Facijesna i kemostratigrafska definicija granice perm-trijas na Velebitu

Jazvac, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:777245

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geologije

FACIJESNA I KEMOSTRATIGRAFSKA DEFINICIJA GRANICE PERM-TRIJAS NA VELEBITU

Diplomski rad

Ivan Jazvac

G 250

Zagreb, 2017.

Od srca se zahvaljujem mentorici, prof. dr. sc. Dunji Aljinović, na strpljenju, pomoći i vodstvu pri izradi ovog diplomskog rada, brojnim savjetima te što je uvijek imala vremena i strpljenja za moje upite.

Zahvaljujem se i višem asistentu dr. sc. Duji Smirčiću na pomoći pri terenskom radu, konstruktivnim savjetima i ustupljenoj literaturi.

Na kraju zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na ukazanom razumijevanju i podršci kroz sve ove godine studiranja.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

FACIJESNA I KEMOSTRATIGRAFSKA DEFINICIJA GRANICE PERM-TRIJAS NA VELEBITU

IVAN JAZVAC

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Sažetak

Ovim radom prikazane su facijesne i kemostratigrafske karakteristike naslaga gornjega perma i donjega trijasa na području Brušana (planina Velebit). Istraživani slijed predstavlja kontinuiranu karbonatnu sedimentaciju na prijelazu iz paleozoika u mezozoik, a moguće ga je pratiti profilom Brušane Sy smještenom u zasjeku šumske ceste južno od Brušana. Na temelju mikropetrografskih karakteristika spomenutog profila utvrđeni su okoliši taloženja ovih, u potpunosti dolomitiziranih stijena. Određena je sedimentacija na karbonatnoj platformi, u relativno plitkome okolišu, a karakterizira je obilje mikritnih taloga, prisustvo mikrobijalnih (cijanobakterijskih) proslojaka, povremeno sačuvano obilje mikrofosila te taloženje u subtajdalnoj, tajdalnoj i supratajdalnoj zoni. Gornjopermska starost naslaga potvrđena je foraminiferama, a osim njih slijed je bogat fosilnim ostacima vapnenačkih zelenih algi i njihovih spora, gastropoda te ostrakoda. Utvrđeno je izronjavanje primarnih taloga u zonu intertajdala/supratajdala usred povremenih oscilacija morske razine, što je ujedno rezultiralo i pretaloživanjem djelomično litificiranog sedimenta iz ovih zona u zonu subtajdala. Posljedica izronjavanja karbonatnih taloga je i intenzivna dijageneza u vadoznoj zoni. Rezultati izotopne analize ugljika i kisika uspoređeni su s vrijednostima karakterističnim za ovo razdoblje. Izostanak negativnog otklona u sastavu ugljikovih izotopa na P/T granici objašnjen je kao utjecaj vadozne dijageneze na primarni izotopni signal pri čemu ni promjene uzrokovane procesom dolomitizacije nisu isključene.

Ključne riječi: Brušane, granica perm-trijas, mikropetrografska analiza, analiza stabilnih izotopa

Diplomski rad sadrži: 57 stranica, 2 tablice, 18 slika, 2 priloga i 28 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Prof. dr. sc. Dunja Aljinović

Pomoć pri izradi: Dr. sc. Duje Smirčić

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Dunja Aljinović
Doc. dr. sc. Uroš Barudžija
Prof. dr. sc. Goran Durn

Datum obrane: 19. prosinac 2017.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

FACIES AND CHEMOSTRATIGRAPHIC DEFINITION OF THE P/T BOUNDARY OF Mts. VELEBIT

IVAN JAZVAC

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Institute of Mineralogy, Petrology and Mineral Deposits
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Abstract

Facies and chemostratigraphic characteristic of the transitional Permian and Triassic interval were differentiated by investigating dolomites near the village Brušane (Velebit Mts.) along the road-cut south from Brušane village. Investigated section "Brušane Sy" represents a continuous deposition of carbonates at the P/T boundary interval. All deposits in the vertical column are determined as dolostones. Related to their main micropetrographic features a deposition in a shallow part of carbonate platform was discerned – in subtidal, intertidal and supratidal zones. The sedimentation is characterized by the prevalence of micritic component, the presence of microbial (cyanobacterial) interlayers and fairly preserved fossils: foraminifers, green algae and their spores, gastropods and ostracods. The Upper Permian age of the lower part of the section "Brušane Sy" is confirmed by Permian foraminifers genera. Occasional emerging of the subtidal/intertidal deposits to supratidal condition occurred that has resulted partially with the desiccation and local resedimentation of desiccated lime-mud fragments to subtidal zone. A significant process related to the deposition in the supratidal zone was vadose diagenesis observed in many Permian dolostones. The periodic emergence of the platform was interpreted due to sea-level oscillation. The values of the $\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$ isotope content resulted in the isotope curve that was compared to the P/TB isotope curve from several world known P/TB localities. A composite isotope curve from Brušane ("Brušane Sy" and "Brušane 2" sections) is missing the extreme negative values pointing to an exact position of P/TB. This can be interpreted as a consequence of the vadose diagenesis observed along almost entire "Brušane Sy" section.

Keywords: Brušane, Permo-Triassic boundary, micropetrographic analysis, stable isotope analysis

Thesis contains: 57 pages, 2 tables, 18 figures, 2 enclosures and 28 references.
Original in: Croatian
Thesis deposited at: The Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Full Professor Dunja Aljinović, PhD
Assistance provided by: Duje Smirčić, PhD

Reviewers: Full Professor Dunja Aljinović, PhD
Assistant Professor Uroš Barudžija, PhD
Full Professor Goran Durn, PhD

Date of defense: December 19, 2017.

SADRŽAJ:

1. UVOD 1
2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ I SMJEŠTAJ ISTRAŽIVANOG PROFILA 2
3. METODE 4
4. GEOLOŠKI PARAMETRI I KARAKTERISTIKE STIJENA VEZANIH UZ GRANICU PERM-TRIJAS 5
4.1 Biostratigrafske značajke 6
4.2 Kemostratigrafske značajke 7
4.3 Litološke značajke 12
5. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA 14
5.1 Osnove geološke građe lista Gospić-104 15
5.2 Istraživanja vezana uz karakteristike stijena gornjega perma i P/T granicu 18
5.3 Pregled karakteristika određenih permotrijaskih sedimentnih slijedova iz svijeta 22
6. STABILNI IZOTOPI 26
7. REZULATI 31
7.1 Mikropetrografske karakteristike sedimentnog slijeda Brušane Sy 31
7.2 Rezultati analize stabilnih izotopa sljedova Brušane Sy i Brušane 2 41
7.3 Biostratigrafkse karakteristike slijeda Brušane Sy 44
8. DISKUSIJA 46
9. ZAKLJUČAK 51
10. LITERATURA 53
11. PRILOZI 56

POPIS SLIKA:

Slika 2.1: Geografska karta područja Brušana s istraživanim profilima Brušane Sy (žuto) i Brušane 2 (zeleno) (prema programu Google Earth 2017).....2

Slika 2.2: Shematska karta geotektonskog položaja Dinarida, Južnih Alpa i Karpata.....3

Slika 4.1: Pozicija Tethys oceana pred kraj perma. 1: Južne Alpe; 2: Planina Bükk; 3: Brušane; 4: Meishan; 5: Vedi (modificirano prema Scotese et al., 2002). 6

Slika 4.2: Usporedba profila stabilnih izotopa ugljika, u jednakom mjerilu, od južnih Alpa (lijevo) do Kine (desno) (preuzeto iz Baud et al., 1989).....9

Slika 4.3: Sinteza podataka analiza stabilnih izotopa ugljika za područje Tethysa u vremenu kasnog perma i ranog trijasa (prema Baud et al., 1989). Korišteni podaci predstavljaju izotopne krivulje, prema autorima, 6 najpoznatijih sedimentnih sekcija: Kuh-e-Ali Bashi (Julfa, Iran), Vedi (Armenija), Emarat (Iran), Nammal Gorge (Pakistan), Thakkhola (Nepal) i Shangsi (Kina). Za vremensko razdoblje perma puna linija predstavlja procjenu izotopnog sastava ugljika Tethysa, pri čemu je osjenčano područje interval nesigurnosti. Trijaski podaci predstavljaju samo srednje vrijednosti i standardne devijacije za pojedini stratigrafski interval i lokalitet (preuzeto iz Baud et al., 1989). 10

