

Spodnje jurske plasti v Preserju pri Borovnici

Lower Jurassic beds at Preserje near Borovnica (Central Slovenia)

Bojan OGORELEC

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ul. 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; e-mail: bojan.ogorelec@geo-zs.si

Prejeto / Received 15. 11. 2009; Sprejeto / Accepted 30. 11. 2009

Ključne besede: apnenec, dolomit, mikrofacies, spodnja jura, geokemija, Jadransko Dinarska karbonatna platforma, Slovenija

Key words: limestone, dolomite, microfacies, Lower Jurassic, geochemistry, Adriatic Dinaric carbonate platform, Central Slovenia

Izvleček

V 50 m debelem profilu je zajetih 26 ciklotem. Plasti biomikritnega in mestoma oolitnega apnenca prekinjajo dolomitizirani laminiti, tanjše plasti nadplimskega konglomerata in redkeje stromatoliti. V talnini profila je zrnat dolomit. Sam kontakt med triasom in juro s profilom ni zajet. Litološki razliki kažejo na sedimentacijo v podplimskem okolju, v zatišnem delu plitvovodnega šelfa znotraj Jadransko-Dinarske karbonatne platforme, ki je imela občasno povezavo z odprtim morjem. Dolomit v laminitih in nadplimskem konglomeratu je zgodnjediagenetski, nastal s kapilarno koncentracijo porčnih raztopin v med- in nadplimskem okolju. Spodnje jursko starost apnenca določa alga *Palaeodasycladus mediterraneus* Pia. Kemične raziskave zajemajo poleg Ca in Mg še elemente Sr, Fe, Mn in Na. Plasti z zgodnjediagenetskim dolomitom so obogatene z železom in natrijem.

Abstract

Described is a 50 m thick cross-section, which includes 26 cyclothems. Beds of biomicritic, in some places oolitic, limestone are interrupted by dolomitized laminites, thinner beds of flat pebble conglomerate, and rarely stromatolites. The bedrock of the cross-section is sparitic dolomite. The contact between Triassic and Jurassic is not included in the cross-section. Lithological varieties indicate sedimentation in the subtidal zone in the protected part of a shallow shelf within the Adriatic Dinaric carbonate platform with occasional connection with the open sea. Dolomite in the laminites and flat pebble conglomerate is of early diagenetic origin. It developed through capillary concentration of pore solutions in intratidal and supratidal environment. The Lower Jurassic age of the limestone is determined by *Palaeodasycladus mediterraneus* Pia algae. Chemical analyses include Ca, Mg, as well as, Sr, Fe, Mn and Na. Beds containing dolomite of early diagenetic origin are rich with Fe and Na.

Uvod

Z razširitvijo tovarne ploščadi ob železniški postaji v Preserju pri Borovnici (sl. 1) so v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja odprli več deset metrov dolg profil zgornjetriasnih pasovitih dolomitov, ki zvezno prehajajo v spodnjejurski dolomit in plastovit apnenec z vmesnimi plastmi laminiranega dolomitiziranega apnenca.

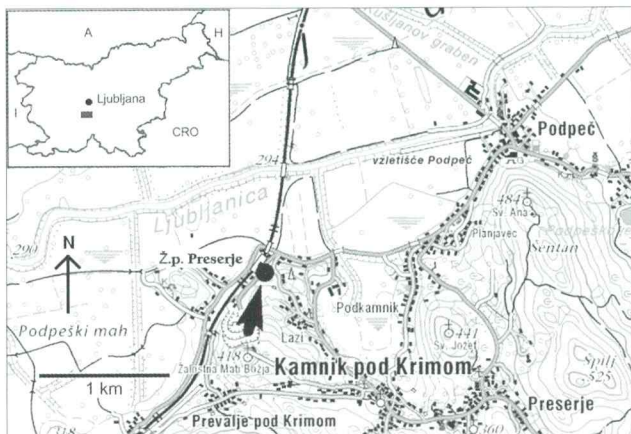
Raziskano območje se nahaja na južnem obrobju Ljubljanskega Barja v strukturni enoti Zunanjih Dinaridov. Paleogeografsko je bilo območje v zgornjem triasu in juri del Jadransko-Dinarske karbonatne platforme, na kateri se je plitvovodna sedimentacija nadaljevala iz zgornjega triasa še v spodnjo juro (BUSER, 1968, 1989; OGORELEC & ROTHE, 1993; PLACER, 2008). Z raziskavo je zajetih 26 nepopolnih ciklotem, značilnih za loferski razvoj. Jurske plasti so na širšem raziskovanem območju sedimentološko raziskovali OREHKOVA in

OGORELEC (1981), DOZET (1998), STROHMENGER in DOZET (1990), v zadnjem času pa tudi MILER in PAVŠIČ (2008).

Profil pri Preserju je bil predmet petrografsko-sedimentoloških in delno geokemičnih raziskav v okviru disertacijske študije zgornjetriasnega dolomita in apnenca v JZ Sloveniji (OGORELEC, 1988), vendar pa so izsledki prvič objavljeni.

Metode raziskav

Iz 50 metrov debele skladovnice je bilo odvzetih 75 vzorcev za mikroskopske sedimentološke in biostratigrafske raziskave. Prisotnost dolomita je bila v vseh vzorcih preverjena z rentgensko metodo, v 17 vzorcih pa smo ugotavljali tudi urejenost dolomitne kristalne rešetke na osnovi intenzitete reflektov pri kotih 2θ $35,3^\circ/37,3^\circ$ (GOLDSMITH & GRAF, 1958; FÜCHTBAUER & GOLDSMITH, 1965).



Sl. 1. Položaj raziskanega profila spodnje jurskih plasti v Preserju pri Borovnici

Fig. 1. Location map of investigated Lower Jurassic beds in Preserje near Borovnica

Vsi vzorci so bili raziskani tudi geokemično. S plamenskimi absorpcijskim spektrometrom Perkin Elmer 303 smo analizirali naslednje glavne in sledne prvine: Ca, Mg, Sr, Fe, Mn in Na. Za posamezno analizo smo odtehtali 250 mg vprašenega vzorca, ki smo ga najprej raztopili s HNO_3 (razredčeno 1:20), nato pa segreli v peščeni kopeli, tako, da se je razvil plin NO_2 . Za samo analizo smo odmerili 50 ml raztopine.

Litologija in mikrofacies

V spodnjem delu profila (sl. 2) izdajajo dolomitne plasti (vzorci 66 do 3b), ki so sicer lahko še retijske starosti, kot vrhnji del formacije glavnega dolomita, z mnogo večjo verjetnostjo pa je ta dolomit že spodnje jurski. Po strukturi je dolomit drobnozrnat sparit z do 150 μm velikimi kristali subhedralne oblike. Prvotna struktura kamnine ni več opazna. Medzrnske pore, ki so nastale pri kasnodiaogenetski dolomitizaciji, zapolnjuje sparitni kalcit (tab. 2, sl. 6). Delež tega kalcita ocenjujemo na do 15 %. Dve plasti zrnatega dolomita, debeli do 40 cm, opazujemo še v vrhnjem delu profila (51 in 58).

Za večji del profila je značilno menjavanje plasti biomikritnega in pelmikritnega apnenca z vmesnimi tanjšimi polami in plastmi laminata, nadplimskega konglomerata in zelo redko tudi stromatolitnih lamin. Medtem, ko so plasti apnenca in dolomita debele do enega metra in izjemoma do 2,5 metra, pa plasti laminata ne presežejo 40 cm. Meje med posameznimi litološkimi različki so makroskopsko ostre in jasno vidne na terenu. Apnenci so po mineraloški sestavi iz čistega kalcita, laminiti in plasti nadplimskega konglomerata pa so dolomitizirani. Tanjše laminatne lamine se navadno hitro izklinjajo, večkrat že na razdalji nekaj metrov. Njihovo sedimentacijo v med- in nadplimskem litoralnem okolju nakazujejo izsušitvene razpoke in izsušitvene pore (tab. 1, sl. 3, 4).

