, foraminifere imaju šupljine komorica, školjkaši i puževi unutar ljuštura itd.

Što se dogodilo s tim, također velikim, volumenom pora? Veći dio je eliminiran punjenjem muljem i po kojom većom česticom, koji predstavljaju pretežno skeletni ili biolititni detritus. Takvo je punjenje veoma karakteristično za koralje gdje gotovo ne nalazimo kemogene cementacije. U pogledu crvenih algi nerna nikakvih posebnosti u odnosu na uobičajeno: i u drugim je naima primjerima pravilo da su njihove pore ispunjene sparitom. Neke ipak (*Elianella*) pune se i muljem, barem u rubnom dijelu skeleta ili skeletnog fragmenta. Također nema osobitosti kod bodljikaša, kojima je njihov veoma fini porozitet najčešće eliminiran sintaksijalnim sparitom. Pore, odnosno intraskelletne šupljine puževa, međutim, mogu biti ispunjene sparitom, ili geopetalno: djelomično muljem, a djelomično sparitom. I kod foraminifera i brioza preteže sparitno punjenje, koje može pokazivati obrubnu i mozaičnu fazu cementacije.

Općenito je intraskelletni porozitet nestao, a njegov nestanak uvjetovan je dvama raznim procesima: jedan je punjenje muljem, a drugi punjenje sparitom. Dijelom to ovisi o građi skeleta, a dijelom o pristupačnosti i raspoloživosti muljne sirovine. Svakako se može računati da je manji dio prvotnih intraskelletnih pora bio jedno kraće vrijeme otvoren.

Dakle, sve nabrojene vrste prvotnog poroziteta, čiji je postanak uvjetovan specifičnostima rasta grebena, specifičnostima građe grebenskog tijela i specifičnostima građe skeleta čiji su vlasnici sudjelovali u njegovoj izgradnji, i prema tome su te vrste poroziteta »selektivnog« tipa (u smislu Choquete & Pray, 1970) u odnosu na elemente građe, nestale su, može se reći, potpuno. To se zbilo veoma rano, što znamo i po tome, što mlađe šupljine presijecaju spomenute gotove strukture.

Ova povijest poroznosti nije dakle završena, nego se nastavlja i komplicira.

4. Šupljine organskog bušenja

A) Organsko bušenje djeluje na sediment rešetke na mjestu gdje ona još nije ispunjena, ali također i na sediment koji je »mrtav«, i gdje je rešetka već potpuno izgrađena i ispunjena, na što upućuje presijecanje ispunjenih intraskeletnih pora u koraljima. U koraljima je bušenje opažano najčešće.

Bušaći su razni (sl. 6 i 7), od sitnih algalnih, zatim spužvi i vjerojatnih crva, te drugih, pa do školjaka-bušilica, koje u banijskom grebenu imaju osobito važnu ulogu. Stvaraju šupljine s promjerom od nekoliko do 12 mm, a kod šupljina s više školjakaša, i nešto više. Njihova djelatnost ne manifestira se samo kao oblikovanje šupljine, nego se iskazuje i kao veoma efikasno razaranje, koje je zaslužno za postanak znatnog dijela grebenskog detritusa (koji sudjeluje i u sastavu sedimenata prigrbenskog plicaka), i time i za smanjenje volumena biolititnog i općenito grebenskog sedimenta u odnosu na prvotno izgrađeni. Intenzitet njihove djelatnosti pokazuje i brojnost nalaza školjaka-bušilica a i, mjestimično registrirano, gotovo potpuno uništenje prvotnog sedimenta (sl. 6). Ujedno je i ta vrsta poroziteta, koja je dobro poznata i u današnjim grebenima, veoma važna po svojem volumenu.

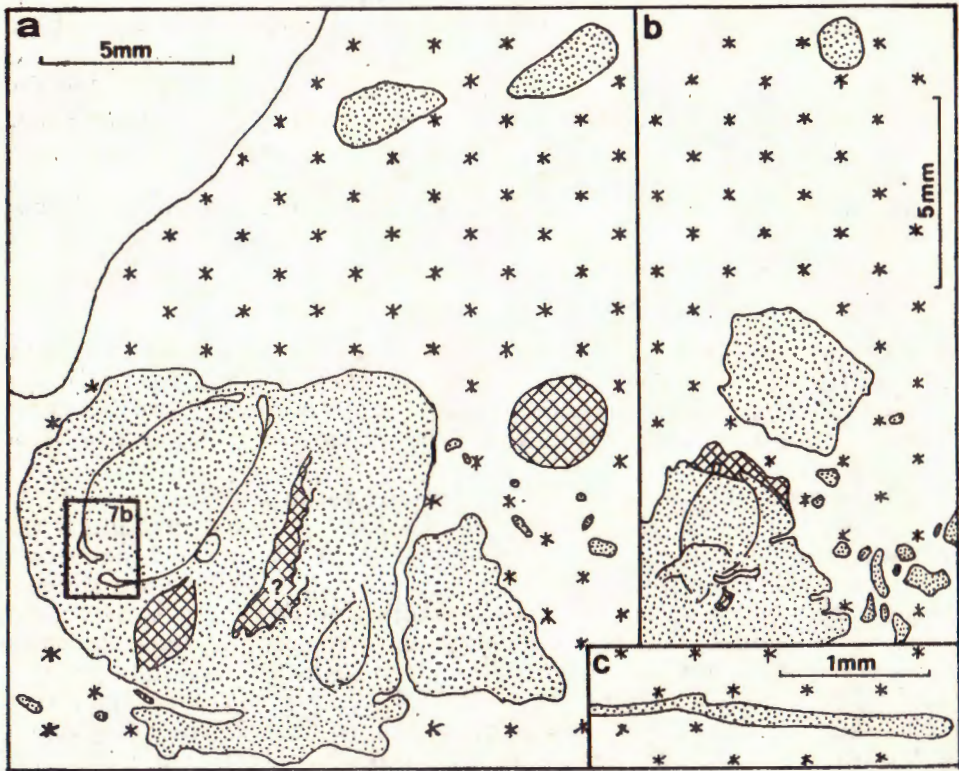
B) Suprotna tendencija javlja se u primjeru banijskog grebena veoma brzo, i to kao punjenje šupljine mikritom, koji mjestimično sadrži i nešto siltnog silicijskog detritusa, ili pak sitni skeletni detritus. Neke su šupljine, međutim, samo djelomično ispunjene, a rjeđe ostaju neispunjene, te tako nastaje mlađi šupljinski stadij.