Slika 4.4: Prikaz generalnog trenda izotopa ugljika ($\delta^{13}C_{carb)}$ duž P/T granice, prema Korte & Kozur (2010), na osnovi podataka izotopnih analiza s lokaliteta Meishan, Guryul Ravine, Abadeh, Shahreza, Pufels/Bula/Bulla i Gartnerkofer jezgre. Brojevi 1 – 8 označavaju konodontne biozone (Preuzeto iz Korte & Kozur, 2010). 11

Slika 5.1: Geološka karta istraživanog područja (isječak iz Osnovne geološke karte mjerila 1:100 000 list Gospić-104, SOKAČ et al., 1967a) s označenim profilima Brušane Sy (žuto) i Brušane 2 (zeleno). Crvena linija predstavlja šumsku cestu. 14

Slika 5.2: Nova granica perm-trijas označena žutom linijom za područje Brušana prema Đukan (2016) (preuzeto iz Đukan, 2016) 21

Slika 5.3: Litološki stup i izotopna krivulja s $\delta^{13}C$ vrijednostima za stijene gornjega perma i donjega trijasa sedimentnog profila Vadi 2 (preuzeto iz Sahakyan et al., 2017).....25

Slika 6.1: Potencijal očuvanja primarnog izotopnog signala marinskih karbonata i njihovih komponenti (preuzeto iz Marshall, 1992).....29

Slika 7.1: Mikrofotografije uzoraka stijena slijeda Brušane Sy: A – Sy1a (izmjena mikrita i mikrosparita; dolomikrit/madston); B – Sy6a (šupljine otapanja, ga – gastropod; dolomikrit/madston); C – Sy7 (fo – foraminifere, os – ostrakodi; dolobiomikrit/vekston); D – Sy16b (dolomikrit/madston do laminirani fenestralni madston); E – Sy35 (dolobiomikrit/pekston); F – Sy37 (makrokristalasti dolomit) 34

Slika 7.2: Mikrofotografije uzoraka stijena slijeda Brušane Sy: A – Sy12 (fenestralna/stromataktis struktura; dolomikrit/madston do dolobaundston/biolitit); B – Sy11 („hardgound“ površina; dolomikrit/madston); C – Sy5 (izopahni cement oko intraklasta; dolobiomikrit/madston); D – Sy21 (bioturbacija; dolomikrit/madston); E – Sy16b (fragmentirana mikrobijalna kora; dolomikrit/madston do laminirani fenestralni madston); F – Sy27 (bioturbacija; doloalomikrit/madston).....35

Slika 7.3: Mikrofotografije uzoraka stijena slijeda Brušane Sy: A – Sy4 (mb - cijanobakterije; dolomikrit/madston do dolobaundston/biolitit); B – Sy31 (mb – cijanobakterije, al – vapnenačka alga; dolomikrit/madston do dolobaundston/biolitit); C – Sy1b (ga – gastropod, sp – spore algi; dolobiomikrit/vekston); D – Sy29 (fo - foraminifera; dolodismikrit/madston); E – Sy17a (fo – foraminifera, os – ostrakod, sp – spore algi; dolobiomikrit/vekston); F – Sy33 (mb – cijanobakterije, in - intraklasti; dolointramikrit/vekston).....36

Slika 7.4: Mikrofotografije uzoraka stijena slijeda Brušane Sy: A – Sy32 (fo – foraminifera; dolomikrit/madston); B – Sy28 (mb – cijanobakterije,; dolobiomikrit/vekston); C – Sy17b (pirit; dolomikrit/madston); D – Sy33 (fo – foraminifera, al – vapnenačka alga, sp – spore algi, in – intraklasti; dolobiomikrit/vekston); E – Sy7 (in – intraklasti, al – vapnenačka alga; dolobiomikrit/vekston); F – Sy11 (žuta strelica – smjer bioturbacije; dolomikrit/madston).....37

Slika 7.5: Geološki stup sedimentnog slijeda Brušane Sy.....39

Slika 7.6: Kondenzirani geološki stup slijeda Brušane Sy s analizom stabilnih izotopa.....40

Slika 7.7: Krivulje s trendovima $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ vrijednosti za sedimentne sljedove Brušane Sy i Brušane 2.....41

Slika 7.8: SEM fotografije konodonata prikupljenih iz slojeva Sy37 i Sy38 slijeda Brušane Sy (fotografije ustupio Dr. sc. Yanlong Chen).....45

POPIS TABLICA:

Tablica 6.1: Karakteristična fizikalna svojstva $H_2{}^{16}O$, $D_2{}^{16}O$ i $H_2{}^{18}O$ (preuzeto iz Hoefs, 2009). 27

Tablica 7.1: Pearsonov koeficijent korelacije za odabrane intervale i cjelokupni uzorak uz nivo značajnosti (P) od 0,03.....44

POPIS PRILOGA:

Prilog 1: Vrijednosti $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ za slijed Brušane Sy 56

Prilog 2: Vrijednosti $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ za slijed Brušane 2 57

1. UVOD

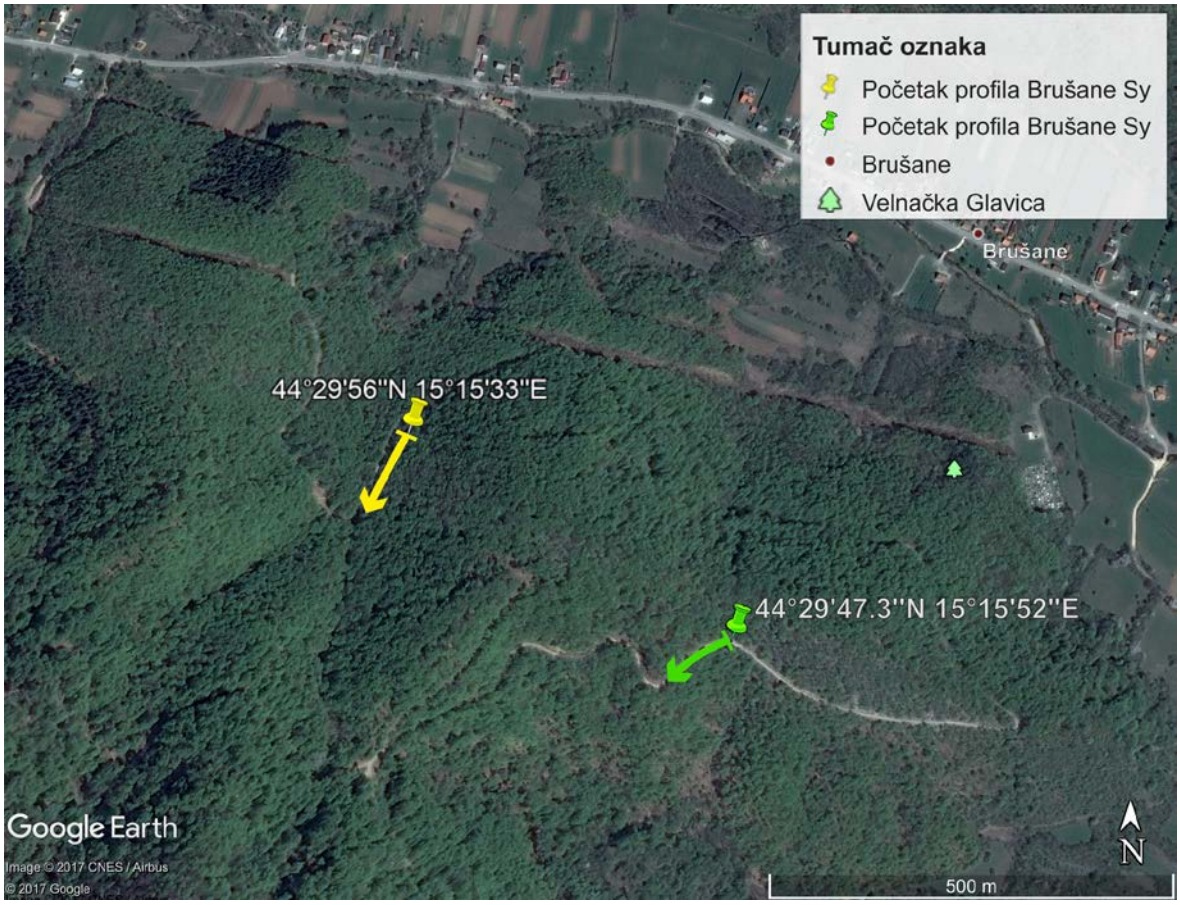
Lokalitet Brušane na Velebitu karakterističan je po karbonatnom razvoju u gornjem permu koji se, prema postojećim istraživanjima, kontinuirano nastavlja u donji trijas. U svijetu se stijenama taloženim na prijelazu iz paleozoika u mezozoik (P/T granica) pridodaje poseban značaj budući da u sebi sadrže informacije o uvjetima paleookoliša u vrijeme najvećeg izumiranja u Zemljinoj prošlosti. Ove informacije utkane su u kemijski sastav tada taloženih karbonatnih stijena, a mogu se proučavati i kroz njihove mikropetrografske karakteristike te kemizam morske vode vezan uz izotopni sastav ugljika i kisika ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$).

