

Permsko-triasna meja ter zgornjepermski in spodnjeskitski skladi na jugovzhodnem obrobju Ljubljanskega Barja, osrednja Slovenija

Permo-Triassic boundary and Upper Permian as well as Lower Scythian Beds in the Southeastern Borderland of the Ljubljana Marsh, Central Slovenia

MATEJ DOLENEC^{1*}, STEVO DOZET², SONJA LOJEN³

¹Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, Department of Geology, Aškerčeva 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenia;
E-mail: matej.dolenec@s5.net

²Geological Survey of Slovenia, Dimičeva 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenia;
E-mail: stevo.dozet@geo-zs.si

³Jožef Stefan Institute, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenia;
E-mail: sonja.lojen@ijs.si

Received: September 18, 2006

Accepted: October 20, 2006

Izveček: V tem in naslednjih člankih skušamo z različnimi raziskovalnimi metodami potrditi obstoj zgornjepermskih skladov na območju južne Slovenije in natančneje opredeliti permsko-triasno mejo v pestrem zaporedju sedimentov na južnem obrobju Ljubljanskega Barja. V zgornji perm smo uvrstili paket temnosivih dolomitov ter bolj ali manj dolomitiziranih apnencev z redkimi vložki dolomitnih laporovcev in lapornih glinavcev, ki leže konkordantno pod pisanim karbonatnim in klastičnim zaporedjem skitske serije. Peščeni sedimenti spodnjetriasne serije vsebujejo vložke sljudnih peščenjakov in laporovcev, navzgor pa prehajajo v več deset metrov debel horizont oolitnega apnenca s polžkom *Holopella gracilior* (Schauroth). Spodnji del zgornjepermskih sedimentov je prekrit s kvartarnimi usedlinami. Izotopska sestava kisika in ogljika v zgornjepermskih karbonatnih kamninah je dokaj konstantna. $\delta^{18}\text{O}$ ima vrednosti v razponu od $-1,30\text{‰}$ do $+0,43\text{‰}$ medtem ko se $\delta^{13}\text{C}$ spreminja od $+3,22\text{‰}$ do $+4,35\text{‰}$ (V-PDB), kar je značilno za karbonatne kamnine zgornjega perma. Precej drugačna je izotopska sestava kisika in ogljika v sedimentih skitske serije. Takoj nad predvideno permsko-triasno mejo se pojavi v karbonatih skitske serije negativna ogljikova anomalija, ki znaša $6,78\text{‰}$, nad mejo so povprečne vrednosti parametra $\delta^{13}\text{C}$ okrog $-2,56\text{‰}$, parametra $\delta^{18}\text{O}$ pa okrog $-4,21\text{‰}$. Sinteza rezultatov izotopske, sedimentološke in favnistične analize ter primerjalnih metod je pokazala, da na jugovzhodnem obrobju Ljubljanskega Barja leži meja med permskim in triasnim sistemom znotraj zaporedja temnih pretežno karbonatnih kamnin, natančneje med ploščastimi dolomiti (zgornji perm) in konkordantno na njih ležičimi temnimi plastnatimi apnenci

Abstract: In this and next papers we try to confirm with various research methods the existence of the Upper Permian beds in Southern Slovenia and to define the Permian-Triassic boundary in the pretty heterogeneous stratigraphic sequence in the southern borderland of the Ljubljana Marsh. In Permian is ranged a packet of the dark grey dolomites and more or less dolomitized limestones with rare interbeds of dolomitic marlstones and marly claystones lying concordantly under the variegated carbonate and clastic succession of the Scythian series. Sandy sediments of the Lower Triassic series contain interbeds of sandstones and marlstones, passing upwards into several ten metres thick horizon of oolitic limestones with the gastropod *Holopella gracilior* (Schauroth). The lower part of the Upper Permian sediments is covered by the Quaternary deposits. The stable isotope composition of oxygen and carbon in the Upper Permian carbonate rocks are pretty constant. $\delta^{18}\text{O}$ exhibit values in the interval from $-1,30\text{‰}$ to $+0,43\text{‰}$, whereas $\delta^{13}\text{C}$ range from $+3,22\text{‰}$ to $+4,35\text{‰}$ (V-PDB) characteristic for Upper Permian carbonate rocks. The isotope composition of oxygen and carbon in sediments of the Scythian series are much more variable. Right above the proposed P/T boundary a global negative carbon isotope anomaly in the range of $6,78\text{‰}$ appears. Above the P/T boundary mean isotopic composition of $\delta^{13}\text{C}$ is around $-2,56\text{‰}$ and $\delta^{18}\text{O}$ around $-4,21\text{‰}$. A synthesis of the results of isotope, sedimentological and faunistical analysis as well as of correlation methods showed, that in the Southeastern Borderland of the Ljubljana Marsh the boundary between the Permian and Triassic system lies within the succession of dark prevalently carbonate rocks, more precise between the platy dolomites (Upper Permian) and concordantly overlying dark bedded limestones (Lower Scythian).

Ključne besede: karbonatne in klastične kamnine, zgornji perm in spodnji skit, meja, litostratigrafija, izotopska sestava, kisik, ogljik, Zunanji Dinaridi, osrednja Slovenija

Key words: carbonate and clastic rocks, Upper Permian and Lower Scythian boundary, lithostratigraphy, isotope composition, oxygen, carbon, Outer Dinarides, Central Slovenia

*Corresponding author. Tel.: +00386-1-4707620; Matej Dolenc

UVOD

V okviru geološkega kartiranja za izdelavo geološke karte Slovenije na listu Grosuplje 1:50 000 smo na širšem območju med Ortnekom, Sodražico, Blokami, Ljubljano in Ivančno Gorico opazili nekaj izdankov temnih karbonatnih kamnin, ki leže konkordantno pod skitskimi sedimenti in navidezno konkordantno na grödenskih klastičnih kamninah, za katere menimo, da pripadajo zgornjemu permu. Za začetek reševanja tega problema smo izbrali razmeroma dobro odkrit profil Skopačnik na južnem obrobju Ljubljanskega Barja, kjer so razgaljene vrhne zgornjepermske karbonatne kamnine ter spodnji in srednji del skitskega karbonatno-

klastičnega zaporedja z nenavadno debelim horizontom oolitnega apnenca na vrhu. Sedimentno zaporedje zgornjepermskih in skitskih sedimentov je stratimetrijsko izmerjeno, sedimentološko raziskano in litostratigrafsko razčlenjeno. Vzeli smo tudi precej vzorcev kamnin za izotopsko, konodontno, mikrofacijalno in biofacijalno analizo.

V geografskem pogledu pripada raziskovano ozemlje južnemu obrobju Ljubljanske kotline v paleogeografskem pogledu Slovenski karbonatni platformi, v geotektonskem pogledu pa Dolenjsko-Notranjskim mezozojskim grudam oziroma natančneje tektonski enoti Krimsko-Mokrškega hribovja (BUSER, 1974).

V tem članku podajamo rezultate začetnih raziskav problematike zgornjepermskih skladov na območju južne Slovenije s posebnim poudarkom na določanju permsko-triasne meje. Na raziskovanem ozemlju ta meja ni doslej niti litološko niti paleontološko detajlneje določena. V ta namen smo vzorčevali tako v zgornjepermskih kot v skitskih plasteh in nabrali okoli 105 vzorcev za različne laboratorijske raziskave.

DOSEDANJE RAZISKAVE

KOSSMAT (1913) je odkril najpopolnejši razvoj zgornjepermskih skladov v Loških in Polhograjskih hribih v okolici Žažarja in Vrzdencea.

Po HERITSCH-u (1939) predstavljajo zgornjepermski skladi v Loških in Polhograjskih hribih ekvivalent belerofonske stopnje v Južnih Tirolah z jasno zvezo z indijskim *Productus* apnencem, žažarska favna pa zvezo med favnama Južnih Tirolov in zahodne Srbije.

ŠLEBINGER (1953) je ugotovil zgornjepermske sklade v ortneškem paleozoiku na Dolenjskem v apnenčevem in dolomitnem razvoju, ki se brez prekinitve sedimentacije nadaljujejo v sedimente spodnjetriasne starosti. V ortneškem paleozoiku je ohranjen popoln profil permskih plasti. Najdene so trogkofelske plasti, ki jih je paleontološko dokazala V. KOSTIĆ – PODGORSKA s koralo *Sinophyllum pendulum* Grabau. Razen tega je tam v obliki belih in rdečkastih kremenovih konglomeratov in peščenjakov razvit tudi gröden. Belerofonski skladi so v ortneškem paleozoiku zelo podobni velebitskemu razvoju.