C) Preostale šupljine, koje su smještene u gornjim dijelovima prvotnih šupljina, kao i rijetke neispunjene šupljine, eliminirane su mlađom cementacijom. Sparitni cement pokazuje porast veličine zrna od ruba prema unutrašnjosti.

Procesi B i C jednaki su i kod šupljine same školjke — bušilice, koja se često može naći u vlastitoj bušotinskoj šupljini.

5. Vjerojatne skeletno-kalupne šupljine

A) Ova vrsta šupljina mogla je nastati zamjenom skeletnog aragonita kalcitom preko šupljinskog međustadija. U našem slučaju, to je mogao biti veliki porozitet s obzirom na veliki udio koralja. S obzirom na sačuvanje oblika skeleta, to se moralo dogoditi nakon ispunjavanja intraskeletnih šupljina i litifikacije tog punjenja. Pretpostavka o postojanju tak-



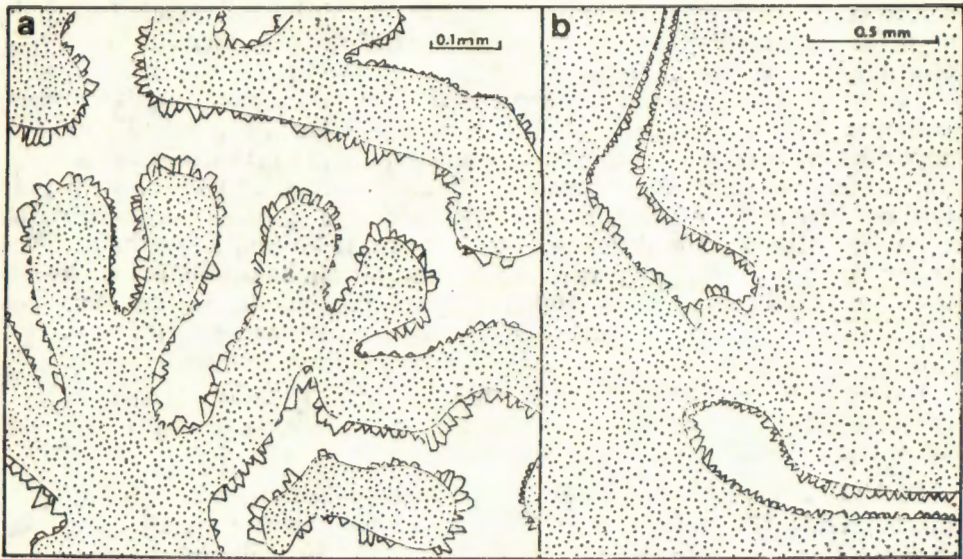
Sl. 6 Šupljine organskog bušenja i njihovo punjenje; prema fotografijama izbrusaka (a i c iz Babić & al., 1976). Na (a) i (b) vide se školjke-bušilice u vlastitim šupljinama.

Zvjezdice: koralji (masivni)
 Točke: sitnozrnati sediment
 Mreža: sparitni cement općenito

Fig. 6 Boring cavities and their filling; after thin-section microphotographs (a and c from Babić & al., 1976). In (a) and (b) boring pelecypods are seen.

Asterisks: corals (massive)
 Dots: fine-grained sediment
 Crossed lines: sparry calcite cement in general

vog poroziteta u koraljima temelji se na mjestimičnim nalazima sparitnog kalcita karakteristične građe, koji zamjenjuje prvotni aragonitni skeletni materijal. Nalazi se obrubni nazubljeni kalcit od zida prema unutrašnjosti skeleta, te mozaični ekvidimenzionalni sparit u preostalom većem dijelu volumena skeleta (sl. 7). Relikata prvotne skeletne građe nema. Ove karakteristike smatraju se indikacijom procesa cementacije kalupnih šupljina, dakle indikacijom postojanja šupljina otapanja aragonita, nasuprot procesu zamjene »in situ« (Bathurst, 1964). Ni smo međutim mogli naći još neke druge pojave kao kriterije prepozna-



Sl. 7: Građa sparita u vjerojatnim skeletno-kalupnim šupljinama; prema fotografijama izbrusaka, pojednostavljeno.

Točke: sitnozrnati sediment (a - u intraskeletnim porama koralja; b - u bušotinskoj šupljini obuhvaća školjku-bušilicu; vidi sl. 6)

Bijelo: epvidimenzionalni mozaični sparit.