Područje Brušana višestruko je istraživano (Aljinović et al., 2003; Sremac, 2005; Jazvac 2015; Đukan 2016), a u ovome radu dan je prikaz mikropetrografskih karakteristika slijeda Brušane Sy te rezultata analize stabilnih izotopa ugljika i kisika za sljedove Brušane Sy i Brušane 2. Oba sedimentna slijeda praćena su profilima smještenim u zasjecima šumske ceste južno od središta Brušana. Prema utvrđenim mikropetrografskim svojstvima slijeda Brušane Sy izrađen je geološki stup. Rezultatima mikropetrografske analize prisutnih stijena u korelaciju su dovedeni i rezultati analize stabilnih izotopa. Na temelju $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ vrijednosti izotopa sljedova Brušane Sy i Brušane 2 konstruirane su krivulje izotopnog sastava karakteristične za ovo područje. Dobiveni izotopni signal doveden je, nadalje, u usporedbu sa signalima karakterističnim za stijene taložene na prijelazu ova dva eratema diljem svijeta čime su utvrđena odstupanja od očekivanih trendova.

Istraženi i opisani profili – sljedovi naslaga bili su provedeni u okviru bilateralnog projekta između Austrije i Hrvatske tijekom 2015. i 2016. godine kada su provedena sedimentološka, biostratigrafska i kemostratigrafska istraživanja na spomenutom području. Puni naziv provedenog projekta je: „Značajke sedimentacijskih okoliša na prijelazu perm-trijas u hrvatskim Dinaridima – primjer globalnog zatopljenja u oceanima i karika koja nedostaje pri kalibriranju događaja u zapadnome Tethysu“, a voditeljica hrvatske dionice projekta bila je prof. dr. sc. Dunja Aljinović. Rad je izrađen na Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta.

2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ I SMJEŠTAJ ISTRAŽIVANOG PROFILA

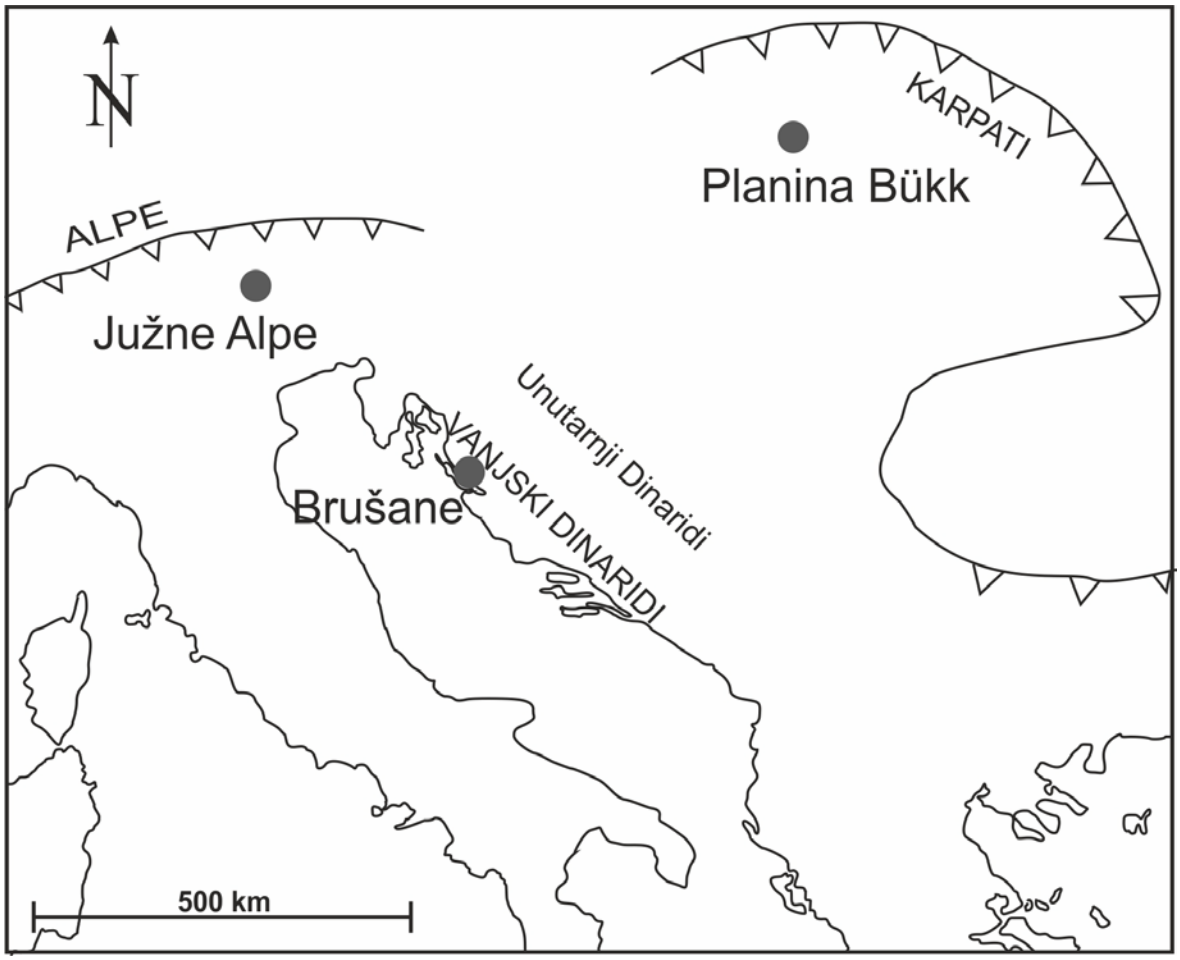
Istraživano područje nalazi se u Ličko-senjskoj županiji, točnije unutar katastarske općine Brušane – naselja u sastavu grada Gospića. Brušane su smještene na južnim obroncima središnjeg Velebita, a proučavani slijed naslaga moguće je pratiti duž zasjeka šumske ceste južno od državne prometnice koja povezuje gradove Gospić i Karlobag (**slika 2.1**).



Slika 2.1: *Geografska karta područja Brušana s istraživanim profilima Brušane Sy (žuto) i Brušane 2 (zeleno) (prema programu Google Earth 2017)*

Ovo područje dio je planine Velebit, koja, sa svojih 145 km, predstavlja najdužu planinu u Hrvatskoj. Širina planine varira između 10 i 30 km, a najviši vrh je Vaganski vrh s 1757 m, što ga po nadmorskoj visini čini četvrtim u Hrvatskoj. U regionalnom smislu Velebit je dio geotektonske jedinice Vanjskih Dinarida čije je pružanje duž istočne obale Jadrana. Dinaridi su

samo jedan od niza planinskih lanaca nastalih u okviru alpskog orogenetskog ciklusa te se u svom sjevernom dijelu nastavljaju na Južne Alpe (**slika 2.2**). Starost stijena istraživanog područja odgovara gornjem permu i donjem trijasu (npr. Sokač et al., 1967a), a ono je od posebnog geološkog interesa zbog utvrđene kontinuirane karbonatne sedimentacije na prijelazu između dva eratema (npr. Sokač et al., 1967b). Istraživani slijed naslaga, ima subvertikalan do vertikalan položaj slojeva. Ovakav strmi nagib slojeva omogućio je njihovo jednostavno praćenje duž zasjeka lokalne šumske ceste idući od starijih u mlađe stijene. Početak profila Brušane Sy vezan je uz geografske koordinate 44°29'56" SGŠ i 15°15'33" IGD, pri čemu je azimut oko 200°. Ukupna debljina obrađenog slijeda iznosi oko 73 m. Profil Brušane 2 smješten je jugoistočno od profila Brušane Sy. Njegov početak veže se uz koordinate 44°29'47.3" SGŠ i 15°15'52" IGD, a azimut mu je ~240°.