Plasti nadplimskega konglomerata kažejo različne faze njihovega nastanka. Tako opazujemo celoten razvoj od jasnih lamin, »natrganih« lamin

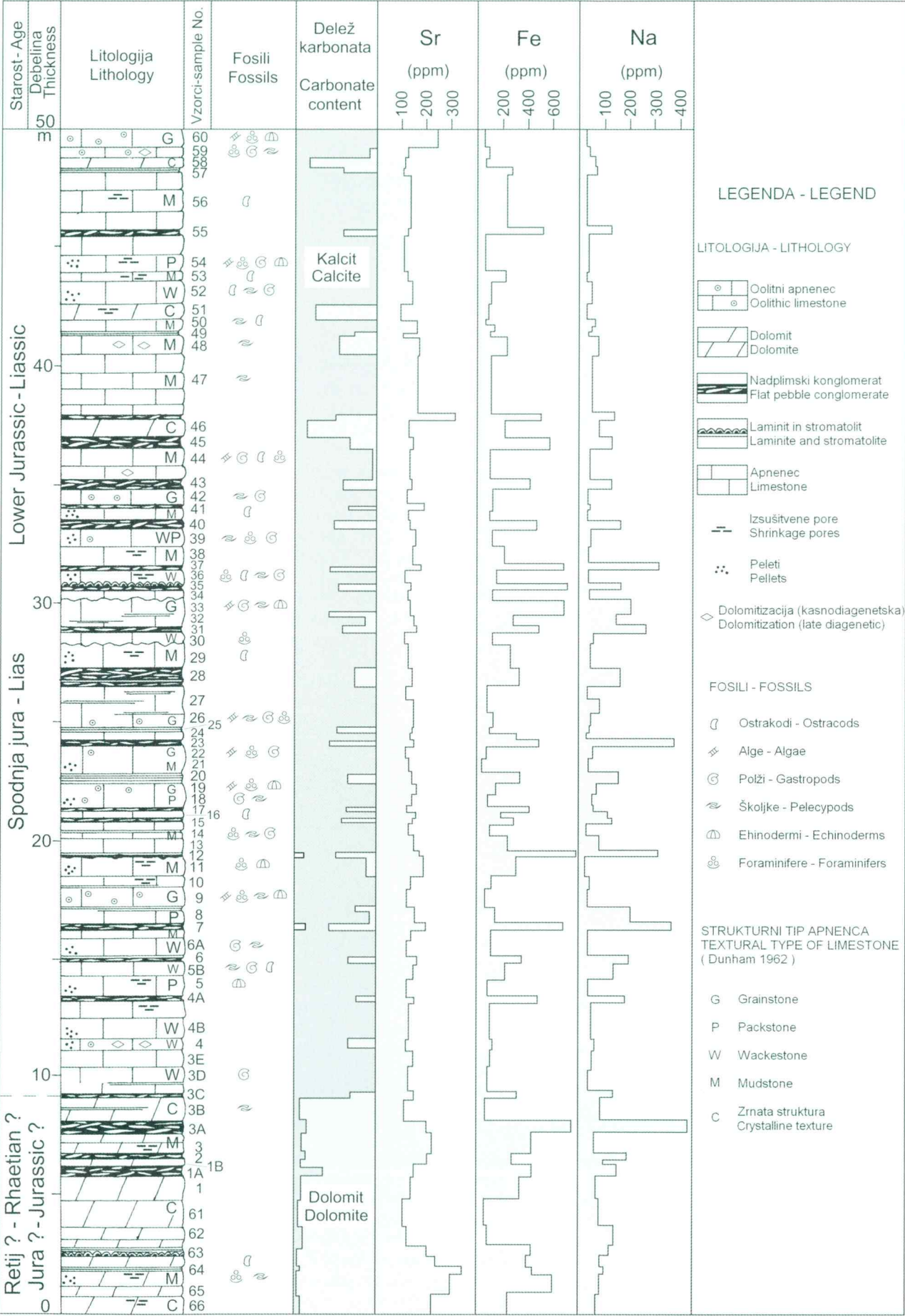
z vmesnimi izsušitvenimi razpokami (*mud cracks*) do lamin z nakopičenimi karbonatnimi luskami, ki so bile kot nekaj centimetrov veliki plastiklasti ob neurjih lokalno premeščene in naplavljenе na krajše razdalje. Te luske, ki so bile v času njihove sedimentacije izpostavljene bolj aridnim pogojem v nadplimskem okolju, so močno dolomitizirane in vsebujejo 50 % in več mikritnega dolomita v primerjavi z vmesnim karbonatnim cementom, ki je prav tako mešanica mikritnega dolomita in kalcita. Delež dolomita v laminah in v nadplimskih luskah znaša med 20 in 60 %, s povprečjem okrog 40 %. Te plasti vsebujejo tudi precej več netopnega ostanka kot čisti apnenci, v povprečju za 1–2 %. Apnenci so mineraloško zelo čisti in vsebujejo manj kot 0,5 % nekarbonatne komponente. Na površini izstopajo dolomitizirani laminiti po svetlejši barvi in po reliefu.

Biomikritni apnenec je olivno sive barve, po strukturi (DUNHAM, 1962) pa največkrat mudstone ali wackestone. Med alokemi so najbolj pogostni peleti, zelo drobni intraklasti in bioklasti (tab. 1, sl. 1, 2). Fosili so zastopani s fragmenti tankolupinskih školjk, foraminiferami (predvsem tekstularijami), ostrakodi, drobnimi polži ter s posameznimi ploščicami ehinodermov. V vzorcu 34 so številni primerki skeletne alge *Palaeodasycladus mediterraneus* Pia (tab. 1, sl. 3 in 4). Ta je značilna za srednji lias, tako da lahko srednji in vrhnji del raziskanega profila zagotovo uvrstimo v to starost. Razen omenjene alge se v nekaterih vzorcih javlja še alga *Thaumatoporella parvovesiculifera* Raineri, ki pa je za stratigrafijo brez pomena. Energijski indeks večine vzorcev je nizek do zelo nizek.

Sedimentacijsko okolje lahko interpretiramo kot plitev zatišni šelf lagunskega značaja, z epizodičnimi med- in nadplimskimi pogoji (SMB – Standard microfacies belt je 8–9 oziroma SMF – »standard microfacies« 19, 20 in 24, po WILSONU, 1975; FLÜGEL, 2004).

Višji energijski indeksi kažejo posamezne plasti oolitnega apnenca, ki ga po strukturi uvrščamo v packstone in grainstone (npr. vzorci 9a, 40, 59, 60). Ooidi so različno veliki, največkrat so drobni in merijo do 0,5 mm. Kažejo številne koncentrične ovoje (tab. 2, sl. 1) in imajo mikritna jedra. Ooidi so za spodnjo in srednjo juro na Jadransko-dinarski karbonatni platformi značilen litološki člen (BUSER, 1989; OREHEK & OGORELEC, 1979, 1981; STROHMENGER & DOZET 1990; OGORELEC & DOZET, 2000) in kažejo na povezavo litorala z bolj odprtim plitvim šelfom. Vzorec iz vrhnje plasti profila (vz. 60) kaže, da je bil oolit v fazi zgodnje diageneze izpostavljen vadoznim pogojem oziroma kratkotrajno dvignjen nad morsko gladino. Takrat je prišlo do izluževanja prvotnega karbonatnega minerala, verjetno aragonita in njegovega nadomeščanja s stabilnim kalcitom. Znake vadozne cementacije opazujemo tudi v vzorcu 12. Tu je bil v izsušitveni kaverni prisoten v zgodnji fazi diageneze najprej gravitacijski cement, kasneje pa je bila ta zapolnjena še z internim mikritom.