Fig. 7: Sparite fabric in assumed skeleto-moldic pores; after thin-section microphotographs, simplified.

Dots: fine-grained sediment (a - in the intraskeletal pores of a coral; b - surrounding a boring pelecypod in a boring cavity, see fig. 6)

White: blocky calcite.

vanja tog procesa (Bathurst, 1964; usp. Dodd, 1966). Tako su dodirni (»enfacial«) kontakti rijetki, vjerojatno zbog male dimenzije pora, koja se približava dimenziji kalcitnih zrna. Također nije primijećen detritični niti geopetalno građeni sediment punjenja. Međutim, na mjestima nekadašnjeg aragonita češće se može naći ekvidimenzionalni mozaični sparit, čiji bi postanak mogao biti cementacijski ili pak rekristalizacijski. Naime, naknadni proces rekristalizacije bio je veoma raširen i lokalno je proizveo sparitne mase potpuno uništavajući prethodnu strukturu, a tamo gdje je proces obavljen djelomično, moglo je rekristalizacijom doći do uništenja kristala manjih dimenzija.

Osim mjestimičnog nalaza spomenutih karakterističnih struktura zamjene u koraljima, za kakve se smatra da nastaju cementacijom šupljine, iste su pojave primijećene i kod nekih školjaka-bušilica (sl. 7). S obzirom da je održan njihov oblik, a nalaze se uronjene u unutarnji sediment vlastite bušotinske šupljine, i ovdje se mora zaključiti da je zamjena mlađa od tog unutarnjeg sedimenta, kao što je i kod koralja zamjena mlađa od litificiranog intraskeletnog sedimenta.

Kao uvjet otapanja aragonita obično se spominje slatka voda (pregledno u Bathurst 1971), te bismo morali pretpostaviti i emerziju kao uvjet cirkulacije u vadoznoj zoni.

Zanimljivo je upozoriti na vremenski i genetski odnos i razlike prema jednom drugom porozitetu, koji ćemo opisati kasnije (poglavlje 6). Taj porozitet nastao je otapanjem u vrijeme emerzije i nije selektivan s obzirom na elemente građe sedimenta, odnosno pore sijeku »gotovi« litificirani sediment. Pore sijeku i zamjenski kalcit, pa se može zaključiti da ta emerzija nije zatekla skeletno-kalupne pore, u kojima se on nalazi. Također nije primijećeno proširivanje vjerojatnih kalupnih pora. Prema tomu, zamjena aragonita (odnosno vjerojatna cementacija kalupnih pora) obavljena je prije te emerzije u banijskom primjeru i ujedno veoma rano.

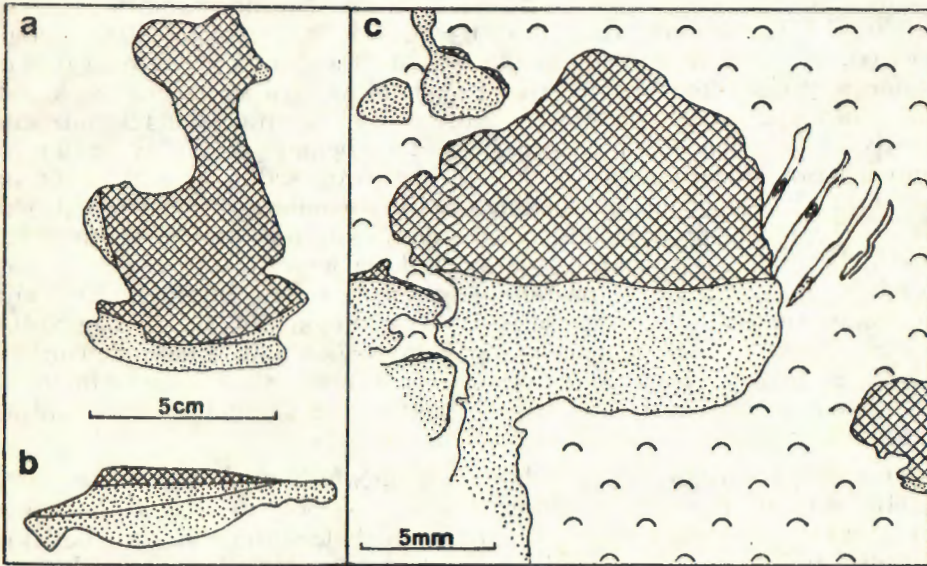
Dakle, nije mogla biti zapažena nikakva veza između procesa vezanih za vjerojatni skeletno-kalupni porozitet (5) i onih, koji su proizveli neselektivni porozitet (6).

B) Već je u prethodnom tekstu opisana građa punjenja ovih vjerojatnih nekadašnjih šupljina. S obzirom na već spomenuto presijecanje mlađim šupljinama otapanja (6), cementacija, a time i eliminacija ovog poroziteta bila je vjerojatno obavljena rano. S obzirom na građu zamjenskog kalcita i nedostatak tipičnih karakteristika koje bi nastale izvan podmorskih uvjeta, opravdano je pretpostaviti podmorske uvjete ove vjerojatne cementacije (Schroeder, 1973).

Kod budućeg razmatranja ovih pojava, mora se uzeti u obzir i poznati degradacijski utjecaj prve obrubne cementacije na porozitetna svojstva.