Slika 2.2: *Shematska karta geotektonskog položaja Dinarida, Južnih Alpa i Karpata*

3. METODE

Tijekom izrade diplomskoga rada primijenjene su terenske i laboratorijske metode istraživanja. Terenske metode obuhvaćale su detaljno istraživanje slijeda Brušane Sy u zasjeku lokalne šumske ceste južno od Brušana. Detaljno su istražene karakteristike slijeda Brušani Sy za koji se pretpostavljalo da odražava kontinuirani prijelaz iz perma u trijas, dakle P/T granicu. Mjerene su debljine slojeva, određena je litologija na terenu te su uzimani uzorci za daljnje mikropetrografske, konodontne i izotopne analize ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$). Sve zapažene karakteristike kao i pozicije uzoraka detaljno su bilježene u terenskom dnevniku. U ovom su radu prikazani i rezultati analize izotopa ($\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$) s profila u nešto mlađim naslagama trijasa koji se nalazi u nastavku šumske ceste kod Brušana kako bi se dobila što točnija izotopna krivulja.

Petrografske i mikropetrografske analize načinjene su u Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine. Za stijene perma, trijasa i same P/T granice određeni su mikrofacijesi koji su pokazatelji uvjeta sedimentacije. S obzirom na to da je već terenskim istraživanjima na profilu utvrđena prisutnost dolomita, pri determinaciji je bilo potrebno razlikovati stupanj dolomitizacije. Zbog toga su prilikom izrade mikropetrografskih preparata uzorci bojeni K-fericijanidom i Alizarinom crvenim S.

Pomoću polarizacijskog mikroskopa *Leica DMLSP* ukupno je analizirano 46 mikroskopskih preparata načinjenih od uzoraka sa slijeda Brušane Sy, pri čemu su ujedno, digitalnom kamerom *Leica DC100*, snimljene i mikrofotografije.

Zbog poprilične očuvanosti primarnih struktura pristupilo se determinaciji ovih dolomita prema klasifikacijama po Folku (1959, 1962) i Dunhamu (1962) na isti način kao da se radi o primarnim vapnenačkim naslagama. Nakon provedene analize stijene su razvrstane na temelju veziva – mikritnog ili sparitnog, uz prefiks dolo- koji označava dolomitni kemijski sastav.

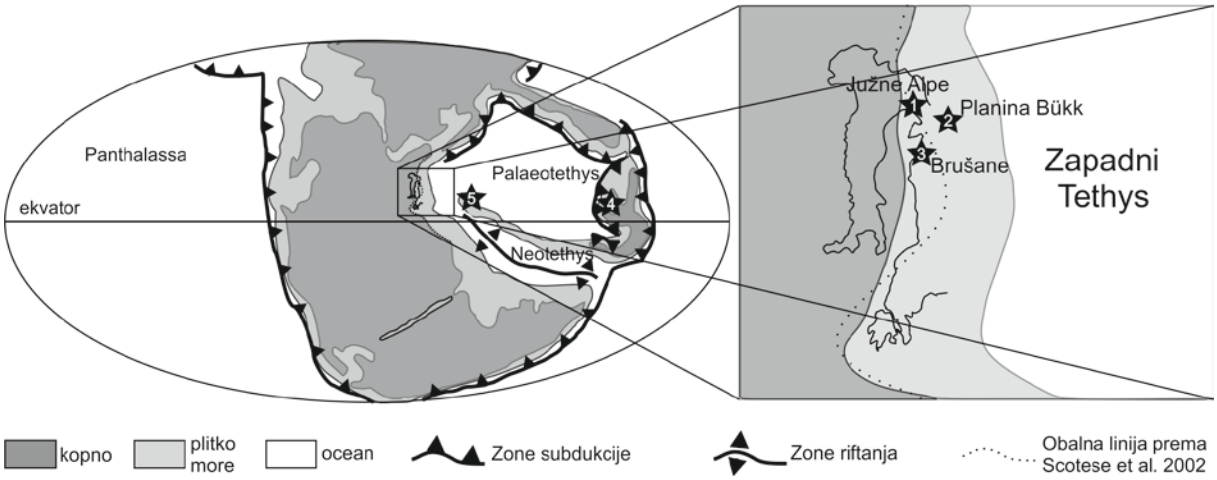
Biostratigrafsku analizu konodonata proveo je Yanlong Chen (suradnik na projektu Hrvatska-Austrija) dok je izotopne analize načinio Sylvain Richoz na Univerzitetu u Grazu. Analiza stabilnih izotopa ugljika i kisika provedena je s ukupno 61 uzorkom slijeda Brušane Sy i 42 uzorka slijeda Brušane 2.

Od metoda korištenih u ovome radu valja napomenuti i statističku obradu podataka, točnije izračun Pearsonovog koeficijenta korelacije nad podacima izotopne analize kisika i ugljika slijeda Brušane Sy koja je provedena u programu Microsoft® Excel® 2016.

4. GEOLOŠKI PARAMETRI I KARAKTERISTIKE STIJENA VEZANIH UZ GRANICU PERM-TRIJAS

Kraj paleozoika generalno se smatra jednim od burnijih razdoblja Zemljine prošlosti. Razlog tome je taj što se koncem perma zbilo najveće masovno izumiranje ikada zabilježeno. Prema Fio et al., (2010 i pridružene reference) izumiranju u kojem je nestalo 96% marinskih vrsta, 60% porodica gmazova i vodozemaca, 30% vrsta kukaca, 70% kopnenih kralježnjaka i većina kopnenog bilja prethodila je promjena klime. Ova promjena klime, iz hladne kasnopaleozojske u toplu mezozojsku, možda je čak i potaknula spomenuto masovno izumiranje koje se objašnjava različitim događajima među kojima su i pojava masovnog vulkanizma („*Siberian traps*"), novonastali raspored kopnene mase – Pangeae, anoksija oceana, stratifikacija oceanske vode i destabilizacija metanskih hidrata. Navedene su samo neke od pretpostavki koje pokušavaju objasniti, još uvijek nedovoljno jasne, uzročno-posljedične veze ovog događaja.

Korelacijski potencijal sedimentnih stijena taloženih na prijelazu iz perma u trijas (PTB, od eng. Permian-Triassic boundary) je znatan, a prema Hongfu et al., (2001) sama granica, kako je određeno od strane radne skupine za P/T granicu (engl. Permian-Triassic Boundary Working Group – PTBWG), definirana je prvom pojavnom konodontne vrste *Hindeodus parvus.* Kao važni pokazatelj za praćenje ove granice autori navode i negativne vrijednosti odnosno otklon u sastavu ugljikovih izotopa u karbonatima i u sastavu organske tvari koja se nalazi u sedimentu. Baud et al., (1989 i pridružene reference) navode da su vjerojatno najbolji kemostratigrafski zapisi o marinskim uvjetima na prijelazu iz kasnog perma u rani trijas očuvani u stijenama taloženim uz zapadnu obalu tadašnjeg Tethyskog oceana. Tijekom razmatranog vremenskog perioda Tethys je bio relativno zatvoreni ocean, a regionalno ga je moguće podijeliti na sjeveroistočni dio, koji predstavlja tzv. Palaeotethys i jugozapadni dio, odnosno Neotethys. Između njih postojalo je tzv. Cimerijsko kopno. Sjeverni rub Palaeotethysa predstavlja subdukcijsku zonu, dok je središte Neotethysa podvrgnuto otvaranju novog oceana procesom riftanja (**slika 4.1**).



Slika 4.1: *Pozicija Tethys oceana pred kraj perma. 1: Južne Alpe; 2: Planina Bükk; 3: Brušane; 4: Meishan; 5: Vedi (modificirano prema Scotese et al., 2002).*

U poglavljima koja slijede ukratko su opisane biostratigrafske, kemostratigrafske i litološke značajke stijena koje vežemo uz P/T granicu.

4.1 Biostratigrafske značajke

Na lokalitetu Meishan (Kina), gdje je ujedno definirana i GSSP (*Global Stratotype Section and Point*) granica, prvo pojavljivanje (engl. First Appearance Datum – FAD) konodontne vrste *Hindeodus parvus* označava i biostratigrafsku P/T granicu, odnosno početak trijasa. Prema Jiang et al., (2007) postavljanje granice na temelju konodonata roda *Hindeodus*, i pratećeg roda *Isarcicella*, moguće je zbog njihove dobre zastupljenosti, odnosno dominacije unutar fosilne faune utvrđene na lokalitetu Meishan, kao i fosilnih zajednica utvrđenih na drugim lokalitetima u Kini, Indiji, Pakistanu i Južnim Alpama.