GERMOVŠEK (1955) je pri kartiranju jugovzhodnega obrobja Ljubljanskega Barja pripisal temnosivemu debeloploščastemu dolomitu za senikom Rebolove kmetije in okoli Skopačnika verjetno werfensko starost. Strnjen kompleks sivega in rdečega sljudnega lapornega skrilavca s polami rdečega oolitnega apnenca med Sarskim na severu in Rebolovo kmetijo na jugu je uvrstil v zgornji werfen.

Leta 1956 je GERMOVŠEK menil, da geološke razmere ob koncu permske dobe niso bile enake po vsem slovenskem ozemlju. Werfenske plasti leže namreč na zgornjepermskem peščenjaku ali na belerofonskem apnencu oziroma dolomitu. Ob začetku triasne dobe pa so se že povsod odlagale približno enake usedline.

RAMOVŠ (1956) je pisal, da so med permskimi skladi najbolj razprostranjeni grödenski skladi. Vrhnji del grödenskih skladov sestavljajo rdeči, vijolični in zeleni skrilavi glinavci, ki se blizu zgornjepermskih skladov menjavajo z belerofonskim dolomitom in tako postopoma prehajajo v zgornjepermske sklade. Najmlajši permski stratigrafski člen sestavljajo na Slovenskem zgornjepermski skladi, ki so zaradi bogatih najdišč indoarmenske favne pri Žažarju in Vrzdencu vzbujali veliko pozornost raziskovalcev.

RAMOVŠ (1958a) je zgornjepermske sedimente na ozemlju Loških in Polhograjskih hribov ter na Cerkljanskem razčlenil v tri serije z dvanajstimi horizonti.

RAMOVŠ (1958b) je menil, da imamo v zgornjem permu na ozemlju Slovenije dve, mogoče celo tri facije in sicer: žažarsko (Škofjeloško-Polhograjsko hribovje, Cerčno),

južnotirolsko (Julijske Alpe) in karavanško. Na ozemlju Posavskih gub in vzhodne Slovenije pa je bilo verjetno kopno.

RAMOVŠ (1982) je smatral, da je permsko triasna meja tam, kjer je konec sedimentacije permskega značaja (črni in temnosivi plastnati dolomit ali apnenec z drobnimi foraminiferami (Gymnocodiaceae) in tankimi lapornimi in glinenimi plastmi.

BUSER (1962) je sklepal, da leže skitske plasti pri Skopačniku pri Želimljah normalno na zgornjepermskem dolomitu ter da se končajo ob prelomu, kjer je zgornjetriasni dolomit narinjen na spodnjetroasnega.

Na Osnovni geološki karti, list Ribnica 1:100 000 (BUSER, 1969) leže spodnjetroasne plasti diskordantno na permokarbonskih klastičnih kamninah.

BUSER (1974) je v tolmaču lista Ribnica 1:100 000 navedel, da pri vasi Obla Gorica severno od Primskovega leži na rdečkastem kremenovem peščenjaku, ki predstavlja ekvivalent grōdenskih skladov, 10 m debel temnosiv dolomit, ki verjetno pripada zgornjemu permu oziroma žažarskim skladom. To bi bila takrat prva najdba žažarskih skladov na ozemlju Posavskih gub, ki so tu bile po njegovem prav gotovo odloženi, vendar so bili kasneje zopet erodirani.

BUSER (1976) je za projekt Mezozoik v Sloveniji pri opisu triasnih plasti na listu Ribnica napisal, da leže skitske plasti pri Skopačniku blizu Želimelj normalno na zgornjepermskem dolomitu. Temnosivi permski dolomit prehaja navzgor najprej v rjavosiv skladovit (20-50 cm) dolomit, ki vsebuje na lezikah sljudo in se menjava z do 20 cm debelimi

plastmi sivorjavega sljudnatega meljevca in peščenjaka. Sledi okoli 30 m debel paket sljudnatega meljevca in peščenjaka z več debelejšimi plastmi sivega in rožnatega oolitnega apnenca, za katerega je menil, da leži v nižjih delih skitskih plasti in ne v srednjem delu, kakor so menili poprej.

BUSER in sodelavci (1986) so opisali stratigrafske, paleontološke in sedimentološke značilnosti zgornjepermskih sedimentov. Na ozemlju Slovenije so razlikovali dva razvoja zgornjepermskih plasti. Zahodno od Ljubljane je razvita žažarska formacija, v južnih Karavankah in v Posavskih gubah (vzhodno od Ljubljane) pa imamo karavanško formacijo.

OGORELEC in GRAD (1986) sta med drugim opisala tudi zgornjepermsko zaporedje karbonatnih kamnin na Žirovskem in ga razdelila v tri litološke enote. Meja med permskimi in skitskimi plastmi ni ostra in poteka v 120 m debelem paketu svetlejšega tankoplastnatega dolomita z redko detritično primesjo. Zgornjepermski del skladovnice sta pripisala žažarski formaciji.

RAMOVŠ (1989) je poročal, da permsko-triasna meja v severnih Julijskih Alpah ni nikjer razločna. Še najbolj jasne so razmere med obema členoma južno od Save v Podkorenu, to je severno od Rutiča, kjer je v vrhnjem zgornjem permu ploščast, dimnatosiv, luknjičav, peščen dolomit, sivi plastnati dolomit nad njim z vložki sljudnega laporovca pa je skitski.

MUŠIČ (1992) je natančno raziskal zgornjepermske in spodnjetroasne kamnine pri Skopačniku v Želimeljski dolini. Opisal je njihove petrografske in paleontološke značil-

nosti, sedimentacijsko okolje in diagenetske spremembe. Menil je, da predstavljajo te plasti litološki ekvivalent tretje dolomitne enote (zgornje dolomitne plasti) v južnih Karavankah (Tržič). Zgornjepermski del profila je razdelil na tri litološke enote (od spodaj navzgor: 1) – spodnja dolomitna enota, 2) – zgornja dolomitna enota in 3) – prehodna P/T enota.

MATERIALI IN METODE DELA

Geološki podatki, ki so uporabljeni za ta članek, so bili pridobljeni pri geološkem kartiranju za Geološko karto Slovenije na listu Grosuplje 1:50 000, ki ga v tem delu Slovenije izvaja Geološki zavod Slovenije. Najnovejši podatki so dobljeni pri stratimetrijskem profiliranju in sedimentološki obdelavi profila Skopačnik na jugovzhodnem obrobju Ljubljanskega Barja.

Istočasno s stratimetrijskimi meritvami je potekalo vzorčevanje zgornjepermskih in spodnjega dela skitskih kamin za izotopske meritve in druge laboratorijske raziskave. Vzorci so jemani v svežih kamninah, ki niso preperle ali rekristalizirane.

Karbonatne kamnine so določene po FOLK-ovi (1959) in DUNHAM-ovi (1962) klasifikaciji. Barva kamin je določena po GSA Rock-Color-Chart barvni lestvici, ki jo sestavi Rock Color-Chart Committee, izdala pa Geological Society of America, Boulder, Colorado.

Vzorci za masnospektrometrične analize izotopske sestave kisika in ogljika so bili odvzeti na podlagi nadrobne mikroskopske raziskave z alizarin rdeče obarvanih prepa-

ratov karbonatnih kamnin, ki so omogočili podrobnejšo oceno vsebnosti dolomita v apnencih oziroma kalcita v dolomitu in s tem vpliva postsedimentacijskih procesov. Ti lahko bistveno spremenijo prvotno izotopsko sestavo obeh prvin v karbonatih. Za analizo smo izbrali najmanj dolomitizirane in rekristalizirane apnenice ter najmanj kalcitizirane dolomite in iz njih pripravili prah z velikostjo delcev $< 63 \mu\text{m}$.

Praškaste vzorce (40 mg) karbonatnih kamnin smo najprej evakuirali, nato pa prelili z 2 ml $> 100\%$ H_3PO_4 po postopku, ki ga je razvil McCREA (1950). Reakcija je potekala 2 uri pri temperaturi $55 \pm 0,5^\circ\text{C}$, kar omogoča tudi popolno raztapljanje dolomita. Pri reakciji med kislino in karbonatom je nastal CO_2 , ki smo ga zamrznili v posebni pasti pri temperaturi -70°C in tako očistili preostalih plinov, ki bi lahko vplivali na pravilnost meritve. Tako očiščenemu CO_2 smo nato izmerili izotopsko sestavo kisika in ogljika z masnim spektrometrom Europa 20-20 (Europa Scientific LTD). Dobljeni rezultati predstavljajo povprečno izotopsko sestavo kisika in ogljika vseh generacij karbonatov, prisotnih v merjenem vzorcu apnenca oziroma dolomita. Vsak vzorec smo pripravili in merili 4 do 5 krat, nato pa izračunali povprečje meritev. Kot standard smo uporabili mednarodni standard IAEA-CO-1, ki ima $\delta^{18}\text{O}$ vrednost $-2,44\%$, za $\delta^{13}\text{C}$ pa $+2,48\%$. Dobljene vrednosti za izotopsko sestavo kisika in ogljika podajamo kot relativne vrednosti izražene v promilih (‰) glede na mednarodni standard V-SMOW oziroma V-PDB (Vienna - PeeDee Bellemitela Americana). Natančnost meritve za $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^{13}\text{C}$ je boljša od $\pm 0,1\%$ (1σ). Izotopske analize kisika in ogljika v karbonatih so bile napravljene na Inštitutu Jožef Stefan v Ljubljani.