6. Šupljine otapanja

A) Ova vrsta nekadašnjih šupljina siječe gotove strukture, kako skelete tako i »punjenje«, dakle litificiranu grebensku tvorevinu, a također i kalcit, koji je zamijenio aragonite skelete koralja. Taj porozitet je dakle neselektivan u odnosu na elemente građe grebena. Oblikom su šupljine nepravilne, a mjestimično se zapaža gotovo ravno dno. Mogu to biti i kanalima slični oblici, a kod nekih se vidi da se nastavljaju na kanalima slične šupljine. Mogu biti sitne, milimetarskih dimenzija, dok onim najvećim dimenzije dosežu oko 15, pa čak i 30 cm. Ovakvo rezanje gotove grebenske strukture, mora biti posljedica jedne razaračke djelatnosti, koju možemo usporediti s karstifikacijom, a to znači emerziju i cirkulaciju slatke vode. Ponovno upozoravamo da nije zapažena veza s pretpostavljenim skeletno-kalupnim porama (poglavlje 5), niti eventualno njihovo proširivanje i modifikacija. Iako je dakle za pojave ovog otapanja registrirano da su mlađe od litifikacije i zamjenskog kalcita, nismo u mogućnosti tvrditi da ponegdje (u tada najmlađem dijelu grebenskog tijela?) ipak nije emerzija zatekla i proširivala šupljine rasta i kalupne šupljine ili pak nešto skeletnog aragonita. Možda će se kod nekih drugih paleocenskih grebena ta mogućnost moći jasnije procijeniti. Volumen tih šupljina nije malen, a važna im je karakteristika, iako zapažena samo ponegdje, povezanost (»efektivna poroznost«!).



Sl. 8: Šupljine otapanja i njihovo punjenje

a, b; prema presjecima vidljivim na trošenim ploham

Točke: sitnozrnati detritični sediment (šupljina na slici (a) možda je bila u ranijoj fazi ispunjena do više razine, pa je punjenje naknadno ispravno, a mjestimično se zadržalo na zidovima, ili je sediment priljepljen na zidove u vrijeme donosa i taloženja sedimenta u donjem dijelu šupljine pri življoj cirkulaciji vode kroz podzemlje)

Mreža: sparitni cement

c: prema fotografiji izbruska (iz Babić & al., 1976).

Točke: arenitni do sitnozrnati sediment

Mreža: sparitni cement

Vidi se nekoliko šupljina u grebenskom sedimentu. U njemu je posebno označen samo jedan presjek koralja s organskim bušotinama ispunjenim mikritom.

Fig. 8: Solution cavities and their filling

a, b: after section seen on weathered surfaces

Dots: fine-grained detritic sediment

Crossed lines: sparry calcite cement

c: after thin-section microphotograph (from Babić & al., 1976)

Dots: medium to fine-grained sediment

Crossed lines: sparry calcite cement

Several cavities in reef rock are seen. Only one coral section containing organic boring cavities filled with fine-grained sediment is shown in the reef sediment.

Neki nas podaci upućuju na pretpostavku da je do emerzije (samo jedne?) došlo još unutar povijesti grebenskog tijela. Takva pretpostavka zasniiva se prvenstveno na smještaju ove vrste šupljina samo u starijem dijelu vidljivog dijela grebenskog tijela, dok ih u mlađem nismo mogli naći (sl. 9). Zato bi emerzija mogla predstavljati samo privremeni prekid trajanja grebenskog okoliša. Drugi podatak odnosi se na vremenski odnos emerzije prema glavnim fazama postsedimentacijske tektonizacije banijskih predjela. Naime, te dvije pojave nemaju izravne veze, jer bi srno u tom slučaju mogli očekivati nagibanje sedimenata iz prvotnog položaja, kakav je bio pri sedimentaciji. No položaj stijena bio je jednak prije i u vrijeme postanka i punjenja šupljina otapanja, što dokazuje orijentacija geopetalnih punjenja, koja je jednaka orijentaciji geopetalnih punjenja ranije nastalih šupljina (posebno bušenja). Emerzija je dakle starija od tektonizacije koja je mogla dovesti do nagibanja. Iskaz te tektonizacije je današnji položaj sedimenata u našem primjeru (sl. 9), a također i druga tektonska oštećenost sedimenata. Osim toga, tektonska oštećenja ne pokazuju nikakvu vezu sa spomenutim šupljin-skim teksturama.