Iako se vrste roda *Hindeodus* generalno smatraju plitkovodnim konodontima, Hongfu et al., (2001 i pridružene reference) navode kako je *H. parvus* iznimka, odnosno njegov životni prostor nije bio ograničen facijesom ili geografskom širinom. Prisutan je, kako u plitkovodnim tako i u pelagičkim sedimentima širom svijeta zbog čega predstavlja trenutno najbolji indeks fosil za utvrđivanje i korelaciju naslaga P/T granice. Vrstu *H. parvus* karakterizira mali „Pa“ element s velikim vrhom koji je viši od narednih zubi te ima prošireno bazalno udubljenje.

Unutar permotrijaskih naslaga česti su i *gondolellidni* konodonti, međutim Jiang et al., (2007) navode kako se na samom prijelazu iz perma u trijas njihova zastupljenost naglo smanjuje, odnosno dolazi do promjene iz zajednice *gondolellida* u zajednicu *hindeoida* koji se smatraju ekološki tolerantnijima. Autori također navode kako *hindeoidi* nisu dominantan rod na svim poznatim profilima P/T granice. Kao primjer navode lokalitete: Spiti (Indija), Selong (južni Tibet) i područje kanadskog Arktika gdje, unutar biofacijesa vezanih uz P/T granicu, dominiraju *gondolellidi*, zbog čega su daljnja istraživanja vezana uz razvoj *hindeoida* te paralelno, *gondolellida* kao i njihovih zonacija veoma važna.

Prema Jiang et al., (2007 i pridružene reference) na stratotipu u Meishanu utvrđen je najpotpuniji razvojni slijed konodonata roda *Hindeodus* i *Isarcicella*. Autori izdvajaju 6 zona kojima je moguće pratiti ovaj razvoj, a početak svake zone počinje prvom pojavom (engl. FAD) pridružene vrste. Razvojni slijed, odnosno prva zona počinje prvom pojavom vrste *H. latidentatus* i proteže se do prve pojave vrste *H. praeparvus*, čime počinje druga zona. Zona *H. praeparvus* proteže se do prve pojave vrste *H. Changxingensis* čime počinje treća zona. Navedene zone, *H. latidentatus*, *H. praeparvus* i *H. Changxingensis*, označavaju permsku starost naslaga, a gornja granica treće zone definirana je prvom pojavom vrste *H. parvus* što ujedno označava i kraj paleozoika, odnosno početak trijasa i samu P/T granicu. Zona *H. parvus* proteže se do prve pojave *I. staechei*, čime počinje peta zona koja traje sve do prve pojave vrste *I. isarcica*, odnosno šeste zone čija gornja granica nije definirana. Sve navedene zone ne moraju biti prisutne na svim lokalitetima s P/T granicom u svijetu, budući da je pojava nekih konodontnih vrsta okolišno uvjetovana. Autori također navode detaljnije podjele fosilnih vrsta unutar pojedinih zona kao i mogućnost uspostavljanja dodatnih zona na lokalitetima koji predstavljaju razvijenije sedimentne sljedove nego što je onaj u Meishanu.

4.2 Kemostratigrafske značajke

U prijelaznom razdoblju iz paleozoika u mezozoik došlo je do značajnih promjena u kemizmu oceanske vode. Prema Baud et al., (1989 i pridružene reference) vrijeme tranzicije iz perma u trijas praćeno je padom saliniteta oceana u iznosu od ~4 ‰ i naglim skokovima, odnosno promjenama u izotopnom sastavu ugljika, sumpora i stroncija. Navedene promjene bile su globalnog karaktera i kao takve registrirane su u tada taloženim sedimentnim stijenama, a

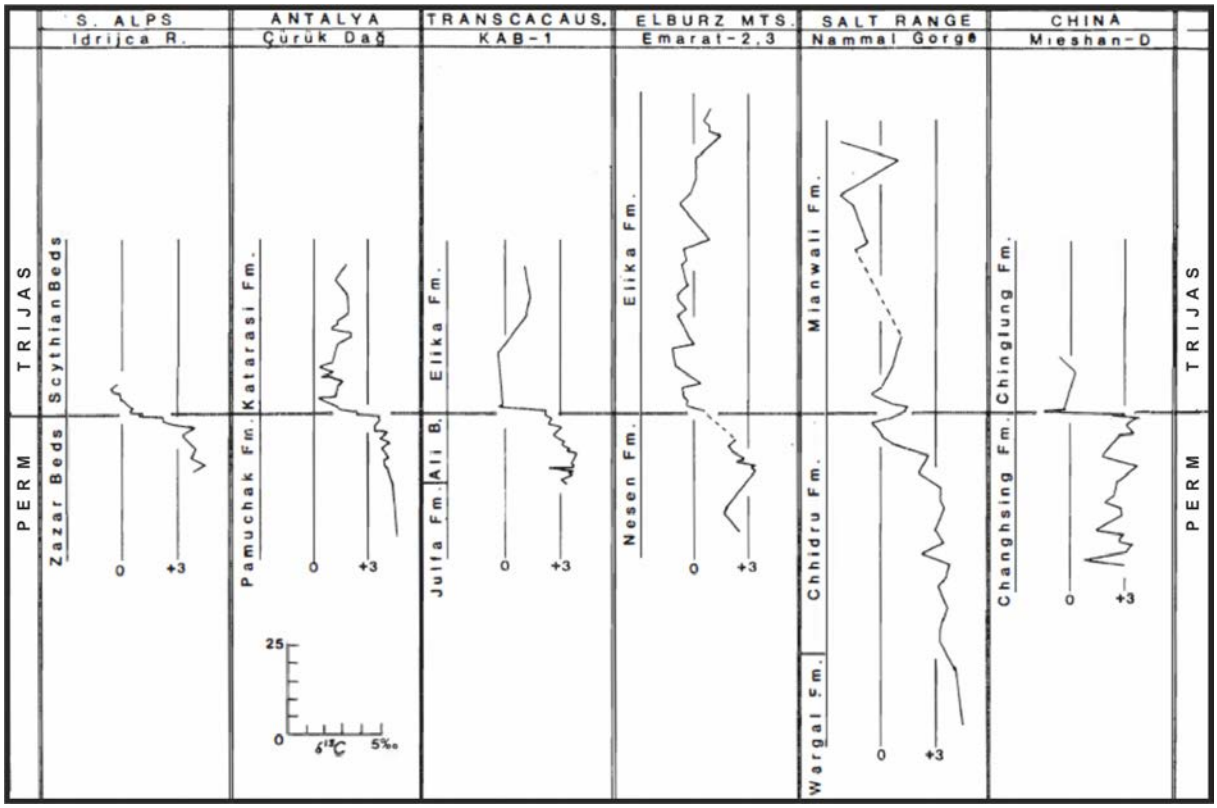
prema Korte et al., (2004 i pridružene reference) očituju se kroz nagli porast težih izotopa stroncija i sumpora ($^{87}Sr/^{86}Sr$ i $\delta^{34}S$), te pad $\delta^{13}C$ vrijednosti u karbonatima i organskoj tvari.

Tijekom geološke prošlosti izotopni sastav ugljika marinskih karbonata je znatno varirao. Od vrijednosti koje iskaču iz cjelokupne slike Baud et al., (1989 i pridružene reference) ističu povećanje $\delta^{13}C$ tijekom kasnog paleozoika, odnosno česte fluktuacije od niskih do visokih vrijednosti tijekom gornjega karbona i perma, a koje se može povezati s promjenama morske razine. Najznačajnija fluktuacija, odnosno pad iz visokih, pozitivnih $\delta^{13}C$ vrijednosti u negativne zbila se krajem perma, odnosno neposredno uz P/T granicu. Ovaj pad vrijednosti nije na svim istraživanim lokalitetima jednak, odnosno na nekima je nagli dok je na drugima više postupan zbog čega su vođene razne polemike o trajanju i uzroku ovog događaja. Situaciju dodatno komplicira činjenica da marinski sedimenti iz ovog perioda izostaju u mnogim regijama svijeta kao i pad brojnosti vrsta unutar tadašnjih zajednica organizama u kojima su endemske vrste često dominirale.