Ooidi so lahko nastajali tudi v medplimskih kanalih in deltah ob robovih in znotraj litoralne-



Sl. 2. Litologija in geokemija spodnje jurskih plasti v Preserju pri Borovnici
Fig. 2. Lithology and geochemistry of Lower Jurassic beds in Preserje near Borovnica

ga pasu. V teh kanalih prihaja zaradi bibavice in stalnega gibanja vode do dovolj energije za nastanek ooidov. Ti so ob neurjih nato lahko nanešeni v sicer čisto mirne dele lagune in na obrežne ravnice. Recentne primere takih ooidov opisuje SCHNEIDER (1975).

Dolomitizacijo v profilu tolmačimo z dvema mehanizmoma. Dolomit v tistih plasteh, ki so nastajale v med- in nadplimskem okolju, to so laminiti, nadplimski konglomerat in stromatoliti, je po strukturi mikriten. Njegov delež v vzorcih doseže do 80 %, večji del pa znaša okrog 30 %. Predvidevamo, da je nastal v času zgodnje diageneze in sicer s kapilarno koncentracijo pornih raztopin zaradi evaporacije (*evaporative dolomitisation model*, SHINN et al., 1965) v priobrežnih delih lagun in v sabkah. Recentni primeri take dolomitizacije so poznani predvsem iz Perzijskega zaliva (ILLING et al., 1965; PURSER, 1973) in iz lagune Coorong na zahodni avstralski obali (BATHURST, 1971).

Zrnat dolomit v talnini profila ter dolomitni romboedri, koncentrirani v posameznih laminah in gnezdih pa so rezultat kasnodia-genetske dolomitizacije. To danes najbolj pogosto tolmačimo z modelom mešanja morske in sladke vode v posebnih pogojih (HANSHAW et al., 1971; BADIOZAMANI, 1973; CHOQUETTE & STEINEN, 1980).

Na petih vzorcih čistega dolomita, za katerega predvidevamo, da je kasnodia-genetskega nastanka, in na 12 vzorcih nadplimskega konglomerata, ki je mineraloško mešanica kalcita in zgodnje-dia-genetskega dolomita, smo rentgensko raziskali urejenost kristalne rešetke po metodi GOLDSMITHA in GRAFA (1958) ter FÜCHTBAUERJA in GOLDSMITHA (1965). To ugotavljamo s pomikom glavnega dolomitnega pika na rentgenogramu glede na pik stehiometričnega dolomita ter z razmerjem višin sekundarnih dolomitnih pikov pri kotih 2θ $35,3^\circ$ in $37,3^\circ$ za katodo Cu K α . »Nezreli« zgodnje-dia-genetski dolomiti s slabše urejeno kristalno rešetko imajo v sestavi višek Mg^{2+} nad Ca^{2+} ter nižje razmerje višin pikov $35,3^\circ/37,3^\circ$.

Prav take podatke oz. trende kažejo tudi raziskave dolomitnih vzorcev iz profila Preserje. Zgodnje-dia-genetski dolomit nadplimskega konglomerata in laminitov imajo to razmerje med 0,2 in 0,4 ter do 3 % več Mg^{2+} ionov v primerjavi s kasnodia-genetskim dolomitom zgornjetriasne starosti (glavnim dolomitom). Ta ima to razmerje med 0,4 in 0,7 ter približno stehiometrično sestavo.

Geokemične raziskave

Kot je omenjeno v poglavju Metode raziskav, smo v vseh vzorcih raziskali poleg vsebnosti Ca in Mg še Sr, Fe, Mn in Na. Mineraloško čisti apnenci vsebujejo od 55 do 56 % CaO (kalcit z do 0,5 mol % $MgCO_3$), kar pomeni, da so kemično zelo čisti.

V celotnem profilu zasledimo samo dva vzorca (7 in 12), ki nista čista karbonata. Prvi je nadplimski konglomerat s primesjo mineralov glin in vsebuje 8,4 % netopnega ostanka, ki kaže na začetno fazo zakrasevanja karbonatnega sedimenta v nadplimskem okolju, vzorec 12 pa je mikrit-

ni lapornat dolomit, ki vsebuje 16,5 % netopnega ostanka kot primesi mineralov glin. V nadaljevanju se bomo zadržali nekoliko podrobneje le pri stronciju, železu in natriju.

Stroncij

V čistem apnencu profila Preserje se giblje vsebnost Sr med 115 in 260 ppm, s srednjo vrednostjo 145 ppm, medtem ko se v dolomitiziranem apnencu s teksturnimi oblikami, značilnimi za medplimsko okolje, njegova vsebnost giblje med 65 in 220 ppm. Nižja vsebnost Sr v teh vzorcih je vezana na prisotnost dolomita.

Vsebnost stroncija v preiskanem profilu Preserje je v mejah, ki so splošno znane in se ujemajo s podatki sličnih kamnin starejših geoloških dob (tab. 1). Opazna je soodvisnost med litološko sestavo kamnine (apnenec, dolomitiziran apnenec, dolomit) in deležem Sr, medtem ko med faciesom in vsebnostjo Sr ta ni posebno razločna. Verjetno zato, ker nimamo posebnih sprememb facialnih pogojev. Opazujemo le razne variacije na območju litorala in zelo plitvega šelfa.

Stroncij je v karbonatnih kamninah ena od najbolj zastopanih slednih prvin. Vzrok temu je njegova relativno visoka koncentracija v morski vodi (8 ppm – WEDEPOHL, 1966) ter da lahko kot dvovalentni ion dobro zamenjuje kalcij ali magnezij v kristalih kalcita. Kot je razvidno iz preglednice (tab. 1) vsebuje recentni aragonitni sediment bistveno več Sr kot kalcitni sediment, tudi do 10 x več. Vzrok temu je različna kristalna struktura obeh mineralov, pri čemer se Sr^{2+} z ionskim radijem 1,16 Å v primerjavi s Ca^{2+} ioni, ki so manjši (0,99 Å), lažje vgrajuje v ortorombično aragonitno rešetko kot v trigonalno rešetko kalcita (LIPPMAN, 1973).

Železo in mangan

Čisti apnenci vsebujejo med 55 in 310 ppm Fe s povprečjem 120 ppm ter 4 do 16 ppm Mn, pri čemer opazujemo, da so apnenci, ki po strukturi pripadajo tipu grainstone oziroma imajo sparitni cement, bolj čisti in vsebujejo najnižje vsebnosti tako železa kot mangana. Ocenjujemo, da sta višji vsebnosti Fe in Mn vezani na mikritni apnenec ter nekarbonatno primes v njem. Opazna je pozitivna korelacija med vsebnostjo železa in mangana.

Dolomitizirani apnenci in dolomit vsebujejo precej več tako železa kot mangana, 70 do 1120 ppm Fe in 6 do 42 ppm Mn.

Študije recentnih karboantnih sedimentov ter apnencev in dolomitov starejših geoloških dob (tab. 2) kažejo, da se vsebnosti železa kot mangana v fazi diageneze bolj malo spreminjajo, saj sta oba elementa vgrajena precej »stabilno« v kristalni rešetki tako apnenca kot dolomita.