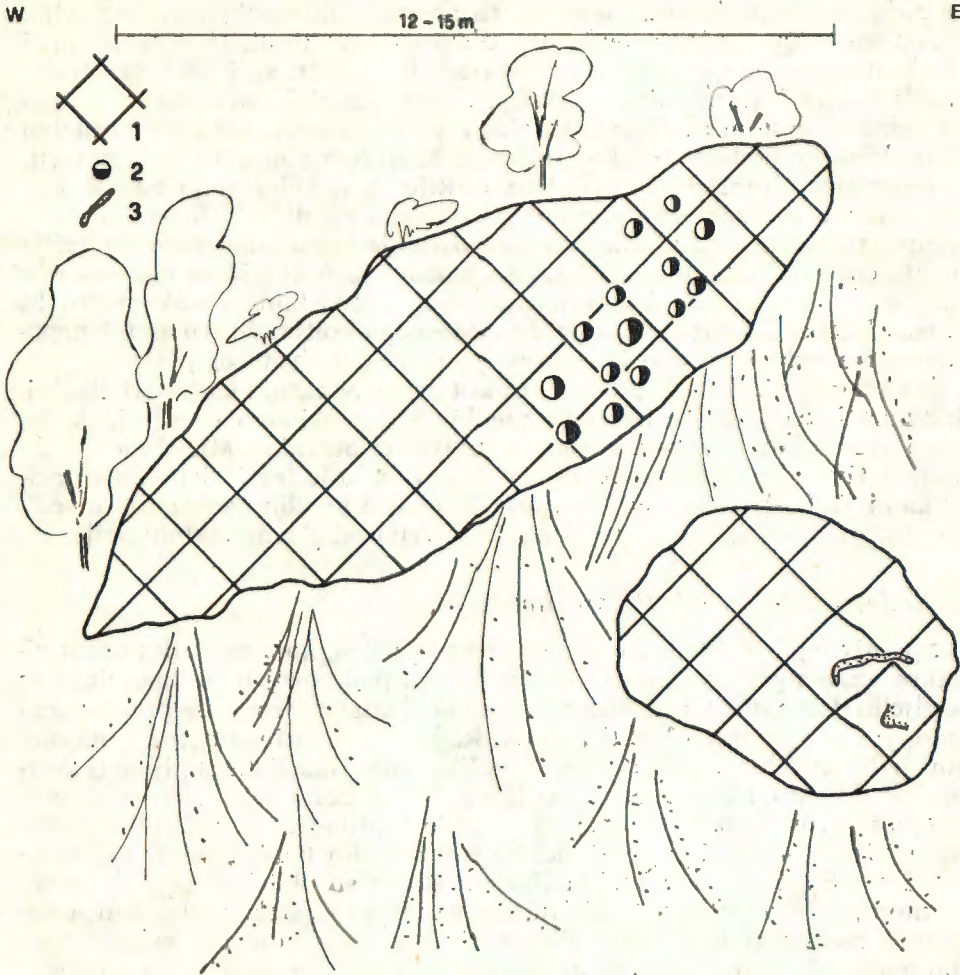
B) I ova vrsta poroznosti dobila je u slučaju banijskog grebena neprijatelj. Starije punjenje šupljina obično je nepotpuno i često laminirano. U pojedinim slučajevima sastoji se od kalcisilita s nešto silicijskih siltnih čestica, pokrivenog mikritom. U drugim slučajevima na dnu nalazimo siltne i arenitne silicijske čestice s više ili manje skeletnih ostataka i sparitskim vezivom. Na tome može ležati kalcisilit i mikrit, stvarajući tako laminirano punjenje, koje ujedno proizvodi novo ravno dno preostalog dijela šupljine. Manje šupljine obično su ispunjene mikritom, a takav sediment može puniti i kanale koji spajaju šupljine. Time je znatni dio ovog poroziteta bio eliminiran, ali je dio još ostao sačuvan.

C) I nova porozitetna faza je nestala u banijskom grebenu mlađom cementacijom (obrubni i središnji mozaični cement), koja je vjerojatno obavljena u podmorskim uvjetima.

7. Pukotinske šupljine

A) Široke su nekoliko milimetara do najmanje dvadesetak centimetara i sijeku grebensku tvorevinu u dužini od najmanje nekoliko metara. Mogu biti ravne, ali mogu i oštro skretati. Gotovo svi primjeri promatrani su u srušenim blokovima, a samo jedan u tektonski veoma oštećenom dijelu izdanaka grebena. Svakako su mlađe od litifikacije onog dijela grebenskog sedimenta u kojem su nastale, ali to ne znači da moraju biti mlađe od ukupnog raspona starosti grebenskog tijela. Vjerujemo da su djelomično istovremene s jednom dijelom grebena, jer su u njihovu punjenju, dakle u sedimentnim (neptunskim) žilama, skeletni detritus i cijeli skeleti kakve inače nalazimo i u sedimentima grebena i prigrebenskog (vjerojatno zagrebenskog) plicaka. Možda vrijeme otvaranja odgovara vremenu emerzija (6), ali nikakve pojavne ni genetske veze nismo uspjeli naći.

B) S obzirom na spomenutu sličnost sastava žila s ostalim sedimentima grebena i prigrebenskog plicaka, također je vjerojatno da je i pu-



Sl. 9 Orijentacija geopetalno punjenih šupljina otapanja i smještaj mlađih karstifikacijskih šupljina

- 1 izdanci grebenskog tijela
- 2 geopetalno punjene šupljine; znakovi pokazuju samo smještaj i orijentaciju, a ne oblik, veličinu i odnos vrsta punjenja
- 3 mlađe karstifikacijske šupljine ispunjene pijeskom.

Fig. 9 Orientation of geopetally filled solution cavities and situation of young karstification cavities (the later not mentioned in English text)

- 1 outeroops of reef body
- 2 geopetally filled cavities; the signs are showing only their position and orientation, not size, shape or filling characteristics
- 3 young karstification cavities filled with sand.

njenje obavljeno razmjerno rano. Možda su one punjene u vrijeme kada su punjene i šupljine otapanja, no ta postavka nema sigurnijih temelja.

Sediment punjenja (crvenkasti, zelenkasti, smeđasti, sivi) sastavom i strukturom najčešće je rasuti i pakirani biomikrit, koji osim skeletnih, sadrži uvijek i nešto terigenih silicijskih čestica. Neke su pukotine punjene jednom vrstom sedimenta uz zid, a prema unutra, također paralelno zidu, drugom vrstom. U tako punjenim šupljinama zapažen je biomikrit, te biosparit s imbriciranim česticama. Rijetko se nalazi mikritsko ili kalkarenitično pješčenjačko punjenje. Veći udio rotaliidnih foraminifera u žilama, uz ostale podudarne satojke, označuje vjerojatno nešto drugačije uvjete okoliša, odakle je dolazio sediment, nego što je to bio slučaj s grebenom i prigrebenskim (vjerojatno zagrebenskim) pličakom. To bi mogao biti sediment jednog predgrebenskog okoliša, do danas još nepoznatog na izdanku, a bio je unešen u pukotine grebenskog tijela.