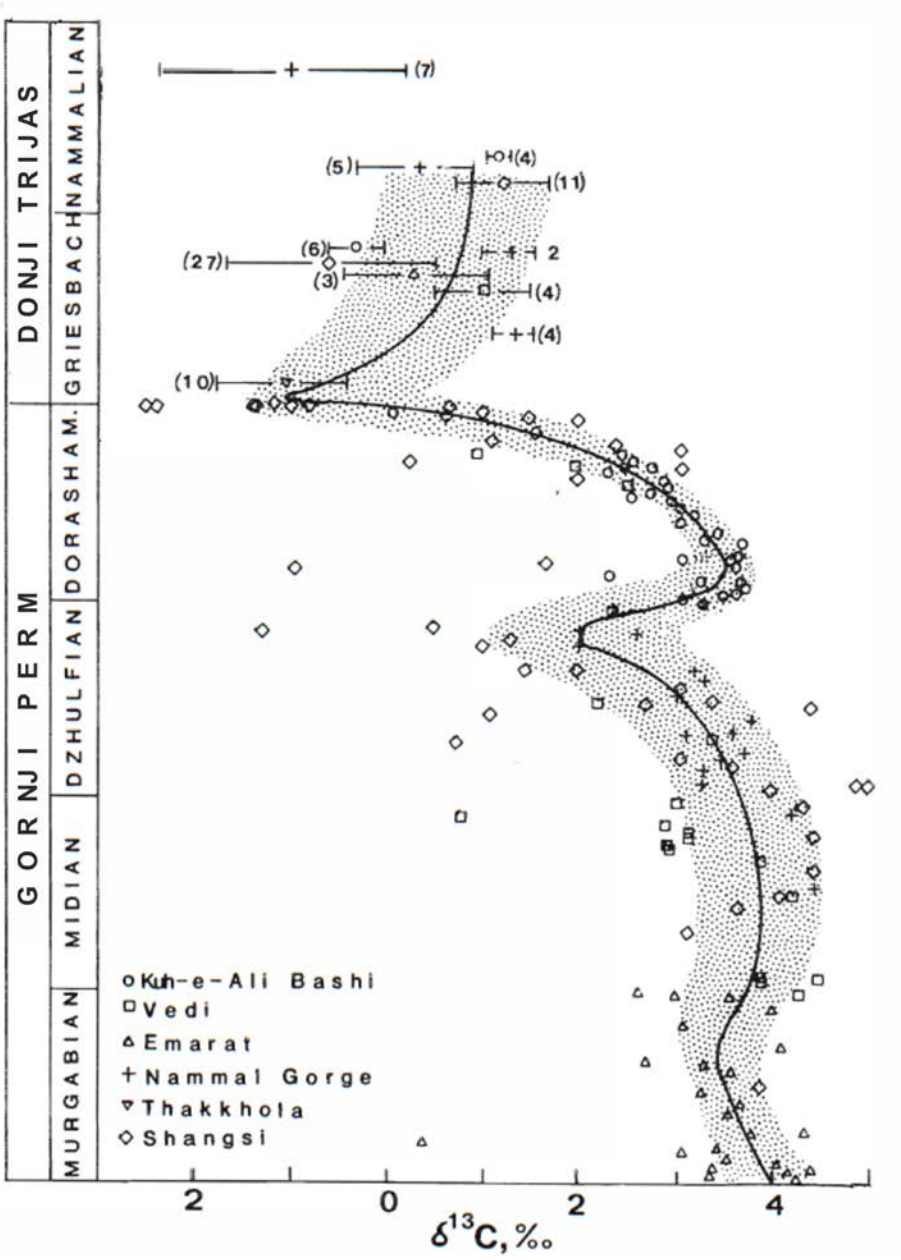
Same varijacije izotopnog sastava odraz su promjena raspodjele ugljika između njegovih glavnih rezervoara – organske tvari i marinskih karbonata. Sukladno tome Baud et al., (1989 i pridružene reference) navode da povećanje očuvanosti organske tvari dovodi do viših $\delta^{13}C$ vrijednosti u tada taloženim karbonatima i obratno. Neki od uzroka koji mogu utjecati na navedene procese su promjena morske razine s pratećim proširenjem zone kisikova minimuma i promjenama u cirkulaciji oceanske vode ili promjene u produkciji organske tvari, kako u oceanima tako i na kopnu. Detaljniji pregled procesa koji utječu na frakcionaciju ugljikovih izotopa dan je u **poglavlju 6**.

Prikaz i usporedba izotopnog sastava ugljika mnogih sedimentnih sekcija s utvrđenom P/T granicom (**slika 4.2**) dan je u Baud et al., (1989 i pridružene reference). Autori su usporedili i analizirali podatke s 20 sedimentnim sljedova koji predstavljaju sedimente taložene u nekadašnjem Tethysu, a među kojima su lokaliteti u: Grčkoj, Turskoj, Sloveniji, Armeniji, Iranu, Pakistanu, Indiji, Nepalu i Kini, čime su, na temelju podataka šire regije, dobili generalnu izotopnu krivulju za područje Tethysa u vremenu s kraja perma i početka trijasa (**slika 4.3**). Radom su utvrđena vremenska trajanja trendova na krivulji (porast ili pad vrijednosti), te sličnosti između trenda promjene $\delta^{13}C$ vrijednosti te prisustvo i razlike između tadašnjih faunističkih zajednica. Prema istim autorima obje promjene mogu se povezati i s promjenama

morske razine. Utvrđen je postupan pad $\delta^{13}C$ vrijednosti tijekom kasnoga perma, strmiji pad pred sam kraj perma i najniže vrijednosti neposredno iznad P/T granice **(slike 4.2**, i **4.3**).

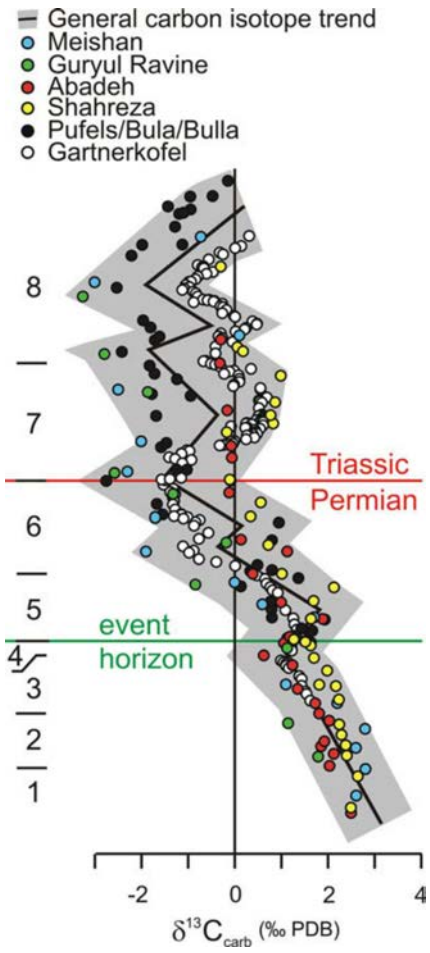


Slika 4.2: *Usporedba profila stabilnih izotopa ugljika, u jednakom mjerilu, od južnih Alpa (lijevo) do Kine (desno) (preuzeto iz Baud et al., 1989)*



Slika 4.3: *Sinteza podataka analiza stabilnih izotopa ugljika za područje Tethysa u vremenu kasnog perma i ranog trijasa (prema Baud et al., 1989). Korišteni podaci predstavljaju izotopne krivulje, prema autorima, 6 najpoznatijih sedimentnih sekcija: Kuh-e-Ali Bashi (Julfa, Iran), Vedi (Armenija), Emarat (Iran), Nammal Gorge (Pakistan), Thakkhola (Nepal) i Shangsi (Kina). Za vremensko razdoblje perma puna linija predstavlja procjenu izotopnog sastava ugljika Tethysa, pri čemu je osjenčano područje interval nesigurnosti. Trijaski podaci predstavljaju samo srednje vrijednosti i standardne devijacije za pojedini stratigrafski interval i lokalitet (preuzeto iz Baud et al., 1989).*

Pregled trendova izotopnog sastava ugljika dan je i u radu Korte & Kozur (2010). U radu autori uspoređuju prethodno objavljene izotopne trendove s nekoliko lokaliteta s P/T granicom, te ih dovode u vezu s pripadajućim biostratigrafskim karakteristikama, na temelju čega konstruiraju generalnu $\delta^{13}C_{carb}$ krivulju za prijelazno razdoblje iz perma u trijas (**slika 4.4**). Za definiranje generalnog izotopnog trenda ugljika nužno je da su korišteni sedimentni sljedovi vrlo dobro dokumentirani i da predstavljaju potpuni biostratigrafski razvoj utvrđen za određeno razdoblje, zbog čega su autori koristili podatke dobivene s lokaliteta iz Irana i Kine. Sljedovi s manje biostratigrafskih podataka također su uzete u obzir ali samo s ciljem uspoređivanja.