REZULTATI RAZISKAV

Litologija in litostratigrafska razčlenitev

Za študij problematike zgornjepermskih plasti in meje med permskimi in skitskimi sedimenti smo izbrali okoli 150 m dolg profil na jugovzhodnem obrobju Ljubljanskega Barja (Slika 1). V profilu je razkrit vrhnji del zgornjepermskih karbonatnih sedimentov ter spodnji del karbonatnih in klastičnih skitskih skladov z nekaj deset metrov debelim horizontom oolitnega apnenca na vrhu.

Zgornji perm

Okoli 20 m debel najspodnjejši del obravnavanega sedimentnega zaporedja, ki ga štejemo za zgornji perm, je sestavljen iz temnega ploščastega in plastnatega dolomita z redekimi tankimi vložki dolomitnega laporovca in lapornega glinavca.

Ploščasti dolomikrit, dolomitni laporovec in laporni glinavec (H-1):

V najmlajši litostratigrafski zgornjepermski enoti prevladujejo ploščast (5-10 cm), siv, srednjesis in srednje temnosiv gost dolomit oziroma dolomikrit. Mestoma je tankoplastnat (10-20 cm), zrnat in oolitičen. Ponekod vsebuje tanke vložke sivega in olivnosivega laporovca in lapornega glinavca, redka zrna pirita in kremenca ter ostanke drobnih foraminifer in alg. Pogosto je bolj ali manj rekristaliziran. Vezivo je mikritno ali mikrosparitno. Izmerjena debelina najstarejše zgornjepermske litostratigrafske enote znaša 20 metrov, vendar je v resnici večja, ker je precejšnji del plasti, ki leže spodaj, prekrit s kvartarnimi sedimenti in odsekan s prelomom.

Spodnji skit

V litostratigrafskem pogledu smo spodnjeskitsko skladovnico razdelili v štiri horizonte (od spodaj navzgor):

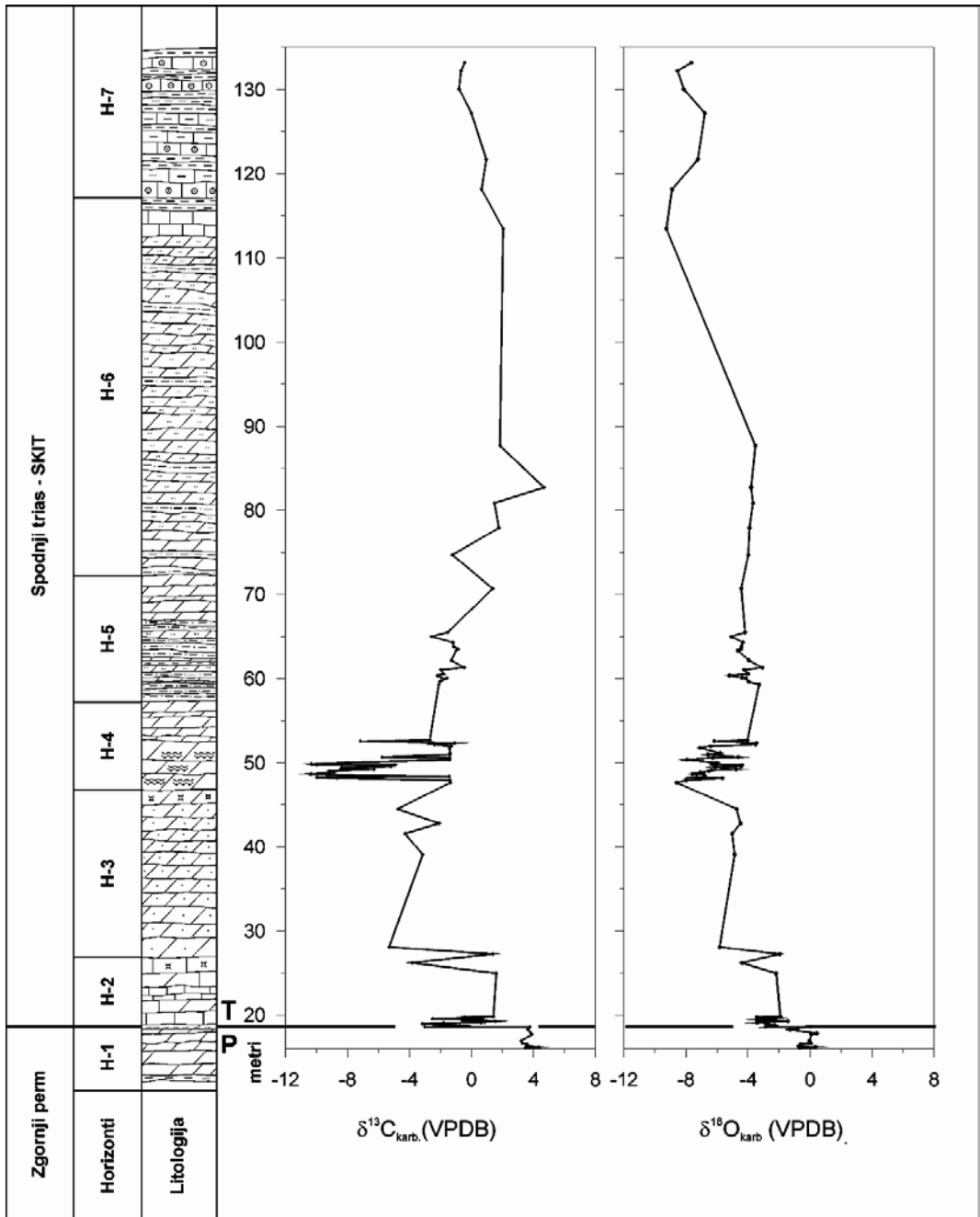
- 1) plastnati apnenec, dolomitni apnenec in apnenčev laporovec (H-2),
- 2) plastnati sparitni dolomit (H-3),
- 3) plastnati stromatolitni dolomit (H-4),
- 4) sajske plasti (H-5).

Plastnati apnenec, dolomitni apnenec in apnenčev laporovec (H-2):

Spodnjeskitski apnenec je srednjesis do sivkastočrn, zelo drobno do drobnozrnat, plastnat (20-45 cm) in redkeje ploščast (5-10 cm) karbonatni sediment. Po strukturi je mikriten, (mudstone) redkeje biomikriten (wackestone), zelo redko biospariten ali intrabiospariten (packstone). Vezivo je mikritno in mikrosparitno, redko sparitno. Praviloma je bolj ali manj dolomiteno. Vsebuje ostanke foraminifer in alg ter drobne bele kalcitne žilice. Debelina paketa plastnatega apnenca, apnenčevega laporovca in dolomitnega apnenca je 8 metrov, posamezne plasti pa so debele 10-30 cm. Kemično je čist, saj vsebuje le nekaj procentov detritičnega kremenca, sljud in mineralov glin. Mestoma je nekoliko rekristaliziran.

Plastnati sparitni dolomit (H-3):

Spodnjeskitski bazalni dolomit je temnorjavosiv, bledorjavkastosiv in srednje svetlosiv, plastnat (15-35 cm), pogosto luknjičast srednje- in debelozrnat karbonatni sediment s peščenim otipom. V spodnjem delu je debeloplastnat, v zgornjem pa srednje- do tankoplastnat. Mestoma vsebuje drobne vključek belega kalcita. Po strukturi je dolosparit, biodolosparit in intrabiodolosparit. Vsebuje zrna



Slika 1. Litološki stolpec in izotopska sestava kisika in ogljika v permsko-triasni mejni sekvenci iz profila Skopačnik (osrednja Slovenija)

Figure 1. Lithology and depth profile of oxygen and carbon isotope composition across the Permo-Triassic boundary in the Skopačnik section (Central Slovenia)

pirita ter ostanke foraminifer in alg. Debelina spodnjega dela je 12,5 metrov zgornjega pa 7,5 metrov, skupaj torej 20 metrov.