Iako punjenje barem u nekim pukotinama pokazuje karakteristike višefaznosti, pa je dakle ispunjavanje bivalo i prekidano, ono je ipak doseglo sve pukotinske prostore ne ostavljajući praznine. Mjestimice u žilnom sedimentu nalazimo tanke kalcitne žile, koje imaju istu orijentaciju kao i pukotina. One su vjerojatno proizvod mlađih naprezanja u sedimentu, ali koja su vjerojatno također starija od glavne tektonizacije.

8. Dodatak: jedan mlađi porozitet

Spominjemo još jednu fazu postanka šupljina, koja međutim nema nikakve veze s grebenskom poviješću i ne pripada ovoj temi. Spominjemo je djelimice zato, jer je izrazita u banijskom grebenu, ali prvenstveno zato, jer o njoj treba voditi računa, kada se razmatraju porozitetne mogućnosti sličnih sedimenata. To su velike karstifikacijske šupljine (kaverne, kanali i sl.), koje ponegdje svojim oblikom jasno pokazuju proces otapanja, a drugdje pak tektonsko porijeklo šupljine. Neke od njih ispunjene su pijeskom koji je sličan nekim miocenskim Banije, no mogao bi to biti i pretaloženi miocenski sediment. Druge su obložene sigastim sedimentom, i horizontalnim izbočinama na zidovima pokazuju jednu nekadašnju razinu vode u podzemlju; ispunjene su glinom i pijeskom. Veći dio punjenja možemo smatrati pleistocenskim, ali postavljamo pitanje o starosti tektonizacije kao inicijatora postanka podzemnih prostora. Većinom je vjerojatno postmiocenska, a dijelom možda i predmiocenska. O tome će se izjasniti daljnja istraživanja, a sada upozoravamo na veliki volumen tih prostora, kao i na samu potrebu da se sazna udio moguće predmiocenske karstifikacije.

OPĆI POGLED I DISKUSIJA

Paleocenski greben u Baniji imao je burnu povijest izgradnje i razaranja, pri kojima su u raznim fazama povijesti grebena (a i nakon toga) djelovali raznoliki procesi. Ta je povijest ujedno i povijest poroziteta i uvjetuje raznovrsnost pora i raznovrsni vremenski slijed vrsta pora u grebenskom tijelu. Prema tome je istraživanje povijesti grebena (posebno dijagenetske povijesti) neophodan uvjet za shvaćanje događaja koji

utječu na postanak, modifikaciju i uništenje poroziteta. I obratno, shvaćanje povijesti poroziteta ujedno je i shvaćanje povijesti taloženja i diageneze grebena.

Zamršenost procesa relativizira strogost odjeljivanja rane od kasne diageneze, što međutim nije nikavo novo otkriće, nego podloga prijedlogu o pažljivom istraživanju sličnih pojava.

Uništavanje poroziteta kod banijskog grebena nikako ne mora biti opći slučaj kod grebena sličnog paleogeografskog i tektonskog smještaja i starosti. Također se to ne mora dogoditi upravo na taj način. Treba dakle pronaći uvjete, koji bi mogli pogodovati drugačijem slijedu događaja, odnosno održavanju nekih šupljinskih stadija pojedinih vrsta šupljina.

U pogledu većine nabrojanih građevnih i razgradnih procesa (točke 1—4 u prethodnom tekstu) spominjemo da se punjenje pora sedimentom sirovinom obavlja veoma rano (što nikako nije istovremeno). Zato nije vjerojatno da ti šupljinski stadiji ostanu duže održani, čak niti ako bismo pokušali zamisliti i neke drugačije uvjete. Nešto je drugačije pitanje o porozitetnim fazama, koje su nastajale nakon djelomičnog punjenja tih istih šupljina i koje su još uvijek predstavljale znatan volumen pora, a u banijskom grebenu uništene su cementacijom sparitom. S obzirom na poznato o diagenezi karbonata, zatim o uvjetima u grebenima, i današnjim i fosilnim, a i s obzirom na ustanovljene karstifikacijske pojave, koje su mlađe od spomenutih cementacija, može se smatrati da niti taj porozitet nije mogao biti duže održan, bez obzira da li se radi o šupljinama rasta, o intraskeletnim šupljinama, ili o šupljinama organskog bušenja.

Pretpostavljene skeletno-kalupne šupljine (5) mogle bi biti zanimljive ukoliko bi bila spriječena cementacija. U našem slučaju, međutim, vjerojatna cementacija je razmjerno brza. Nisu prepoznati tragovi naknadnog proširivanja šupljina niti ikakve genetske veze s mlađim («karstifikacijskim») šupljinama (6). Podaci dakle ne upućuju na mogućnost održanja tog poroziteta u banijskom grebenu.