Slika 4.4: *Prikaz generalnog trenda izotopa ugljika ($\delta^{13}C_{carb}$) duž P/T granice, prema Korte & Kozur (2010), na osnovi podataka izotopnih analiza s lokaliteta Meishan, Guryul Ravine, Abadeh, Shahreza, Pufels/Bula/Bulla i Gartnerkofer jezgre. Brojevi 1 – 8 označavaju konodontne biozone (Preuzeto iz Korte & Kozur, 2010).*

4.3 Litološke značajke

Kao GSSP stratotip za P/T granicu, određen je slijed Meishan D koji se nalazi u Zheijang provinciji (Kina). Granica je postavljena unutar sloja 27 koji, prema Zheng et al., (2013) predstavlja homogeni siltozni vapnenac. Hongfu et al., (2001 i pridružene reference) navode da su ove stijene taložene unutar arhipelaga smještenog u sjeveroistočnom dijelu Tethysa. Sam slijed Meishan predstavlja sedimente taložene unutar intra-platformske depresije zbog čega pokazuje odlike tranzicijskih facijesa – od platformskih do padinskih. Za razliku od navedenog, mnoge sljedove taložene na području zapadnog Tethysa karakterizira pojava ooida/ooidnih grejnstona vezana uz P/T granicu koji se interpretiraju taloženjem u bitno plićem okolišu (Broglio Loriga & Cassinis, 1992; Dolenec et al., 2004).

Prema Korte & Kozur (2010) glavno izumiranje koncem perma – „EH“ (engl. *event horizon*), osim što se poklapa s biostratigrafskom *C. meishanensis-H. parvus* zonom, može se pratiti i s litostratigrafskom pojavom granične gline/šejla – BC (engl. *boundary clay/shale*). Autori navode da je granična glina razvijena samo na lokalitetima koji predstavljaju naslage taložene ispod osnovice valova olujnoga vremena kao što su npr. Abadeh, Jolfa, Zal i Shahreza u Iranu, te Meishan u Kini. Sukladno navedenome lokaliteti s plitkomorskim razvojem, npr. Pufels, Tesero, Gartnelkofel, Idrijica (Južne Alpe) i Heping u Kini, ne sadrže graničnu glinu. Kao iznimku navedenome Korte & Kozur (2010) navode lokalitet Gerenavár (planina Bükk) iz Mađarske koji predstavlja jedinu plitkomorsku sedimentnu sekciju s dobro razvijenom graničnom glinom.

Prema Fio et al., (2010 i pridružene reference) jedna od karakterističnih pojava unutar dinaridskih sljedova s P/T granicom su dolomiti s velikim sadržajem siliciklastičnog materijala koji naliježu na gornjopermske prijelazne dolomite. Siliciklastična komponenta potječe od erozije kopna nastalog kao posljedica regresije tijekom kasnoga perma. Stijene taložene u ovom razdoblju općenito su karakterizirane izostankom crvene boje što ukazuje na anoksične taložne uvijete, a prema autorima, anoksija morske vode je vjerojatno uzrokovana povećanim doprinosom organskog materijala s kopna.

Među prvim organizmima nakon izumiranja koncem perma koji su se uspjeli prilagoditi novonastalim uvjetima bile su cijanobakterije. Sukladno navedenome, za stijene donjega trijasa, taložene neposredno iznad P/T granice, karakteristične su mikrobijalne kore nastale kao životni

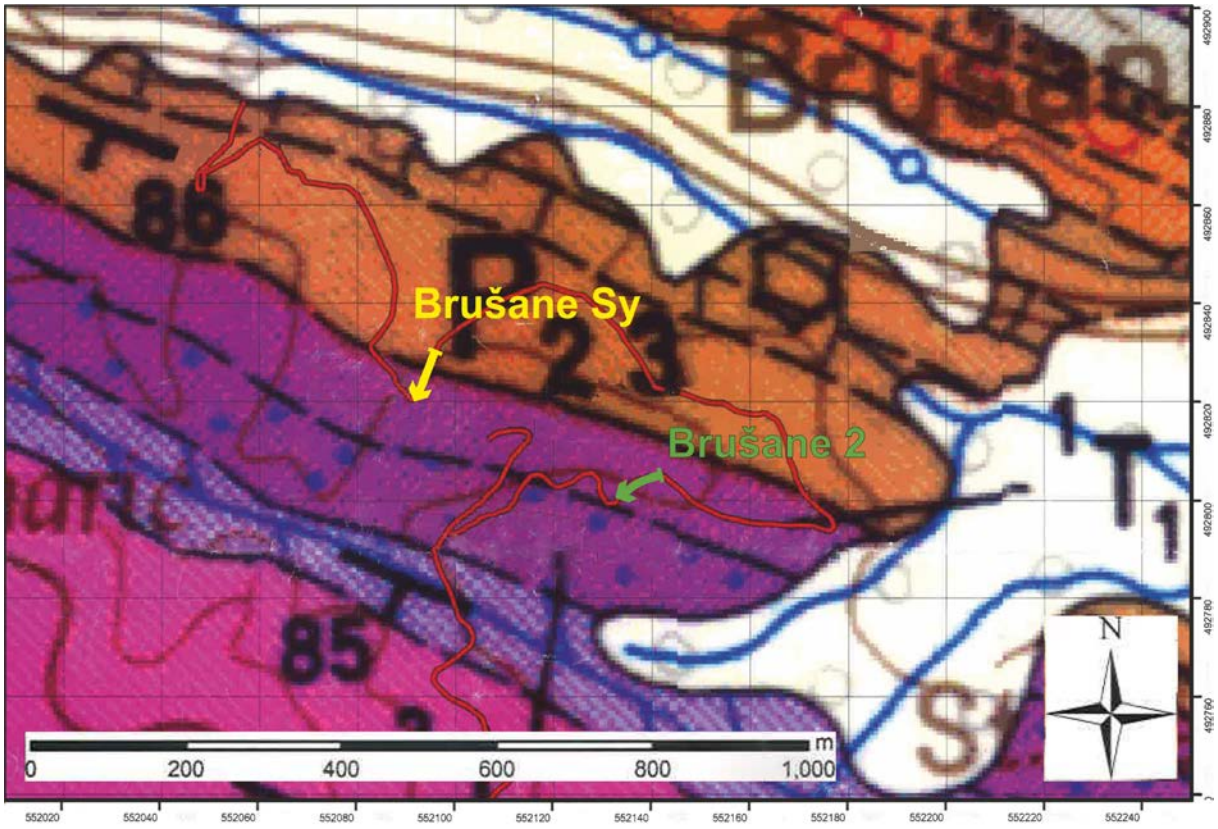
produkt cijanobakterija. Prema Kershaw et al., (1999) mikrobijalne kore su rijetka pojava u stijenama mlađim od kambrija, što upućuje na neuobičajene, nepovoljne i stresne oceansko-atmosferske uvijete u ovome razdoblju.

Kao jedna od utvrđenih karakteristika stijena najgornjega perma na području Dinarida je i pojava pizoida, te vadoznog kristalnog silta (Aljinović et al., 2003; Sremac 2005; Fio et al., 2010; Jazvac 2015; Đukan 2016). Pizoidi su obavijena zrna koja se u literaturi još mogu nazivati i pizoliti, pizoidni ooidi, dijagenetski ooidi, vadozni pizoidi/ooidi, vadoidi itd. Prema Tišljaru (2001), ova obavijena zrna nisu primarni strukturni sastojci karbonata u kojima ih nalazimo, a nastaju u vadoznoj zoni. Karakterizira ih koncentrična građa lamina koje su gusto zbijene oko jezgre. Ove lamine nisu pravilne već njihov oblik ovisi o obliku jezgre koja može biti fragment vapnenca, drugi pizoid ili fragment pizoida. Na mjestima, gdje je jezgra bila u kontaktu s nekom drugom česticom okolnog sedimenta, lamine mogu biti prekinute.