Plastnati stromatolitni dolomit (H-4):

Enoti plastnatega stromatolitnega dolomita pripada okoli 11 metrov debela skladovnica srednje svetlosivega do zelo svetlosivega, plastnatega, v vrhnjem delu debeloploščastega in tankoplastnatega (5-20 cm), izredno kompaktnega in čvrstega, izrazito stromatolitnega dolomita. V stromatolitnem dolomitu ne opazujemo prepokanosti niti paralelepiedske krojitve. Površine plastovnih ploskev so ravne do rahlo valovite.

Sparitni plastnati dolomit, ki leži nad spodnejskitskim temnim apnencem, je nastal v rahlo razgibani morski vodi, o čemer priča mnogokrat precejšnja izpranost tega sedimenta, in z poznodiagenetsko rekristalizacijo prvotnega sedimenta, zaradi česar je ta sediment srednje- in debelozrnat in peščenega otipa. Piritna zrna in organska snov v dolomitu in apnencu govorijo za občasno lokalno redukcijsko okolje.

Stromatolitni dolomit je izrazito valovito in nepravilno laminiran sediment, ki je nastajal v zelo plitvi morski vodi. Nastopa v plasteh in debelejših ploščah. Njegova izredna kompaktnost in trdota sta posledica mikritizacije, ki je bila istočasna s sedimentacijo, ali pa se je zgodila po litifikaciji karbonatnega mulja.

Sajske plasti (H-5):

Vrhnji del spodnejskitskega zaporedja sedimentov pripada sajskim plastem. Gre najprej za okoli 15 metrov debel paket ploščastih rumenkastosivih, oranžnorumenih in oranžnorjavih, pogosto laminiranih ali

pasastih peščenih (sljudnih) laporovcev z interkalacijami in redkeje vložki ploščastega in plastnatega rumenkastosivega bolj ali manj peščenega dolomita. Približno v sredini opisanega karobantnega zaporedja je 20 do 50 cm debel vložek temnosivega do sivkastočrnega, ploščastega, progastega in pasnatega lapornega glinavca oziroma dolomitnega laporovca.

Nad repnim vložkom temnosivega do črnega ploščastega progastega in pasnatega lapornega glinavca oziroma dolomitnega laporovca je ena do dva metra debel horizont ploščastega in tankoplastnatega oolitenga dolomita.

Opisano bazalno sajsko zaporedje prehaja navzgor postopno najprej v 7,5 m debel paket sivega, ploščastega in tankoplastnatega (3-25 cm), tu in tam laminiranega peščenega dolomita z redkimi interkalacijami dolomitnega laporovca. Nato sledi 15 m debel interval rumenkastosivega in plastnatega (5-20 cm) peščenega dolomita z vložki dolomitnega laporovca. Na vrhu litostratigrafske enote peščenih dolomitov leži 23 m debela skladovnica rožnatorumenega, blede do rožnatorjavega, ploščastega in tankoplastnatega, močno peščenega (sljudnatega) dolomita z vložki peščenega dolomitnega laporovca in interkalacijami (20-35 cm) debeloplastnatega peščenega dolomita.

Nad 60,5 m debelim sajskim zaporedjem pisanih peščenih dolomitov (H-5 in H-6) leži litostratigrafska enota oolitnih apnencev (H-7). Raziskali smo spodnji del te enote, ki sestoji iz dveh paketov. V spodnjem 10 m debelem paketu se menjavajo sivi in srednesivi, ploščasti in plastnati zrnati apnenec, laporni apnenec in apnenčev laporovec.

Apnenec je tudi oospariten in kaže navzkrižno plastnatost. V zgornjem paketu (7,5 m) so zelen ploščast laporovec, temnordeč srednjeznat oolitni apnenec s številnimi preseki polžka *Holopella gracilior* (Schauroth) in temnoolivnozelen apnenčev laporovec.

Sedimentacijsko okolje zgornjepermskih in spodnjeperskih skladov

V zgornjem permu in spodnjem skitu je prevladovala sedimentacija plitvega zaprtega šelfa oziroma plitve lagune.

Temni apnenec je nastajal v plitvem zaprtem šelfu oziroma plitvi laguni. Izsuševanje lagune je bilo močno, zaradi česar je apnenec praviloma bolj ali manj dolomit. Močno izparevanje je narekovalo večjo slanost morja in slabe pogoje za življenje zlasti večjih in bentonskih organizmov, zato so zgornjepermski sedimenti na jugovzhodnem obrobju Ljubljanskega Barja zelo revni z makrofosili. K slabi ohranjenosti fosilov pa sta prispevala tudi zgodnja in pozna dolomitizacija. Občasno odpiranje lagune je nekoliko razgibalo lagunsko vodo, kar je bilo ugodno za rast alg in drobnih foraminifer ter za nastanek ooidov in oolitnih plasti. Piritna zrna v apnencu govore za redukcijsko okolje.

Zgornjepermski dolomit je nastal z zgodnjediagenetsko dolomitizacijo apnenčevega mulja. Usedanje karbonatnega mulja je bilo tu in tam prekinjeno z donosom zelo drobnega terigenega materiala (glina, melj) s kopnega, o čemer pričajo tanjši vložki glinenega laporovca in lapornega glinavca. Zgornjepermski dolomit je v celoti zgodnjediagenetskega izvora, piritna zrna v njem pa govore za občasno redukcijsko okolje. Zgodnja dolomitizacija je potekala po evaporitnem modelu, kar potrjujejo tudi izotopske preiskave.

Biofacijalna analiza

Omenili smo že, da je zgornjepermsko morje zaradi majhne globine, močnega izsuševanja in posledično prevelike slanosti bilo dokaj neugodno za razvoj zlasti večjih organizmov. Toda zgornjepermsko morje se je občasno odpiralo, kar je omogočilo rast nekaterih alg in drobnih foraminifer, vendar je s pomočjo le-teh nemogoče opraviti zanesljivo biostratigrafsko razčlenitev.

Prvo mikrobiofacijalno analizo na jugovzhodnem obrobju Ljubljanskega Barja je opravil Mušič (1992). V spodnji dolomitni enoti je ugotovil mikroforaminiferni rodove *Ammodiscus* in *Hemigordius*. Poleg teh so tu prisotne še druge nedoločljive oblike malih foraminifer, ostanki iglokožcev, briozojev in problematik rodu *Tubiphytes*. V temnosivem kompaktnem dolomitu zgornjedolomitne enote je precej drobcev rdečih alg iz družine Solenoporaceae in spongij rodu *Carta*. Od ostalih fosilnih ostankov so prisotni še preseki talusov dazikladacej, problematik rodu *Tubiphytes*, ploščice ehinodermov ter redke male foraminifere od katerih je bil določljiv le primitivni rod *Staffella*. V 25 metrov debeli prehodni P/T litološki enoti sivega do svetlosivega in srednje- do debeloplastnatega (20-200 cm) dolomita niso najdeni nobeni fosili, tako da starost te enote in meja med permom in triasem nista dokazani.

Sto petdeset metrov debelo skladovnico spodnjeperskih karbonatnih kamnin je razdelil v dve litološki enoti: 1) – apnenčeva enota in 2) – dolomitna enota.

Starost spodnjega dela dolomitne enote s fosili ni bila dokazana. Prvi fosilni ostanke se pojavijo razmeroma visoko. V lečah

apnenca so nedoločljivi fragmenti moluskov in ehinodermov, v dolomitu pa so le posamezne hišice mikroforaminifer *Ammodiscus* sp. Mejo med griesbachijem in nammalijem je postavljena pod biomikrosparitnim apnencem (packstone) s številnimi polžki rodov *Coleostylina* in *Natica*. V vrhnjem delu profila je najdeno nekaj presekov polža *Natiria* sp., ki se na ozemlju Slovenije pojavljajo v vrhnjem delu spodnjega triasa (spathij). Najdbe polžev vrste *Natiria costata* v spodnjetriasnih kamninah pri Skopačniku omenja BUSER (1974).