Višje vsebnosti obeh elementov v dolomitu in dolomitiziranem apnencu zato pripisujemo predvsem povišani vsebnosti netopne primesi in organske snovi v karbonatih, ki so nastajali v med- in nadplimskem okolju (nadplimski konglomerat, laminiti in stromatoliti) ter lokalni karstifikaciji plasti v kratkotrajnih emerzijskih fazah.

Tabela 1. Vsebnost Sr v starejših karbonatnih kamninah in v recentnih sedimentih

Table 1. Sr content in older carbonate rocks and recent sediments

Avtor / Author	Starost / Age	Sr (ppm)
Bausch (1965)	Jura (Germany), limestone	100–600
Flügel & Wedepohl (1967)	Jura (N. Alps), limestone	140–230
Kranz (1973, 1976)	Ladinian (N. Alps) limestone dolomite	200–400 30–110
Koch (1977)	Cretaceous (Slovenia), limestone	85–700
Buggisch (1974)	Upp. Permian (S. Alps)	40–335
Strohmenger & Dozet (1990)	Jura (Slovenia), limestone	60–570 (200)
Ogorelec & Rothe (1992)	Norian & Rhaetian (Slovenia) limestone dolomite	90–465 40–230
Kinsman (1969)	Recent (Bahamas) algae (aragonite) ooids (aragonite)	7,650 ± 600 9,800 ± 500
Bulter (1973)	Recent (Persian Gulf)	ca. 660
Milliman (1974)	Recent corals (aragonite) foraminifers (calcite) algae (aragonite)	6,900–9,000 1,500–2,100 ca. 8,800
Burns et al. (1988)	Miocene (California), dolomite	119–512
Shukla (1988)	Silurian (N. Dakota), dolomite	32–110
Moore et al. (1988)	Jura (Gulf of Mexico), dolomite	50–489

Tabela 2. Vsebnost Fe in Mn v starejših karbonatnih kamninah in recentnih sedimentih

Table 2. Fe and Mn content in older carbonate rocks and recent sediments

Avtor / Author	Starost / Age	Fe (ppm)	Mn (ppm)
Davies (1972)	Jura (Suisse), limestone	ca 138	ca 14
Kranz (1976)	Ladinian (E. Alps) lagoonal facies limestone	500–1,000	100–200
Koch (1977)	Cretaceous (Slovenia) limestone	50–600	ca 15
Strohmenger & Dozet (1990)	Jura (Slovenia) micritic limestone oolitic limestone	40–2685 150 12–35 (20)	4–90 (10) < 5
Ogorelec & Rothe (1992)	Norian & Rhaetian (Slovenia) limestone dolomite	30–240 40–850	4–25 40–390
Zenger & Dunham (1988)	Siluro-Devonian (N. Mexico) calcite dolomite	91–196 134–314	11–12 73–117
Billings & Ragland (1968)	Recent (Honduras) lagoons reef	2,480 338	117 9
Turekian & Wedepohl (1961)	Recent carbonate mud deep sea carbonates	3,800 9,000	1,100 1,000
Milliman (1974)	Recent ooids (aragonite) algae (aragonit) foraminifers (calcite)	14–350 160 10–1,100	3–7 8 2–80
Shukla (1988)	Silurian (N. Dakota) dolomite	1.910–4.600	46–189

Natrij

V profilu Preserje opazujemo zanimivo razporeditev vsebnosti natrija, ki se ujema z literaturnimi podatki (tab. 3). Najnižje vsebnosti Na so vezane na čisti apnenec, v katerem se ta giblje med 25 in 55 ppm. Občutno višje vsebnosti natrija v primerjavi z apnencem, približno trikratno koncentracijo, pa opazujemo pri vzorcih, ki so dolomitizirani. Tako vsebujejo vzorci čistega dolomita od 40 do 390 ppm Na.

Spremembe vsebnosti natrija pri diagenetskih procesih karbonatnih kamnin so intenzivneje proučevali LAND in HOOPS (1973) ter KITANO in sodelavci (1975), vsebnost natrija v nekaterih karbonatnih kamninah slovenskega prostora pa OGORELEC in ROTHE (1979). Lupine recentnih morskih organizmov, ki sestojijo večji del iz aragonita ali magnezijevega kalcita, vsebujejo v splošnem nekaj tisoč ppm natrija. Tokom diagenetskih sprememb, predvsem pri spiranju sedimenta z meteorskimi vodami in pretvorbo nestabilnih karbonatnih faz v stabilni kalcit pa se zniža vsebnost Na v apnencu na le nekaj deset do nekaj sto ppm.

Slične raziskave na dolomitnih vzorcih sta izvedla FRITZ in KATZ (1972). Ugotavljata, da je vsebnost natrija v dolomitni rešetki odvisna od slanosti pornih raztopin, ki so vključene v proces dolomitizacije ter od velikosti dolomitnih kristalov. Drobnozrnati dolomitni kristali zgodnjediagenetskega dolomita vsebujejo več Na kot debelozrnati kasnodigenetski dolomit.

Zaključki

Spodnje jurske plasti v Preserju pri Borovnici so nastajale v litoralnem okolju, kjer so se menjavali podplimski in nadplimski pogoji sedimentacije. V bistvu gre za specifično varianto loferskega razvoja, kjer opazujemo v 50 metrov debelem profilu 26 ciklotem. Plasti biomikritnega in pelmikitnega apnenca so se odlagale v podplimskem okolju plitvega zatišnega šelfa. Menjavajo se s plastmi laminiranega, redkeje stromatolitnega apnenca, apnenca z izsušitvenimi porami (loferita) in nadplimskega konglomerata. Te plasti so značilne za med- in nadplimsko okolje. Po standardni klasifikaciji faciesov (SF, WILSON, 1975) uvrščamo apnenec v skupino 8-9 (*restricted platform & evaporites*), po klasifikaciji stan-

dardnega mikrofaciesa (SMF, WILSON, 1975; FLÜGEL, 2004) pa v skupino 19-24, za katero so značilni različni peloidalni apneneci tipa wackestone, stromatoliti, laminiti in nadplimski konglomerat. Občasno je bila energija okolja nekoliko višja, na kar opozarjajo plasti oolitnega apnenca.

Talnina profila je zrnat in laminiran dolomit, možno še zgornje triasne starosti (glavni dolomit) z veliko verjetnostjo, da je že jurske starosti. Po vsej verjetnosti prehoda iz triasnega dolomita (glavni dolomit) v jurski dolomit s profilom ni za-

Tabela 3. Vsebnost Na v starejših karbonatnih kamninah in recentnih sedimentih

Table 3. Na content in older carbonate rocks and recent sediments

Avtor / Author	Starost / Age	Na (ppm)
Land & Epstein (1970)	Pleistocene (Jamaica) calcite dolomite	110–1340 210–520
Milliman (1974)	Recent (Bahamas) carbonate mud ooids (aragonite) "primary" doolostones	3300–6200 2400–4400 ca 390
Ogorelec & Rothe (1979)	Upper Permian (Slovenia) limestone dolomite	80–240 110–380
Ogorelec & Rothe (1992)	Norian & Rhaetian (Slovenia) limestone dolomite	25–70 40–250
Burns et al. (1988)	Miocene (California) dolomite	400–1840
Shukla (1988)	Silurian (N. Dakota) dolomite	148–2640
Zenger & Dunham (1988)	Siluro-Devonian (New Mexico) dolomite	750–1165
Moore et al. (1988)	Jura (Gulf of Mexico) dolomite	134–512

jet in leži v talnini profila, ki pa ni odkrit na površini. Spodnje jurska starost apnenca v srednjem delu profila je določena z algo *Palaeodasycladus mediterraneus* Pia, ki se javlja v več plasteh.