Posebno je zanimljiva pojava šupljina otapanja («karstifikacijskih»), najprije sa stanovišta promatranja njihovih vlastitih svojstava, kod čega je važna karakteristika povezanost pora (veliki »efektivni porozitet«), a također i sa stanovišta razmatranja mogućnosti povezivanja tih pora sa skeletno-kalupnim porama. Opažene karakteristike banijskog primjera znače otapanje već litificirane stijene, koja više nije posjedovala porozitetne vrste i njihove stadije, koje smo ranije spomenuli, niti je to otapanje ikako djelovalo selektivno na skeletni materijal. To upućuje na brzu cementaciju i općenito litifikaciju, koje su prethodile procesu otapanja, a ujedno i na vrijeme obavljanja tog procesa nakon »mineralne stabilizacije«. Kod ove vrste pora vidimo izvjesne mogućnosti održanja jednog dijela poroziteta ili modificiranog poroziteta (koji još uvijek može biti velik) u nešto drugačijim uvjetima i dinamičkim emerezijama i tonjenjama (za razliku od uvjeta u banijskom primjeru), koji bi mogli spriječiti ispunjavanje ili dovesti do punjenja šupljine naftom. Druga mogućnost, odnosno varijanta prve, je obavljanje emerezije i otapanja prije potpune »mineralne stabilizacije«. U tom bi slučaju slatka voda otapala još postojeći aragonit i mogla uvjetovati postanak i proširenje vjerojatnih skeletno-kalupnih pora, te bi se ukupni volumen pora još više povećao. I takve

bi pore, u vrijeme postanka, činile »efektivni porozitet«. U pogledu značenja raznih procesa za postanak poroziteta, koji bi mogao biti nešto duže održan i pore eventualno punjene naftom, ovaj karstifikacijski porozitet, uz spomenute mogućnosti variranja, može imati najveću važnost, pa se mora pažljivo istražiti na drugim grebenima »unutarnjeg« dinarskog paleogenskog pojasa.

Rana faza postanka pukotina u grebenskom tijelu također bi mogla biti zanimljiva po najmlađem širenju pukotina, koje više nisu mogle biti dosegnute od sedimentnog punjenja, nego samo od otopine iz koje je taložen sparit. S druge strane, u slučaju da je događaj vremenski vezan za emerzije, kakav je primjer moguće zamisliti (u jednom drugom grebenu slične starosti i geološkog smještaja), pukotine mogu biti važni putevi vode koja otapa kalcij-karbonat, povezuje već postojeće pore ili stvara nove povezane pore, i time povećava porozitet. Prema tome, i ove pojave treba imati na umu pri istraživanju porozitetnih mogućnosti paleogen-skih grebena.

Dodatno podsjećamo na moguću predmiocensku karstifikaciju, čije bi postojanje i značenje trebalo provjeriti.

LITERATURA

- Babić, Lj., Gušić, I. & Zupanić, J. (1976): Grebenski paleocen u Baniji (Središnja Hrvatska). *Geol. vjesnik*, 29, 11—47. Zagreb.
- Bathurst, R. G. C. (1964): The replacement of aragonite by calcite in the molluscan shell wall. U: Imbrie, J. & Newell, N. (ured.): *Approaches to paleoecology*, 357—376. John Wiley and Sons. New York — London — Sydney.
- Bathurst, R. G. C. (1971): Carbonate sediments and their diagenesis. *Dev. Sedim.* 12. XIX + 620. Elsevier. Amsterdam — London — New York.
- Choquette, Ph. W. & Pray, L. C. (1970): Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *Bull. Am. Assoc. Petr. Geol.*, 54/2, 207—250. Tulsa.
- Dodd, J. R. (1966): Processes of conversion of aragonite to calcite with examples from the Cretaceous of Texas. *Jour. Sed. Petr.*, 36/3, 733—741. Tulsa.
- Henson, F. R. S. (1950): Cretaceous and Tertiary reef formations and associated sediments in Middle East. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 34/2, 215—238. Tulsa.
- Schroeder, J. H. (1973): Submarine and vadose cements in Pleistocene Bermuda reef rock. *Sedim. Geol.*, 10/3, 179—204. Amsterdam.

The role of antagonistic processes of reef construction and destruction in the porosity history — example of a Paleocene reef in the Banija region (»inner« Dinaric belt)

Lj. BABIĆ and J. ZUPANIĆ

Paleocene paleogeography

Only an outline paleogeography and sedimentology will be exposed here, as more informations may be found in Babić & al. (1976).

A long »inner« Paleogene marine zone stretched at least from Mt. Medvednica at the northwest to the east-southeast over the region of Banija as far to the east as the lower Drina River valley. It consisted of both basinal (with flysch)

and shallow marginal areas. In the shallow-marine areas, on the northern margin of the basin, siliceous clastic sedimentation prevailed in coastal and shallow-marine environments. These were situated along a siliceous land where metamorphic and acid intrusive rocks were mainly exposed, representing probably the Pannonian Mass. A small marginal portion of the land consisted of Mesozoic »eugeosynclinal« formations and possibly some other sediments (text-fig. 3). Only sporadically, carbonate environments existed as reefs or shoals which were developed in the areas not influenced by the river supply of terrigenous material. The picture approaches a »classic« paleogeographic situation of a reef (Henson, 1950). The Banija outcrops contain two facies units: (1) massive sediments of reef environment, and (2) bedded sediments of a near-reef (probably back-reef) carbonate shoal. The reef facies contains features discussed here.

Features and processes

1. Larger spaces between biolithite constructions

The reef framework, built up by hermatypic corals and red algae, was attacked by abrasion and bioerosion. Combination of these processes resulted in framework degradation and production of detritus which filled spaces between biolithite constructions, or was transported into neighbouring environments. Components of the »filling« are also represented by various encrusting and free-living reef dwellers. Some admixtures from the near-reef carbonate shoal (containing rare terrigenous particles) also occur. All primary spaces of this type were thus rapidly and completely eliminated.