Izotopska sestava kisika in ogljika v zgornjepermskih in spodnjekitskih skladih

Izotopska sestava kisika ($\delta^{18}O$)

Izotopska sestava kisika, v zgornjepermskih dolomitih – horizont (H-1) niha od -1.30% do $+0.43\%$ s srednjo vrednostjo $\delta^{18}O_{\text{Mean}} = -0.25\%$, v spodnjekitskih dolomitih (horizonti H-2, H-3, H-5 in H-6) pa od -5.83% do -1.95% s srednjo vrednostjo $\delta^{18}O_{\text{Mean}} = -4.21\%$. Izjema so dolomiti iz horizonta H-4, kateri so močno obogateni z lahkim kisikovim izotopom. Njihova sestava se spreminja od -8.60% do -3.46% s srednjo vrednostjo $\delta^{18}O_{\text{Mean}} = -6.05\%$. Spodnjekitski apnenci horizonta H-2 nad P/T mejo so v primerjavi z zgornjepermskimi dolomiti obogateni z lahkim kisikovim izotopom in imajo vrednosti $\delta^{18}O$ v razponu od -4.40% do -1.43% s srednjo vrednostjo $\delta^{18}O_{\text{Mean}} = -2.75\%$ v primerjav s spodnjekitskimi dolomiti pa obogateni s težkim kisikovim izotopom ($\Delta\delta^{18}O_{\text{Mean(APNENEC)} - \text{Mean(DOLOMIT)}} = 1.45\%$). Oolitni in lapornati apnenci iz horizonta H-7 vsebujejo izmed vseh karbonatov profila

Skopačnik največ lahkega kisikovega izotopa. Njihove vrednosti so v razponu od -9.27% do -6.79% , srednja vrednost $\delta^{18}O_{\text{Mean}}$ pa znaša -8.08% .

Izotopska sestava ogljika ($\delta^{13}C$)

Variabilnost izotopske sestave kisika in ogljika je podana na sliki 1, iz katere so razvidne tudi litološke značilnosti raziskanega profila, katerega smo razdelili na 7 horizontov.

Iz slike 1 je razvidno, da je izotopska sestava ogljika v zgornjepermskem dolomitu – horizont H-1, relativno homogena in da je ta horizont obogaten s težkim ogljikovim izotopom. Njegov $\delta^{13}C$ se spreminja od $+3.22\%$ do $+4.35\%$ (VPDB) s srednjo vrednostjo $\delta^{13}C_{\text{Mean}} = +3.66\%$. Te vrednosti sovpadajo z razponom vrednosti, ki jih navajata MAGARITZ in HOLSER (1991) za Belerofonsko formacijo (ekvivalent Žažarski in Karavanški formaciji ter horizontu H-1) in znaša od $+2\%$ do $+3.5\%$. V vseh ostalih horizontih (od H-2 do H-7) pa se $\delta^{13}C$ spreminja od -10.36% do $+4.68\%$ (V-PDB) s srednjo vrednostjo $\delta^{13}C_{\text{Mean}} = -2.56\%$. Krivulja $\delta^{13}C$ na prehodu iz perma v trias kaže drastičen padec vrednosti $\delta^{13}C$ in sicer od $+3.77\%$ do -3.01% . Gre za glavno ogljikovo anomalijo na P/T meji v velikosti 6.78% , ki je posledica povečane vsebnosti lahkega ogljikovega izotopa v apnencu. Negativna ogljikova anomalija se pojavi tik nad horizontom H-1 (slika 1) 1 cm pod temno sivo do 3 cm debelo plastjo gline. Podobna anomalija je bila ugotovljena tudi na drugih lokacijah v Sloveniji tako v zahodni Sloveniji v profilu Masore (M. DOLENEC, 2004; T. DOLENEC, et al., 2000; 2004) in profilu Idrijca (M. DOLENEC, 2004; M. DOLENEC and OGORELEC, 2001; T. DOLENEC, et al., 2001;

T. DOLENEC and RAMOVŠ, 1998), kakor tudi v Karavankah v profilu Košutnikov graben in profilu Brsnina (M. DOLENEC, 2004; M. DOLENEC, et al., 2003; T. DOLENEC, et al., 1998; 1999).

Za spodnji skit so poleg glavne negativne anomalije značilne tudi sekundarne anomalije. Od njih je najbolj izrazita pa tudi največja negativna ogljikova anomalija 30 m nad predpostavljeno P/T mejo (horizont H-4). Iz slike 1 je razvidno, da krivulja med horizontom H-3 in H-4 kaže drastičen padec vrednosti $\delta^{13}\text{C}$ od $-1,4\text{‰}$ do $-8,67\text{‰}$ in na 50 m doseže vrednost $-10,35\text{‰}$. Omenjena sekundarna anomalija je bila najdena tudi v profilu Idrijca (M. DOLENEC, 2004; T. DOLENEC and RAMOVŠ, 1998) in v profilu Brsnina (DOLENEC M. et al., neobjavljeno). V profilu Idrijca se omenjena sekundarna negativna ogljikova anomalija pojavi 15 m in 20,7 m nad mejo v profilu Brsnina pa 30 m na P/T mejo. Nad horizontom H-4 sledi nato obogatitev s težkim ogljikovim izotopom. Vrednosti naraščajo od $-2,54\text{‰}$ na začetku horizonta H-5 do $+4,68\text{‰}$ na 83 m v horizontu H-6. Srednja vrednost horizontov H-5 in H-6 je $\delta^{13}\text{C}_{\text{Mean}} = -0,43\text{‰}$. Izotopska sestava ogljika v oolitnih apnencih horizonta H-7 je dokaj konstantna. Vrednosti $\delta^{13}\text{C}$ se gibljejo od $-0,8\text{‰}$ do $+2,05\text{‰}$ s srednjo vrednostjo $\delta^{13}\text{C}_{\text{Mean}} = +0,25\text{‰}$.

RAZPRAVA IN PRIMERJAVE

Tektonika

Razmeroma plitvi sedimentacijski prostor, v katerem so nastajali spodnjeperski karbonatni sedimenti, se je pričel proti koncu spodnjega perma v času saalskih premikanj

dvigati, tako da so bili nekateri predeli južne Slovenije to je Kočevske, Bele Krajine in Gorskega Kotarja v srednjem in zgornjem permu kopno (DOZET, 1989). Na tem ozemlju v tem času ni bilo pomembnejšega gubanja. Pri počasnem dviganju je nastalo sorazmerno ravno kopno, zgrajeno iz glinenih sedimentov z vložki peščenjakov in konglomeratov. To kopno je bila posledica delovanja zadnjih sunkov ugašajoče hercinske orogeneze. Dviganje omenjenega ozemlja je spremljala prelomna tektonika, v Gorskem Kotarju (SAVIĆ and DOZET, 1985) pa tudi šibka magmatska aktivnost. Na kopno med srednjim permom in triasom sklepamo tudi po stratigrafski vrzeli; skitske plasti leže namreč diskordantno na spodnjeperskih. Na tektonsko-erozijski značaj te meje in na kopno kaže tudi okoli 20 cm debela limonitna skorja precejšnje razsežnosti v Gorskem Kotarju (SAVIĆ, et al., 1982) na meji med mlajšimi paleozojskimi in triasnimi sedimenti, ki predstavlja produkt razkrojevanja v izrazito oksidacijskih pogojih. Dviganje obravnavanega ozemlja, ki se je pričelo že na meji med spodnjim in srednjim permom v času saalske faze, se je neprekinjeno nadaljevalo v pfalsko fazo, s katero se je v Alpah končal hercinski tektogenetski cikel. Le-ta se je na ozemlju Kočevske, Bele Krajine in Gorskega Kotarja kazal v obliki šibkih, počasnih pozitivnih epirogenetskih premikanj. Po PREMURJU (1974) je nanj vezana močna srednjetriasna transgresija. Hercinski orogenezi je na območju Zunanjih Dinaridov sledilo splošno pogrezanje, temu pa transgresija spodnjetriasnega morja. V pogojih bolj ali manj plitvega morja in visokega oksidacijskega potenciala je na Slovenski karbonatni platformi nastajala pretežno karbonatna sedimentacija z občasnimi donosi večjega ali manjše količine terigenega materiala s kopnega.

Stratigrafija in sedimentologija

Stratimetrijske in sedimentološke raziskave so pokazale, da leže zgornjepermske plasti na jugovzhodnem obrobju Ljubljanske kotline konkordnatno in brez prekinitve sedimentacije pod skitskimi bazalnimi temnimi apnenci. Sestavljene so iz različnih dolomitov, dolomitnih apnenecv, apnenecv in laporovcev. Slednji so močno podrejeni. Izmerjena debelina zgornjepermskega litoškega stolpca je okoli 20 m, pri tem pa je treba poudariti, da v tem profilu niso ohranjeni sedimenti spodnjega dela zgornjepermskih kamnin. Po litoški sestavi in stratigrafski legi lahko primerjamo opisane zgonjepermske sklade s podobnimi razvoji teh plasti v profilih Planica pri Čepuljah in Križna gora z območja Škofjeloškega hribovja (DEMŠAR and DOZET, 2002). Člen ploščastega dolomita v profilu na jugovzhodnem obrobju Ljubljanskega Barja ustreza četrtemu členu zgornjepermskih plasti v profilu Planica pri Čepuljah, kjer prevladuje apnenčev dolomit. Če primerjamo izbrani profil Skopačnik s profilom zgornjepermskih plasti Križna gora, bi dolomikritni člen našega profila ustrezal prvemu členu to je dolomitiziranemu apnencu z algo *Vermiporella nipponica* Endo Križne gore. Člen dolomitnega apnenca Skopačnika bi odgovarjal drugemu členu t.j. apnenčevemu dolomitu z vrsto *Vermiporella nipponica* Endo Križne gore, plastnati sparitni dolomit Skopačnika pa tretjemu členu t.j. plastnatemu dolomitu Križne gore, ki se konča s 4 m debelim horizontom plastnatega apnenca in apnenčevega dolomita z algo *Vermiporella nipponica* Endo in redkimi preseki korale *Waagenophyllum indicum* Waagen et Wenzel.