Raziskani profil je sedimentološko zanimiv predvsem zaradi dolomitizacije. Ta je nastala v dveh fazah. Laminit in nadplimski konglomerat je zajela zgodnjediagenetska dolomitizacija, ki se kaže v obliki mikritnega dolomita. Delež tega znaša od nekaj do 80 %. Ta dolomit še ne kaže popolne urejenosti kristalne rešetke, kar opazujemo po nizkem razmerju (0,2–0,4) višine dolomitnih pikov na rentgenskih difraktogramih pri kotih 2ϕ 35,3°/37,3° v primerjavi s kasnodigenetskimi dolomiti z urejeno kristalno rešetko. Le ti imajo isto razmerje med 0,4 in 0,75. Razen tega kaže zgodnjediagenetski mikritni dolomit do 3 mol %

presežka Ca^{2+} napram kasnodigenetskemu stehiometričnemu dolomitu. Slednji se kaže v obliki do 150 μm velikih dolomitnih romboedrov, ki so koncentrirani v gnezdih ali laminah. Kasnodigenetska dolomitizacija je v popolnosti zajela prvotni apnenec v talnini profila in ga spremenila v zrnat dolomit. Na osnovi primerjav z recentnimi dolomiti in modeli njihovega nastanka, tolmačimo dolomitizacijo laminitev, loferitnih plasti in nadplimskega konglomerata v zgodnji diagenezi predvsem z modelom »kapilarne koncentracije pornih raztopin«. Območja, ugodna za tako dolomitizacijo so bile prostrane priobalne medplimske ravnice s sabkami, kakršne opazujemo danes v Perzijskem zalivu (PURSER, 1973; SCHNEIDER, 1975) in na delu Bahamskega šelfa. Pri zgodnjediagenetski dolomitizaciji so igrale pomembno vlogo tudi neskeletne modrozelenne alge in cianobakterije, koncentrirane v stromatolitnih laminah.

Vse vzorce iz profila Preserje smo raziskali tudi geokemično na glavna elementa Ca in Mg ter v za apnenec sledne elemente Sr, Fe, Mn in Na. Raziskane vzorce lahko na osnovi njihove mineralne sestave, mikrofaciesa in stopnje diageneze razdelimo v:

- *čisti dolomit*. Ta nastopa v talnini profila. Razen zgodnje ga je v popolnosti zajela tudi kasnodigenetska dolomitizacija.
- *čiste apnenice*, ki so se odlagali v podplimskem okolju,
- *dolomitizirane apnenice*, ki so med plastmi apnenca. Zanje so značilne teksture med- in nadplimskega okolja (laminit z izsušitvenimi razpokami, loferiti, stromatoliti in nadplimski konglomerat). Dolomitizirani so bili v času zgodnje diageneze.

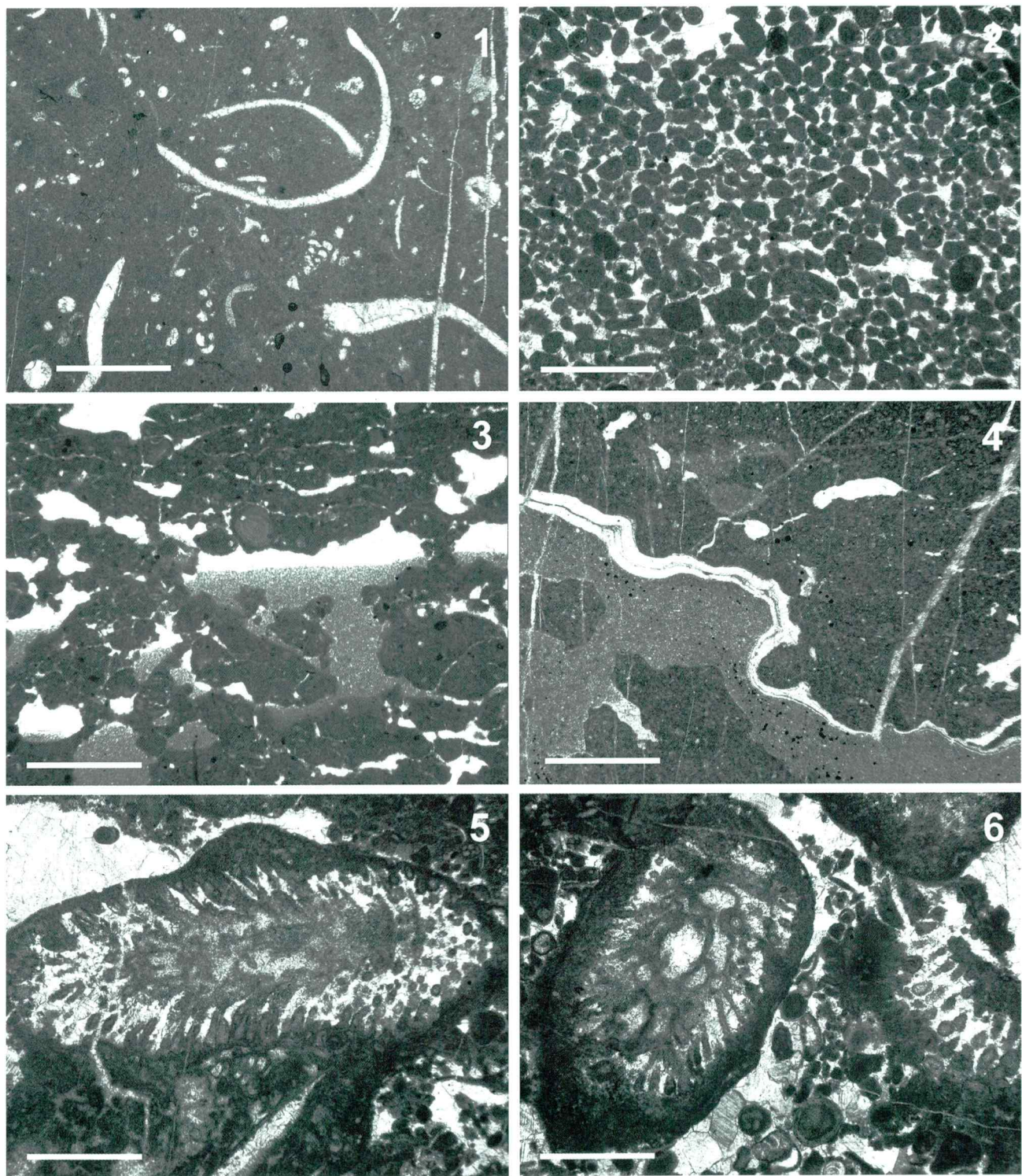
Tabla 1 – Plate 1

Merilo na vseh slikah je veliko 1 mm

Bar scale on all figures 1 mm

- 1 Biomikritni mudstone z redkimi foraminiferami in školjčnimi lupinami. Vz. 10
Biomicrotic mudstone with some foraminifers and bivalves. Sample 10
- 2 Izpran intrapelmikritni packstone. Vz. 14
Intrapelmicritic packstone. Sample 14
- 3 Mikritni apnenec z izsušitvenimi porami – loferit. V največji pori je opazna geopetalna tekstura internega mikrita. Vz. 13b
Microtic limestone with fenestral porosity – loferite. Geopetal texture of internal micrite is evident in one of pores. Sample 13b
- 4 Mikritni apnenec z izsušitvenimi in korozijskimi porami. V večji pori, ki je sicer zapolnjena z internim mikritom, nastopa gravitacijski sparitni cement. Vz. 12
Microtic limestone with fenestrae and corosional pores. In the biggest pore, filled by internal micrite, gravitational sparitic cement is evident. Sample 12
- 5, 6 Preseki alge *Palaeodasycladus mediterraneus* Pia v biosparitnem apnencu. Vz. 34
Palaeodasycladus mediterraneus Pia algae in biosparitic limestone. Sample 34