2. Small growth cavities

This type of cavities is similar to the first type, and while both types might be referred to as »growth cavities«, the first type is larger and situated between larger biolithite constructions — main elements of reef building, and the second type is smaller (up to 10 mm), generated between crusts or similarly, and it represented fabrics of a lower rank (text-figs 4,5).

These cavities were filled very early by micrite and calcisiltite, but some of them only in its lower part and a few not at all. This younger cavity stage survived a rather short time after the sediment influx was eliminated. Further filling was performed by cementation; thin even rim and mozaic sparry calcite cement have been usually recognized.

3. Intraskelatal pores

This type of porosity was usually destroyed very early, by micrite or calcisiltite filling, or by cementation, or — rarely — by both, the latter occurring above the former.

4. Organic boring cavities

A number of organisms (algae, sponges, probable worms, pelecypods and others) bored (and destroyed) skeletal material. Most frequently, features of that origin have been observed in corals; pelecypods were identified as especially active destroyers of coral skeletons in the Banija reef (text-fig. 6). The boring clearly postdates internal sedimentation in intraskelatal pores of coral skeletons.

The primary cavity stage was of a short duration and the cavities were partly or completely obliterated by fine-grained sediment filling, containing or not some coarser particles, and rarely by the filling of skeletal sand. Only a few cavities have been left free of sediment. The new porosity stage in this type of pores was finally eliminated by sparry calcite cementation.

5. Skeleto-moldic pores (?)

The aragonite skeletons were replaced by calcite whose generation seems to have been preceded by a cavity stage. This process is suggested by calcite fabric observed only sporadically (recrystallization) in corals and in a few boring pelecypods (text-fig. 7); a radial fabric of small crystals lining the internal skeletal

wall and sparry calcite mosaic occupying the main portion of the former skeleton. No relic structures have been found. Earlier micrite filling of intraskeletal pores has not been altered, but later recrystallization in corals produced larger crystals obliterating partly or completely the fabrics previously present. The aragonite solution is usually considered to be caused by fresh water, but no enlargement of the pores, nor any genetic relation to the fabric non-selective solution porosity (type 6), have been found. This also indicates an early cementation (probably in submarine conditions) meaning a very short duration of this assumed type of pores.

6. Solution cavities

This is a fabric non-selective porosity, cutting both reef framework and »fillings« and replacement calcite of former aragonite skeletons. Tube-like interconnections between the cavities may be found. The size ranges from several mm to 15 or even 30 cm (text-fig. 8). These cavities are interpreted as karstification phenomena, indicating emersion and vadose circulation.

These cavities have been observed only in the lower part of the exposed reef body and their geopetal fillings are oriented in the same way as the filling of boring cavities (text-fig. 9). No connection with features caused by strong tectonization phases, recorded in reef sediment, can be seen. It is concluded that the emersion and filling of cavities preceded main postsedimentary tectonization and probably represents a temporary break in reef history.

The cavities were partly or completely filled with fine-grained and arenite detritus (partly siliceous). New void stage was eliminated by sparite (even rim and blocky calcite cement) probably in submarine conditions.

7. Fissure cavities

They may be from several mm to at least 20 cm wide and may be traced up to several meters in length. They are younger than reef lithification at the place where found, but may be coeval with a part of reef, and possibly with the emersion phase (6), because similar skeletal material has been found in both types of cavities.

Texture of fillings (= neptunian dikes), including lamination and alternation of »beds« parallel to the walls and imbrication, suggests polyphase filling and temporary turbulence. A larger amount of rotallids in comparison to deposits in both reef and near-reef (probably back-reef) carbonate shoal facies probably indicates a different environment, and (together with other data), possibly a fore-reef environment, whose sediment was entering the fissures in the reef body. Some dikes have younger calcite veins parallel to the earlier fissure walls.

Discussion

The Paleocene Banija reef shows constructive and destructive processes causing the origin, modification and elimination of porosity of various types and in various time intervals of reef history. The complete elimination of porosities in this particular example does not necessarily represent a general rule valid for the reefs of similar paleogeographic and tectonic situation and of similar age. The modes of porosity elimination may not have been the same, either.

The majority of porosity types described here (1 to 4) have been obliterated very early by internal sedimentation and cementation (latter void stages), which is suggested by the data presented above and is generally in accordance with the well-known data about carbonate diagenesis.

Assumed skelto-moldic porosity (5) might be of interest if the cementation would be prevented, which was not the case in the Banija example, nor have enlargement or any genetic connection with solution cavities (6) been found.

Solution (karstification) cavities (6) are of particular interest. First, this is a clear example of an »effective porosity« postdating lithification and »mineral stabilization«. Second, somewhat different subsidence-emersion conditions in an other reef of »inner« Dinaric Paleogene belt, might prevent a total degradation by subsequent filling, and might be favorable for possible oil filling. A variant of this

porosity type might be achieved if emersion and solution occurred before the mineral stabilization would be completed, which, again, was not the case in the Banija reef. In that case fresh water might dissolve and remove the rest of skeletal aragonite and cause the enlargement of skeleto-moldic pores. It would result in an improvement of porosity characteristics. Generally, the solution (»karstification«) porosity and possible modifications of its history might be important and must be carefully examined in other reefs of the »inner« Dinaric Paleogene belt.

The early fracturing phase might be of interest if performed in the time of emersion. This would enable the solution by percolating water interconnecting the pores and increasing the pore volume.