Po facijalnih značilnostih opisanega sedi-

mentnega zaporedja lahko primerjamo izbrani profil tudi z žažarskim razvojem (RAMOVŠ, 1958b), natančneje s tretjo apnenčevo dolomitno serijo s tremi horizonti tega razvoja, kjer je spodaj dolomitno apnenčev horizont z apnenčevimi algami, redkimi ostanki krinoidov in s koralo *Waagenophyllum* sp. Nad njim leže luknjičavi dolomitizirani apnenci, apnenčevi dolomiti in pasnati apnenčevi dolomiti, vsi brez fosilnih ostankov, najmlajši zgornji perm pa sestavljajo dolomiti, tudi brez fosilnih ostankov.

Če primerjamo skitski del raziskanega profila na jugovzhodnem obrobju Ljubljanskega Barja s klasičnim razvojem teh plasti v Južnotirolskih vzhodnih Dolomitih lahko rečemo, da oolitni horizont v našem profilu ni razvit, oziroma da je kvečjemu zelo neizrazit in da morda obsega najzgornejši del zgornjepermskega temnega ploščastega dolomita in najspodnjejši del spodnjeskitskega temnega plastnatega apnenca. Njegova debelina ne presega nekaj metrov. Enoto temnega apnenca, dolomitnega apnenca in apnenčevega laporovca primerjamo z enoto Mazzin v Vzhodnih Tirolskih Dolomitih, horizontu Andraz pa najverjetneje pripadata obe naslednji enoti našega profila, to je temni plastnati sparitni dolomit in na njem konkordnatno ležeči svetli plastnati stromatolitni dolomit. Sajski člen je na obravnavanem območju sestavljen iz pisanih peščenih dolomitov, peščenih dolomitnih laporovcev, lapornih peščenjakov in peščenih lapornih glinavcev, leži pa konkordnantno pod gastropodnimi oolitom, ki vsebuje številne polžke vrste *Halopella gracilior*.

Izotopska sestava kisika

Podatki o izotopski sestavi kisika (slika 1) v profilu Skopačnik kažejo, da so karbonati na prehodu iz perma v trias - horizonta H-1 in H-2, obogateni z lahkim kisikovim izotopom. Obogatitev znaša okrog 2,5 ‰ in je lahko posledica izmenjave z izotopsko lažjo porno vodo pri postsedimentacijskih procesih. Ti so delno zabrisali prvotno izotopsko sestavo v kamnini značilno za morske karbonate, medtem ko se izotopska sestava ogljika ni spremenila (T. DOLENEC and RAMOVŠ, 1998). Izotopska sestava kisika v recentnem morskem karbonatu je okrog 0 ‰ (FAURE, 1977), apnenci nad P/T mejo v horizontu H-2 pa imajo vrednosti okrog - 2,8 ‰. V primerjavi z spodnjeskitskimi apnenci so dolomiti iz vrhnjega dela zgornjepermskih plasti horizonta H-1 manj spremenjeni, kar je lahko posledica večje odpornosti proti izotopski izmenjavi z izotopsko lažjo porno vodo (FAURE, 1977) ali pa dejstva, da so nastali v evaporitnem okolju, v katerem je morska voda obogatena zaradi efekta evaporacije s težkim kisikovim izotopom. Zato imajo dolomiti iz teh okolij višje $\delta^{18}\text{O}$ vrednosti kot morski apnenci. Manjše vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ iz profila Skopačnik v horizontu H-4 in horizontu H-7 si lahko razložimo kot posledico kasnejših diagenetskih procesov ali dotoka sladke vode v evaporitno okolje v času njihovega nastajanja, pa tudi manjše evaporacije (BRAND and VEIZER, 1981; M. DOLENEC, 2004; MAGARITZ and HOLSER, 1991). Kljub temu lahko iz poteka krivule $\delta^{18}\text{O}$ sklepamo na negativni trend parametra $\delta^{18}\text{O}$ v zgornjem permu in na prehodu iz perma v trias. Ta lahko nakazuje klimatske spremembe in sicer toplejšo klimo v spodnjem skitu v primerjavi z zgornjim permom in nenadno povečanje temperature na samem prehodu iz perma v trias.

Izotopska sestava ogljika

Variabilnost izotopske sestave ogljika (slika 1) v karbonatih je predmet večine člankov, ki obravnavajo ne samo P/T mejo ampak tudi spremembe v ogljikovem ciklusu v drugih časovnih obdobjih (ERWIN, 1993 in referen-ce v knjigi). Rezultati dosedanjih raziskav na profilu Idrija (T. DOLENEC and RAMOVŠ, 1998) in raziskav variabilnosti izotopske sestave ogljika v karbonatih od zgornjega karbona do spodnjega triasa (M. DOLENEC, et al., 2003) kažejo, da so zgornjepermski karbonati močno obogateni s težkim ogljikovim izotopom, kar je globalni fenomen. Podobne vrednosti v razponu od 3 ‰ do 4 ‰ namreč navajajo za zgornjepermske karbonate v zahodni Tetidi pa tudi drugod po svetu, številni raziskovalci P/T meje (BAUD, et al., 1989; HEYDARI, et al., 2000; HOLSER and MAGARITZ, 1985; HOLSER, et al., 1989; KRULL, et al., 2004; MAGARITZ, et al., 1988; MAGARITZ and HOLSER, 1991; MUSASHI, et al., 2001; SHAO, et al., 2000).

Potek krivilje $\delta^{13}\text{C}$ nakazuje drastične spremembe v ogljikovem ciklusu na prehodu iz perma v trias. Globalno ogljikovo anomalijo na meji P/T med horizontom H-1 in H-2 si lahko razložimo s teorijo o nenadnem fluk-su ogljikovodikov predvsem metana iz morskih sedimentov v atmosfero. Ta teorija v zadnjem času vse bolj pridobiva na veljavi. Prva raz-sikovalca, ki sta predpostavila, da so tako drastične spremembe v ogljikovem ciklusu na prehodu iz perma v trias lahko posledica nenadnega fluksa metana v atmosfero sta bila KVENVOLDEN (1988) in ERVIN (1993). Izotop-ska sestava ogljika v recentnih ogljikovodi-kih je okrog - 65 ‰ (DICKENS, et al., 1997). Zaradi povečane temperature lahko pride do oksidacije ogljikovodikov v morskem okolju

ali v atmosferi. Pri tem nastane CO_2 , ki je močno obogaten z lahkim ogljikovim izotopom. Ta vpliva na izotopsko sestavo CO_2 tako v morski vodi kot v zračnem CO_2 (KATZ, et al., 1999). BERNER (2002) smatra da lahko nenaden fluks metana iz morskih sedimentov povzroči nenaden padec $\delta^{13}\text{C}$ vrednosti v morskem okolju za 7 do 8 ‰. Glede na podatke iz profila Skopačnik predpostavljamo da drastičen padec vsebnosti $\delta^{13}\text{C}$ za 6,78 ‰ v karbonatih med horizontom H-1 in H-2 predstavlja P/T mejo, ki je podobno kot v Idrijci (M. DOLENEC, 2004) tudi tu vezana za plast gline (PTB – plast). Neneaden drastični padec vrednosti $\delta^{13}\text{C}$ je značilen tudi za P/T mejo drugod v Tetidi (BAUD, et al., 1989), pa tudi na Kitajskem (SHAO, et al., 2000; XU and ZHENG, 1993) in Japonskem (MUSASHI, et al., 2001). Poleg globalne negativne ogljikove anomalije na sami meji je pomembna tudi sekundarna ogljikova anomalija med horizontom H-3 in H-4 30 m nad P/T mejo, ki pa zaenkrat še ni zadovoljivo pojasnjena. Gre za drugo močno negativno anomalijo, opaženo tudi v profilu Idrijca 15 in 20,7 m nad mejo (M. DOLENEC, 2004; T. DOLENEC and RAMOVŠ, 1998) in profilu Brsnina 30 m nad mejo (M. DOLENEC, neobjavljeno). Lahko si jo razložimo kot posledico pospešenega razkroja organskih komponent pri postdesimentacijskih procesih. Pri njihovem razpadu se sprošča CO_2 s podobno izotopsko sestavo ogljika, kot je sestava te prvine v rastlinah (CERLING, et al., 1989). Ta CO_2 je lahko znižal $\delta^{13}\text{C}$ vrednosti v stromatolitnih dolomitih horizonta H-4.