Tabla 1 – Plate 1



Vsi, razen dveh preiskanih vzorcev so čisti karbonati z nad 98, večji del celo nad 99 % karbonatnim deležem. Opažamo tudi neodvisnost med mineralno sestavo vzorcev in vsebnostjo nekaterih »slednih« prvin. Tako vsebuje čisti apnenec v primerjavi z dolomitiziranim apnencem in dolomitom več Sr, prvi ca 160 ppm v poprečju, drugi pod 120 ppm, kar povezujemo s strukturo apnenca in dolomita in je dobro poznano iz literature. Pač pa vsebujejo čisti apnenci manj železa, apnenci poprečno ca 120 ppm Fe, dolomiti do trikrat več in manj mangana (apnenci ca 6 ppm Mn, dolomiti do 40 ppm Mn). Enako velja tudi za natrij kot značilni »evaporitni element«. Čisti apnenci vsebujejo poprečno 35 ppm Na, zgodnjediagenetski dolomiti pa do 390 ppm Na. Tudi ti podatki so v skladu z literaturnimi.

Lower Jurassic beds at Preserje near Borovnica (Central Slovenia)

Extended summary

Lower Jurassic beds at Preserje near Borovnica (Fig. 1) were deposited on Adriatic-Dinaric carbonate platform in a littoral environment of alternating subtidal and supratidal sedimentation conditions. They represent a specific variant of the Lofer development where in a 50 meters thick profile 26 cyclothems can be observed (Fig. 2). Beds of biomicritic and pelmicritic limestone were deposited in a subtidal environment of the shallow restricted shelf. They are interbedded with layers of laminated, less commonly stromatolitic limestone, limestone with fenestrale (loferite) and supratidal conglomerate. These beds are characteristic for the intra- and supratidal environment. According to the standard classification of facies (SF, WILSON, 1975) the limestones are attributed to the group 8-9 (*restricted platform & evaporites*), and according to standard micro-

facies classification (SMF, WILSON, 1975; FLÜGEL, 2004) to the 19-24 group for which varieties of peloidal limestones of wackestone type, algal stromatolites, laminites and supratidal flat pebble conglomerate are characteristic. The environment energy was periodically somewhat higher, as indicated by beds of oolitic limestone.

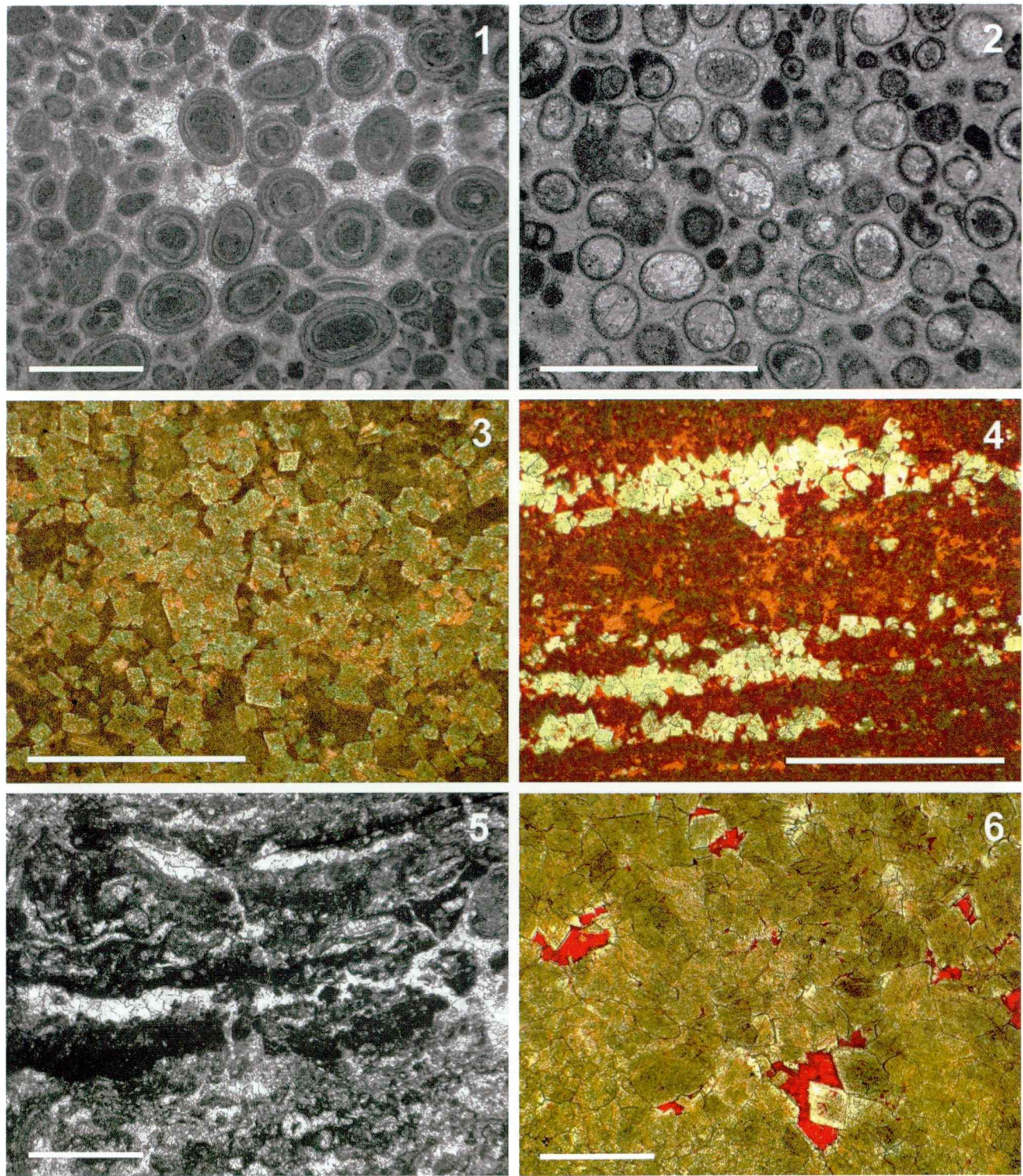
The base of profile consists of granular and laminated dolomite, possibly still of Upper Triassic age (Main dolomite), but more probably of Jurassic age. The Lower Jurassic age of limestone in the middle part of profile has been determined with algae *Palaeodasycladus mediterraneus* Pia, appearing in several beds.