SKLEPI

Za začetek študija problematike zgornjepermskih skladov južne Slovenije je na jugovzhodnem obrobju Ljubljanskega Barja izbran profil, ki v geotektonskem oziru pripada enoti Dolenjsko-Notranjskih mezozojskih grud natančneje tektonski enoti Krimsko-Mokrškega hribovja (BUSER, 1974).

V zgornji perm je uvrščen najspodnjejši del skladovnice karbonatnih kamin (temni dolomikrit z vložki dolomitnega laporovca in lapornega glinavca), ki leži konkordantno in brez znakov prekinitve sedimentacije pod pisanimi skitskimi sedimenti.

V zgornjepermskem litološkem stolpcu močno prevladujejo karbonatne kamnine (dolomit, dolomitni laporovec), ki so nastajale na območju supralitorala in v mirnem okolju zatišnega plitvega šelfa oziroma v plitvi laguni.

Na podlagi izotopske analize lahko sklepamo, da poteka meja med permskimi in triasnimi (skitskimi) sedimenti na meji med najspodnjejšim ploščastim dolomitom in paketom temnega apnenca, dolomitnega apnenca in apnenčevega laporovca. Za točno določitev meje bi bile potrebne tudi podrobne paleontološke in geokemične analize. Dvajset metrov debelemu zgornjepermskemu zaporedju karbonatnih kamin na jugovzhodnem obrobju Ljubljanskega Barja pripada le najstarejša litostratigrafska enota temnega dolomita z vložki dolomitnega laporovca in lapornega glinavca, skitski seriji pa pripadajo enota temnega apnenca, dolomitnega apnenca ter apnenčevega laporovca, enota temnega plastnatega sparitnega dolomita, sajske plasti ter enota oolitnih apnenecv.

Acknowledgements

The authors are much obliged to the Ministry of High Education, Science and Technology as well as to the Geological Survey of Slovenia and Faculty of Natural Sciences and Technics – Geology Department – University of Ljubljana for financial support of their research work in the field and laboratory.

SUMMARY

Permo-Triassic Boundary and Upper Permian as well as Lower Scythian Beds on the Southeastern Borderland of the Ljubljana Marsh, Central Slovenia

The scope of this paper is to report on definition of the Permo-Triassic boundary in the Dolenjsko district with stratigraphical and isotopic methods, to describe lithological units developed at this boundary and to correlate them with the classic development in the Eastern Tyrol Dolomites. For the beginning of solving of these problematics the cross-section Skopačnik on the southeastern borderland of the Ljubljana Marsh has been chosen where the topmost Upper Permian as well as the lower and middle part of the Scythian carbonate-clastic sedimentary succession is exposed.

From the geographical point of view the considered area belongs to the southern borderland of the Ljubljana Marsh, paleogeographically to the Slovenian Carbonate Platform and geotectonically to the Dolenjsko-Notranjsko Mesozoics Blocks (Buser, 1974), more precisely to the Krim-Mokrc Mountains tectonical unit (BUSER, 1974).

In the Skopačnik sedimentary sequence the following lithostratigraphic units has been found: 1) dark platy dolomite, dolomitic marlstone and marly claystone, 2) – dark bedded limestone, dolomitic limestone, limy marlstone, 3) – dark bedded sparitic dolomite, 4) – light bedded stromatolitic dolomite, 5) – Seis Beds and 6) – Gastropod Oolite.

In the Skopačnik cross-section on the southeastern borderland of the Ljubljana Marsh the boundary between the Permian and Triassic system has been established by isotope method. It is placed into the point between the first and second lithostratigraphic horizon of the Skopačnik sedimentary succession, i.e. between the dark platy dolomite (Upper Permian – H-1) and the overlying dark bedded limestone (H-2), representing, accordingly, the basal lithostratigraphic unit of the Scythian stratigraphic sequence in this part of Slovenia. For more precise determination of the P/T boundary the further paleontological and geochemical analyses are required.

Lithological composition as well as textural, structural, mineralogical and chemical characteristics of the researched sedimentary succession showed, that in the Upper Permian and Lower Scythian, sedimentation of a shallow restricted shelf, a shallow lagoon respectively, has been prevailed.

The dark limestone was formed in a shallow restricted shelf, a shallow lagoon respectively. Evaporation of the lagoon was strong. Therefore the limestone is, as a rule, more or less dolomitic. The strong evaporation caused greater salinity of the sea and bad life-conditions especially for bigger organisms; for that reason the dark Upper Permian and Lower Scythian sediments on the southern

borderland of the Ljubljana Marsh are poor in macrofossils. To the bad preservation of fossils contributed very much an early and late dolomitization as well. Periodical opening of the lagoon agitated its water what was favorable for growth of algae and very small foraminifers as well as for formation of ooids and oolitic beds. Accordingly, to the Upper Permian belongs only the first (the oldest) lithostratigraphic unit; other four units belong to the Lower Scythian. The Upper Permian beds can be compared with pretty similar developments of these beds; in the cross-sections Planica at Čepulje and Križna gora from the Škofja Loka Mountains area (DEMŠAR and DOZET, 2002) as well as with the Žažar development (RAMOVŠ, 1956) more precisely with the third limestone-dolomite series with three horizons of this development.

If we compare the Scythian part of the researched cross-section on the southeastern borderland of the Ljubljana Marsh at

Skopačnik with the classic development of these beds in the Southern Tyrol Dolomites, it can be said, that the oolite horizon in our cross section is not developed, at the most, it is very unexpressive comprising probably the topmost part of the Upper Permian dark platy dolomite and the lowermost part of the Lower Scythian dark bedded micritic limestone. Moreover, its thickness do not exceed some metres. The unit of the dark limestone, dolomitic limestone and limy marlstone is compared with the Mazzin unit in the Eastern Tyrol Dolomites, and to the horizon Andraz belong most probably the next two units of our cross-section, i.e. dark bedded sparitic dolomite and the concordantly overlying light bedded stromatolitic dolomite. The Seis Member is in the considered region composed of variegated sandy dolomites, sandy dolomitic marlstones, marly sandstones and sandy marly claystones lying concordantly under the Gastropod Oolite, which contain numerous gastropods of the species *Hallopella gracilior*.

LITERATURA

- BAUD, A., MAGARITZ, M. & HOLSER, W. T. (1989). Permian-Triassic of the Tethys: Carbon isotope studies. *Geol. Rdsch.*, 642-677.
- BERNER, R. A. (2002). Examination of hypotheses for the Permo-Triassic boundary extinction by carbon cycle modeling. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99, 4172-4177.
- BRAND, U. & VEIZER, J. (1981). Chemical diagenesis of a multicomponent carbonate system - 2: stable isotopes. *J. Sediment. Petrol.* 51, 987-997.
- BUSER, S. (1962). Geološke razmere na listu Ig-Ribnica 52-25/1, 40.
- BUSER, S. (1969). List Ribnica, *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000*.
- BUSER, S. (1974). Triasne plasti na listu Ribnica, 1. faza., *Mezozoik v Sloveniji*, 70.
- BUSER, S. (1976). Tolmač lista Ribnica, *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000*, 60.
- BUSER, S., GRAD, K., OGORELEC, B., RAMOVŠ, A. & ŠRIBAR, L. (1986). Stratigraphical, paleontological and sedimentological characteristics of Upper Permian beds in Slovenia, NW Yugoslavia. *Mem. Soc. Geol. It.* 34, 195-210.
- CERLING, T. E., QUADE, J., YANG, W. & BOWMAN, J. R. (1989). Carbon isotopes in soils and palaeosoils as ecology and palaeoecology indicators. *Nature* 341, 138-139.
- DEMŠAR, M. & DOZET, S. (2002). Nekaj razvojev zgornjepermskih plasti zahodno od Škofje Loke. *Geologija* 54, 189-200.
- DICKENS, G. R., CASTILLO, M. M. & WALKER, J. C. G. (1997). Direct measurement of in situ methane quantities in a large gas-hydrate reservoir. *Nature* 385, 426-428.

- DOLENEC, M. (2004). Permsko-triasna meja v Karavankah in zahodni Sloveniji: sedimentološki, izotopski in geokemični vidiki globalnih sprememb v zahodni Tetidi, *Oddelek za geologijo, Doktorska disertacija*, 110.
- DOLENEC, M. & OGORELEC, B. (2001). Organic carbon isotope variability across the P/Tr boundary in the Idrijca Valley section (Slovenia : a high resolution study = Variabilnost izotopske sestave organskega ogljika na permsko-triasni meji v dolini Idrijce : detajlna študija. *Geologija* 44, 331-340.
- DOLENEC, M., OGORELEC, B. & LOJEN, S. (2003). Upper carboniferous to lower triassic carbon isotopic signature in carbonate rocks of the Western Tethys (Slovenia). *Geologica Carpathica* 54, 217-228.
- DOLENEC, T., BUSER, S. & DOLENEC, M. (1998). The Permian - Triassic boundary in the Karavanke Mountains (Slovenia) : stable isotope variations in the boundary carbonate rocks of the Košutnik Creek and Brsnina section = Permsko - triasna meja v Karavankah : variabilnost izotopske sestave v karbonatnih kamninah Košutnikovega potoka in Brsnine. *Geologija* 41, 17-27.
- DOLENEC, T., LOJEN, S., BUSER, S. & DOLENEC, M. (1999). Stable isotope event markers near the Permo-Triassic boundary in the Karavanke Mountains (Slovenia). *Geologia Croatica* 52, 77-81.
- DOLENEC, T., LOJEN, S. & DOLENEC, M. (2000). The Permian - Triassic boundary in the Idrijca valley (western Slovenia) : isotopic fractionation between carbonate and organic carbon at the P / Tr transition = Permsko - triasna meja v dolini Idrijce (zahodna Slovenija) : izotopska frakcionacija med karbonatnim in organskim ogljikom na prehodu iz perma v trias. *Geologija* 42, 165-170.
- DOLENEC, T., LOJEN, S. & RAMOVŠ, A. (2001). The Permian-Triassic boundary in Western Slovenia (Idrijca Valley section) : magnetostratigraphy, stable isotopes, and elemental variations. *Chemical Geology* 175, 175-190.
- DOLENEC, T., OGORELEC, B., DOLENEC, M. & LOJEN, S. (2004). Carbon isotope variability and sedimentology of the Upper Permian carbonate rocks and changes across the Permian-Triassic boundary in the Masore section (Western Slovenia). *Facies* 50, 287-299.
- DOLENEC, T. & RAMOVŠ, A. (1998). Isotopic changes at the Permian-Triassic boundary in the Idrijca Valley (W. Slovenia). *RMZ - Materials and Geoenvironment* 45, 405-411.
- DOZET, S. (1989). Tektonska premikanja na Kočevskem v mlajšem paleozoiku in mezozoiku (južna Slovenija). *Rud.-metal. zb.* 36, 663-673.
- DUNHAM, R. J. (1962). Classification of Carbonate rocks according to depositional texture, V: HAM, W. E. (Ed.) *Classification of carbonate rocks, a symposium*, Am. Assoc. Petrol. Geol. Memoir, pp. 108-122 (Tulsa).
- ERWIN, D. H. (1993). The great Paleozoic crisis: Life and death in the Permian. *Columbia University Press*, 327.
- FAURE, G. (1977). *Principles of Isotope Geology*. (John Wiley & Sons), pp. 464.
- FOLK, R. (1959). Practical petrographic classification of limestones. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.* 43, 2-38.
- GERMOVŠEK, C. (1955). Poročilo o kartiranju jugovzhodnega obrobja Ljubljanskega barja. *Geologija* 3, 235-239.
- GERMOVŠEK, C. (1956). Razvoj mezozoika v Sloveniji, Paper presented at the *Prvi jugoslovanski geološki kongres*.
- HERITSCH, F. (1939). Karbon un Perm in den Sudalpen und Sudost Europa. *Geol. Rdsch.* 30, 528-588.
- HEYDARI, E., HASSANZADEH, J. & WADE, W. J. (2000). Geochemistry of central Tethyan Upper Permian and Lower Triassic strata, Abadeh region, Iran. *Sedimentary Geology* 137, 85-99.
- HOLSER, W. T. & MAGARITZ, M. (1985). The Late Permian carbon isotope anomaly in the Bellerophon basin, Carnic and Dolomite Alps. *Jb. Geol. B.* 128, 75-82.
- HOLSER, W. T., SCHÖNLAUB, H. P., BOECKELMANN, K. et al. (1989). A uniyue geochemical record at the Permian/Triassic boundary. *Nature* 37, 39-44.
- KATZ, M. E., PAK, D. K., DICKENS, G. R. & MILLER, K. G. (1999). The source and fate of masive carbon input during the latest Paleocene thermal maximum. *Science* 286, 1531-1533.
- KOSSMAT, F. (1913). Die adriatische Umrandung in den alpinen Faltenregion. *Mitt. Geol. Ges.*, 61-65.
- KRULL, E. S., LEHRMANN, D. J., DRUKE, D. et al. (2004). Stable carbon isotope stratigraphy across the Permian-Triassic boundary in shallow marine carbonate platforms, Nanpanjiang Basin, south China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 204, 297-315.

- KVENVOLDEN, K. A. (1988). Methane hydrates and global climate, V: McCARTHY, J. J. (Ed.) *Spacial section on Methane Biogeochemistry. Global Biogeochem. Cycles* 221-229.
- MAGARITZ, M., BAR, R., BAUD, A. & HOLSER, W. T. (1988). The carbon-isotope shift at the Permian-Triassic boundary in the Southern Alps is gradual. *Nature* 331, 337-339.
- MAGARITZ, M. & HOLSER, W. T. (1991). The Permian-Triassic of the Gartnerkofel-1 Core (Carnic Alps, Austria): Carbon and Oxygen Isotope Variation. *Abh. Geol. Bundesanst.* 45, 149-163.
- MCCREA, J. (1950). The isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. *Jour. Chem. Phys.* 18, 849 - 857.
- MUSASHI, M., ISOZAKI, Y., KOIKE, T. & KREULEN, R. (2001). Stable carbon isotope signature in mid-Panthalassa shallow-water carbonates across the Permo-Triassic boundary: evidence for ^{13}C -depleted superocean. *Earth and Planetary Science Letters* 191, 9-20.
- MUŠIČ, B. (1992). Zgornjepermske in spodnjetriasne kamnine pri Skopačniku v Želimeljski dolini. *Rud.-metal. zb.* 39, 241-259.
- OGORELEC, B. & GRAD, K. (1986). Zgornjepermske, skitske in anizične kamenine na Žirovskem ozemlju, Paper presented at the *Peti skup sedim. Jugosl. Brioni. Abstracts.*, Brioni.
- PREMRU, U. (1974). Triasni skladi v zgradbi osrednjega dela Posavskih gub. *Geologija* 17, 262-297.
- RAMOVŠ, A. (1956). Razvoj paleozoika na Slovenskem, Paper presented at the *Prvi jugosl. geol. kongres*, Ljubljana.
- RAMOVŠ, A. (1958a). Die Entwicklung des Oberperms im Bergland von Škofja Loka und Polhov Gradec. *Razprave SAZU* 4, 455-462.
- RAMOVŠ, A. (1958b). O faciesih v zgornjem wordu in zgornjem permu v Sloveniji. *Geologija* 4, 188-192.
- RAMOVŠ, A. (1982). The Permian-Triassic boundary in Yugoslavia. *Rud.-metal. zb.* 29, 29-31.
- RAMOVŠ, A. (1989). Razvoj skitskih plasti (spodnji trias) v severnih Julijskih Alpah. *Rud.-metal. zb.* 36, 623-636.
- SAVIČ, D. & DOZET, S. (1985). Tumač za list Delnice, *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000*, 62.
- SAVIČ, D., DOZET, S. & SARKOTIČ, M. (1982). Odnos permskih i gornjotriaskih naslaga na področju Gorskega Kotara, Paper presented at the *Zbornik radova 10. jub. kongr. geol. Jugosl.*, Budva.
- SHAO, L., ZHANG, P., DOU, J. & SHEN, S. (2000). Carbon isotope compositions of the Late Permian carbonate rocks in southern China: their variations between the Wujiaping and Changxing formations. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 161, 179-192.
- ŠLEBINGER, C. (1953). Obvestilo o kartiranju listov Cerknica 1 in 2. *Geologija* 1.
- XU, D. Y. & ZHENG, Y. (1993). Carbon isotope and iridium event markers near the Permian/Triassic boundary in the Meishan section, Zhejiang Province, China. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* 104, 171-176.