Sedimentology of the studied profile is especially interesting because of dolomitization that took place in two phases. Laminites and supratidal conglomerate were affected by early diagenetic dolomitization manifested by micritic dolomite. Its share varies from a few to 80 %. This dolomite still does not display a perfect ordering of the crystal grid, as observed by the low proportion (0,2-0,4) of dolomitic peak heights on the x-ray diffractograms at 2θ angles of $35,3^\circ/37,3^\circ$ (GRAF & GOLDSMITH, 1956), as compared to late diagenetic dolomites of ordered crystal grid. For the latter this proportion varies between 0,4 and 0,75. In addition, the early diagenesis micritic dolomite contains up to 3 mol % excess of Ca^{2+} with respect to late diagenesis stoichiometric dolomite. The latter occurs in up to 150 μm big dolomitic rhombohedrons accumulated in nests or in laminas. The late diagenetic dolomitization in addition affected entirely the original limestone in the base of the profile by converting it to granular dolomite. On the basis of comparisons with recent dolomites and models of its genesis we interpret the dolomitization of laminites, loferitic beds and supratidal conglomerate during early diagenesis principally by the model of »capillary concentration of pore solutions« (SHINN & GINSBURG, 1964). Areas favorable for such dolomitization were the

Tabla 2 – Plate 2

- 1 Oosparitni grainstone. Vz. 9a
Oosparitic grainstone. Sample 9a
- 2 Oolitni grainstone. Prvotni aragonit v ooidih je bil v vadoznem okolju nadomeščen s stabilnim sparitnim kalcitom. Vz. 60
Oolitic grainstone. Primary aragonite in ooids was in vadose environment replaced by stable sparitic calcite. Sample 60
- 3 Dolomitni kristali v mikritni osnovi; kasnodiaogenetska dolomitizacija. Vz. 49
Dolomite crystals in micritic matrix. Late diagenetic dolomitization. Sample 49
- 4 Gnezda kristalov kasnodiaogenetskega dolomita v laminiranem pelmikritnem apnencu. Vz. 24
Late diagenetic dolomite crystals in laminated pelmicritic limestone. Sample 24
- 5 Stromatolitni dolomitni boundstone. Talnina profila. Vz. 63
Stromatolitic dolomite boundstone. Footwall of the Preserje section. Sample 63
- 6 Detajl kasnodiaogenetskega sparitnega dolomite. Pore, nastale pri dolomitizaciji, zapolnjuje kalcitni sparit (rdeče). Vz. 55
Detail of late diagenetic sparry dolomite. Pores, caused by dolomitisation, are filled by sparry calcite (red). Sample 55

Tabla 2 – Plate 2



wide near-shore intratidal plains with sabkhas, as observed at present in the Persian gulf (PURSER, 1973; SCHNEIDER, 1975) and on part of the Bahamas shelf. Important in early diagenetic dolomitization was also the role of blue-green algae and cyanobacteria concentrated in stromatolitic laminae.

All samples from the Preserje profile were investigated also geochemically for the major elements Ca and Mg, and for the limestone trace elements Sr, Fe, Mn and Na. The investigated samples can be subdivided on basis of their mineralogy, microfacies and degree of diagenesis to:

- *pure limestones* that deposited in the subtidal environment,
- *dolomitized limestones* that occur interbedded between limestone beds. They were dolomitized during the early diagenesis.
- *pure dolomite*. It occurs in the base of profile and was affected next to early also by late diagenetic dolomitization.

All except two examined samples are pure carbonates with above 98 %, the majority of them even above 99 % carbonate content. A relationship between the mineral composition and contents of certain »trace« elements can also be observed. In this light the pure limestone contains with respect to dolomitized limestone and dolomite higher Sr, the first mentioned on an average cca. 160 ppm, and the second one below 120 ppm. Pure limestone contains less iron, the limestones on an average cca. 120 ppm Fe, and the dolomites up to three times more, and less manganese (limestones cca. 6 ppm Mn, and dolomites up to 40 ppm Mn). The same is valid also for sodium as a typical »evaporitic element«. Pure limestones contain on an average 35 ppm Na, and early diagenetic dolomites up to 390 ppm Na.

Zahvale

Raziskave so v zaključni fazi potekale v okviru projekta Sedimentologija in mineralne surovine (P1-025/2004-08) pri Javni agenciji za raziskovalno dejavnost R Slovenije (ARRS).

Avtor se zahvaljuje prof. dr. Germanu Müllerju, predstojniku takratnega Inštituta za sedimentologijo Univerze v Heidelbergu, za možnost raziskovalnega dela na inštitutu v letih 1974-78, kjer so bile opravljene rentgenske in del geokemičnih analiz, prav tako prof. dr. Petru Rotheju in prof. dr. Romanu Kochu za koristne diskusije in sugestije pri raziskovalnem delu.

Zahvala velja tudi doc. dr. Andreju Šmucu za kritični pregled članka in recenzijo ter prof. dr. Simonu Pircu za prevod v angleščino. Stanetu Zakrajšku in Bernardi Bole se zahvaljujem za slikovno in računalniško obdelavo gradiva in tehnično pomoč, Andreju Stoparju pa za izdelavo mikroskopskih preparatov.

References

- BADIOZAMANI, K. 1973: The Dorag dolomitization model – application to the Middle Ordovician in Wisconsin. *Jour. Sed. Petrol.*, 43: 965-984, Tulsa.
- BATHURST, R. G. C. 1971: Carbonate sediments and their diagenesis. *Developments in Sedimentology*, Elsevier Publ. Co. (Amsterdam) 12: 1-620.
- BAUSCH, W. M. 1965, Strontiumgehalte in Süddeutschen Malmkalken. *Geol. Rundschau* (Stuttgart) 55: 86-96.
- BENCINI, A. & TURI, A. 1974: Mn distribution in the Mesozoic carbonate rocks from Lima Valley, Northern Apennines. *Jour. Sed. Petrol.* (Tulsa) 44/3: 774-782.
- BILLINGS, G.K. & RAGLAND, P.C. 1968: Geochemistry and mineralogy of the recent reef and lagoonal sediments south of Belize (British Honduras). *Chem. Geology* (Amsterdam) 3: 135-153.
- BUGGISCH, W. 1974: Die Bellerophonschichten der Reppwand (Gartner-Kofel), Oberperm, Karische Alpen. *Carinthia II* (Klagenfurt) J64/84: 17-26.
- BURNS, S.J., BAKER, P.A. & SHOWERS, W.J. 1988: The factors controlling the formation and chemistry of dolomite in organic rich sediments: Miocene Drakes Bay Formation, California. In: SHUKLA V. & BAKER P.A. (eds.) – *Sedimentology and geochemistry of dolostones*. *SEPM Spec. Publ.* (Tulsa) 43: 41-52.
- BUSER, S. 1968: Osnovna geoloska karta SFRJ, list Ribnica 1 : 100.000. Zvezni geol. zavod Beograd.
- BUSER, S. 1989: Development of the Dinaric and the Julian carbonate platforms and of the intermediate Slovenian basin (NW Yugoslavia). *Mem. Soc. Geol. Ital.* (Roma) 40 (1987): 313-320.
- BULTER, G. P. 1973: Strontium geochemistry of modern and ancient calcium sulphate minerals. In: PURSER, B. H. (ed.), *The Persian Gulf*. Springer Verlag (Berlin): 423-452.
- CHOQUETTE, P. W. & STEINEN, R. P. 1980: Mississippian non-supratidal dolomite, Ste. Genevieve limestone, Illinois basin: Evidence for mixed water dolomitization. In: ZENGER, D. H., DUNHAM, J. B. & ETHINGTON, R. L. (eds.), *Concepts and models of dolomitization*. *Soc. econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ.* (Tulsa) 28: 163-196.
- DAVIES, P. J. 1972: Trace element distribution in reef and subreef rocks of Jurassic age in Britain and Switzerland. *Jour. Sed. Petrol.* (Tulsa) 42: 183-194.
- DOZET, S. 1998: Lower Jurassic dolomite-limestone succession with coal in the Kočevski Rog and correlation with neighbouring areas (southeastern Slovenia). *Geologija* (Ljubljana) 41: 71-101.
- DUNHAM, R. J. 1962: Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: HAM, W. E. (ed.), *Classification of Carbonate Rocks, a Symposium*. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* (Tulsa) 1: 108-122.
- FLÜGEL, E. 2004: *Microfacies of Carbonate Rocks – Analysis, Interpretation and Application*. Springer Verl. (Berlin) 1-976.
- FLÜGEL, H. W. & WEDEPOHL, K. H. 1967: Die Verteilung des Strontiums in Oberjurassischen Karbonatgesteinen der nördlichen Kalkalpen.

BADIOZAMANI, K. 1973: The Dorag dolomitization model – application to the Middle Ordovician

- Contr. Mineral. Petrol. (Heidelberg) 14: 229-249.
- FRITZ, P. & KATZ, A. 1972: The sodium distribution of dolomite crystals. *Chem. Geology* (Amsterdam) 10: 237-244.
- FÜCHTBAUER, H. & GOLDSCHMIDT, H. 1965: Beziehungen zwischen Calciumgehalt und Bildungsbedingungen der Dolomite. *Geol. Rundschau* (Stuttgart) 55: 29-40.
- GOLDSMITH, J. R. & GRAF, D. L. 1958 b: Relation between lattice constants and composition of Ca-Mg carbonates. *Amer. Mineralog.* (Washington) 43: 84-101.
- HANSHAW, B. B., BACK, W. & DEIKE, R. G. 1971: A geochemical hypothesis for dolomitization by ground water. *Econ. Geology* 66: 710-724.
- ILLING, L. V., WELLS, A. J. & TAYLOR, J. C. M. 1965: Penecontemporary dolomite in the Persian Gulf. In: PRAY, L. C. & MURRAY, R. C. (eds.), *Dolomitization and limestone diagenesis, a symposium*. Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Publ. (Tulsa) 13: 89-111.
- KINSMAN, D. J. J. 1969: Interpretation of Sr^{2+} concentrations in carbonate minerals and rocks. *Jour. Sed. Petrol.* (Tulsa) 39: 486-508.
- KITANO, Y., OKUMURA, M. & IDOGAKI, M. 1975: Incorporation of sodium, chloride and sulfate with calcium carbonate. *Geochim. Jour.* 9: 75-84.
- KOCH, R. 1977: Mikrofazielle Untersuchungen in der Kreide Sloweniens. *Dissert. Univ. Heidelberg* (Heidelberg):1-123.
- KRANZ, J. 1973: Die Strontium-Verteilung in den Arlbergschichten (Oberes Ladin) des Kloster-ales (Vorarlberg/Nordliche Kalkalpen). *N. Jb. Geol. Palaont. Mh.* (Stuttgart) 3: 170-187.
- KRANZ, J. 1976: Strontium – ein Fazies-Diagenese-Indikator im Oberen Wettersteinkalk (Mittel Trias) der Ostalpen. *Geol. Rundschau* (Stuttgart) 65/2: 593-615.
- LAND, L. S. & EPSTEIN, S. 1970: Late Pleistocene diagenesis and dolomitization, North Jamaica. *Sedimentology* (Oxford) 14: 187-200.
- LAND, L. S. & HOOPS, G. K. 1973: Sodium in carbonate sediments and rocks: A possible index to the salinity of diagenetic solutions. *Jour. Sed. Petrol.* (Tulsa) 43/3: 614-617.
- LIPPMANN, F. 1973: *Sedimentary carbonate minerals*. Springer Verlag (Berlin):1-228.
- MILLIMAN, J. D. 1974: *Marine carbonates; recent sedimentary carbonates*. Springer Verlag (Berlin):1-375.
- MILER, M. & PAVŠIČ, J. 2008: Triassic and Jurassic beds in Krim Mountain area (Slovenia). *Geologija* (Ljubljana) 51/1: 87-99.
- MOORE, C.H., CHOWDHURY, A. & CHAN, L. 1988: Upper Jurassic Smackover platform dolomitization, Northwestern Gulf of Mexico: A tale of two waters. In : Shukla V. & Baker P.A. (eds.) – *Sedimentology and geochemistry of dolostones*. SEPM Spec. Publ. (Tulsa) 43: 175-189.
- OGORELEC, B. 1988: Mikrofazies, Geochemie und Diagenese des Dachsteinkalkes und Hauptdolomits in Süd-West-Slowenien, Jugoslawien. *Dissertation, Univ. Heidelberg* (Heidelberg): 1-173.
- OGORELEC, B. & DOZET, S. 2000: Oolitic Limestone and Dolomite in Mesozoic Beds of Slovenia. In: VLAHOVIĆ V. & BIONDIĆ R. (eds.), *Zbornik radova, 2. Hrvatski geol. Kongres Cavtat-Dubrovnik* (Zagreb): 509-511.
- OGORELEC, B. & ROTHE, P. 1979: Diagenetische Entwicklung und faziesabhängige Na-Verteilung in Karbonat-Gesteinen Sloweniens. *Geol. Rundschau* (Stuttgart) 68/3: 965-978.
- OGORELEC, B. & ROTHE, P. 1993: Mikrofazies, Diagenese und Geochemie des Dachsteinkalkes und Hauptdolomits in Süd-West-Slowenien. *Geologija* (Ljubljana) 35 (1992): 81-181.
- OREHEK, S. & OGORELEC, B. 1979: Sedimentološke značilnosti jurskih in krednih karbonatnih kamnin na Trnovskem gozdu. *Geol. vjesnik* (Zagreb) 32: 185-192.
- OREHEK, S. & OGORELEC, B. 1981: Korelacija mikrofazialnih in geokemičnih značilnosti jurskih in krednih kamnin južne karbonatne platforme Slovenije. *Za. geol. geof. istraž., Vestnik A* (Beograd) 38/39: 171-185.
- PLACER, L. 2008: Principles of the tectonic subdivision of Slovenia. *Geologija* (Ljubljana) 51/2: 205-218.
- PURSER, B. H. (ed.) 1973: *The Persian Gulf – Holocene carbonate sedimentation and diagenesis in a shallow epicontinental sea*. Springer Verlag, (Berlin): 1-471.
- SCHNEIDER, J. F. 1975: Recent tidal deposits, Abu Dhabi, UAE, Arabian Gulf. In: GINSBURG, R. N. (ed.), *Tidal Deposits*. Springer Verlag, (Berlin): 209-214.
- SHINN, E. A., GINSBURG, R. N. & LLOYD, R. M. 1965: Recent supratidal dolomite from Andros Island, Bahamas. In: PRAY, L. C. & MURRAY, R. C. (eds.), *Dolomitization and limestone diagenesis, a symposium*. Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Publ. (Tulsa) 13: 112-123.
- SHUKLA, V. 1988: Sedimentology and geochemistry of a regional dolostone: Correlation of trace elements with dolomite fabrics. In: SHUKLA, V. & BAKER, P. A. (eds.), *Sedimentology and Geochemistry of Dolostones*. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ. (Tulsa) 43: 145-157.
- STROHMENGER, CH. & DOZET, S. 1990: Stratigraphy and geochemistry of Jurassic carbonate rocks from Suha krajina and Mala gora mountain (Southern Slovenia). *Geologija* (Ljubljana) 33: 315-351.
- TUREKIAN, K. K. & WEDEPOHL, K. H. 1961: Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geol. Soc. Amer. Bull.* (Tulsa) 72: 175-191.
- WEDEPOHL, K. H. 1966: *Die Geochemie der Gewässer*. Naturwiss. (Berlin) 53: 352-257.
- WILSON, J.L. 1975: *Carbonate facies in geologic history*. Springer Verl., (Berlin): 1-471.
- ZENGER, D.H. & DUNHAM, J.B. 1988: Dolomitization of Siluro-Devonian limestones in a deep core (5,350 M), Southeastern New Mexico. In: SHUKLA, V. & BAKER, P. A. (eds.), *Sedimentology and Geochemistry of Dolostones*. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ. (Tulsa) 43: 161-173.