Uz pizoide, na dijagenezu sedimenta unutar vadozne zone može upućivati i mehanički taloženi interni sediment, odnosno vadozni kristalni silt, te pojedini oblici cementa kao što su mikrostalaktitni i meniskus cement. Tišljar (2001) vadozni kristalni silt opisuje kao cement nastao mehaničkom akumulacijom sitnih kalcitnih kristala u vadoznoj zoni koji, zajedno s mikrostalaktitnim cementom spada u geopetalne strukture. Ove strukture, osim što mogu poslužiti za determinaciju primarnog položaja sedimentnog tijela daju uvid i u dio dijagenetskih uvjeta kroz koje je istraživana stijena prošla. Navedeno je nužno uzeti u obzir prilikom interpretacije rezultata pojedinih analiza.

5. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Do podataka o geološkoj građi i provedenim istraživanjima šireg područja moguće je doći uvidom u list i u tumač Osnovne geološke karte mjerila 1:100 000 – list Gospić-104 (Sokač et al., 1967a; Sokač et al., 1967b). List Gospić-104 zahvaća područje između 15°00' i 15°30' IGD i 44°20' i 44°40' SGŠ te je ukupne površine 1480 km^2. Na isječku iz osnovne geološke karte također je označen položaj istraživanog profila (**slika 5.1**).



Slika 5.1: *Geološka karta istraživanog područja (isječak iz Osnovne geološke karte mjerila 1:100 000 list Gospić-104, SOKAČ et al., 1967a) s označenim profilima Brušane Sy (žuto) i Brušane 2 (zeleno). Crvena linija predstavlja šumsku cestu.*

Uzimajući u obzir godinu nastanka spomenute geološke karte, pregled dosadašnjih istraživanja vezanih uz karakteristike stijena na području Brušana dan je u dva dijela – prvi, vezan za osnovnu geološku građu i istraživanja provedena prije/u vremenu izrade OGK i drugi koji predstavlja sažetak radova šireg i užeg istraživanog područja nastalih nakon publikacije

OGK. Osim istraživanja vezanih uz područje Brušana u **potpoglavlju 5.3** dan je i kratki osvrt na neke od sedimentnih sljedova s granicom perm-trijas iz svijeta koje se mogu dovesti u geografsku svezu s našim istraživanim područjem ili čiji se dobiveni rezultati, zbog određenih karakteristika, mogu uspoređivati s rezultatima ovoga rada.

5.1 Osnove geološke građe lista Gospić-104

Prema autorima tumača OGK 1:100 000 list Gospić-104 (Sokač et al., 1967b), list je podijeljen, s obzirom na morfološke karakteristike, na 3 dijela: Ličko polje, planinsko područje Velebita i primorsko-otočni dio. Planinski masiv Velebita generalnog je pružanja SZ-JI, odvaja Ličko polje od primorsko-otočnog dijela karte te se u njemu nalazi sedimentni slijed naslaga analiziran u ovome radu. Prva geološka istraživanja ovog područja izvršena su od strane austrijskih geologa za geološku kartu Austro-Ugarske monarhije početkom druge polovice 19. stoljeća na temelju čega je izrađena geološka karta sa stratigrafskim članovima izdvojenim općenito kao: karbon, trijas (donji, srednji i gornji), kreda i eocen. Nakon te uslijedile su slične karte te radovi koji se bave prikazom geoloških odnosa i građe planine Velebit.

Sokač et al. (1967b i pridružene reference) navode kako je M. Salopek u svojim izvještajima tijekom prve polovice 20. stoljeća izvršio temeljnu podjelu gornjega paleozoika Velebita i Like. Na temelju litoloških karakteristika i prisutne flore i faune detaljno je podijelio karbon, perm i dijelom donji trijas. Mikrofaunu ličkog i velebitskog paleozoika obradila je V. Kochansky-Devidé 50-ih i 60-ih godina 20. stoljeća te na temelju toga izvršila detaljnu podjelu karbona i perma.

Prema Sokač et al. (1967b i pridružene reference) najstarije naslage na području lista Gospić pripadaju gornjem karbonu. Ove stijene razvijene su uz sjeverno podnožje Velebita, a predstavljaju ih pješčenjaci i šejlovi s razvijenim proslojcima i lećama kvarcnih konglomerata (u višim dijelovima pretežno i leće biokalkarenita). Od fosilnih ostataka u njima su zastupljeni ostaci brahiopoda, gastropoda, krinoida, kopnenog bilja te brojni mikrofosili značajni za odredbu karbonske starosti (rodovi foraminifera *Triticites, Ozawainella, Quasifusulina, Rugosofusulina* i *Pseudofusulina*). Autori navode da se sedimentacija grauvaka (uz mjestimično veće količine biokalkarenita), odvijala u uvjetima geosinklinalnog režima te se kontinuirano nastavila u donji perm. Stijene permske starosti zastupljene su na više lokaliteta uzduž sjevernog

podnožja Velebita te u Velikoj Paklenici. Litološku asocijaciju predstavljaju klastični i karbonatni sedimenti, pri čemu se ističe kako vapnenci, odmičući se od granice karbon-perm sve više zamjenjuju, odnosno potiskuju terigene sedimente. Autori ističu da donjopermska litološka asocijacija, koja je jednaka gornjokarbonskoj, ukazuje na postojanost, odnosno stabilnost sedimentacijsko-tektonskih odnosa koji su naslijeđeni iz gornjeg karbona u donji perm. Navedeno je potvrđeno kroz odnos permskih vapnenaca prema klastitima u koje prelaze bočno, a koji se litološki ne razlikuju od karbonskih klastita razvijenih u njihovoj podini. Donjopermska starost vapnenaca, koji su gotovo identični s vapnencima karbona, utvrđena je rodovima kao što su *Schwagerina, Pseudoschwagerina, Robustoschwagerina, Quasifusulina*. Kao i njihovi stariji, karbonski ekvivalenti, donjopermski vapnenci predstavljaju mehanički taložene karbonatne sedimente s prevladavajućim biogenim detritusom, odnosno biokalkarenite ili mikrobrečaste biokalkrudite. U višim dijelovima donjopermskih naslaga talože se prvenstveno bioklastični vapnenci s vrlo malo terigenih primjesa što označava svršetak tipičnog geosinklinalnog grauvaknog razvoja. Na navedene donjopermske naslage, talože se kvarcni i petromikritni konglomerati zajedno s pješčenjacima općenito manje zrelosti od ranije sedimentiranih. Ovakva promjena u sedimentaciji krajem donjeg perma posljedica je izdizanja kopna koje se trošilo što potvrđuje i hematit koji je dokaz visokog oksidacijskog potencijala. Od klastita koji su zastupljeni autori u tumaču ističu i detaljno opisuju piritične pješčenjake, pješčenjake gredenskog tipa, kvarcne konglomerate i petromiktne konglomerate, u literaturi još poznate kao i Košna-naslage, koji prelaze u krupnozrnate grauvake i subgrauvake.

Sedimentacija se nakon zaravnavanja izdignutog kopna nastavlja u vidu srednjo- i gornjoperkskih karbonata među kojima prevladavaju dolomiti (dobro uslojeni ili gromadasti, tamni ili svijetli, u višim dijelovima glinoviti). U ovim dolomitima opažaju se izrazite litološke razlike u vidu promjene boje, debljine slojeva, pa i sastava, no one su prvenstveno lokalnog karaktera zbog čega Sokač et al. (1967b i pridružene reference) navode kako oni tvore jedinstveni kompleks naslaga koji se kontinuirano nastavlja na klastite gredenskoga tipa. Na području između Brušana i Baških Oštarija lokalno su u dolomitima razvijena i tri nivoa vapnenaca čija je starost mikropaleontološki određena. Srednjopermska starost utvrđena je na temelju fosilnih vrsta *Evoerbekina salopeki* i *Neoschwagerina craticulifera* uz koje su vrlo česte i vrste algi roda *Mizzia*. Stijene gornjega perma predstavljaju vapnenci i dolomiti čija je starost također određena na temelju prisutnih fosilnih vrsta (*Yabeina syrtalis*).

Prijelaz iz crvenih subgrauvaknih pješčenjaka donjega perma u srednjopermske karbonate očituje se kroz pojavu sitnozrnatih pjeskovitih dolomita sa značajnim udjelom terigenog detritusa. Ovi dolomiti brzo prelaze u vapnence prve zone koji predstavljaju crne, bituminozne biokalkarenite izgrađene od različito očuvanog fosilnog detritusa i slabo definiranih karbonatnih čestica uloženih u mikritni vapnenački matriks. Prema Kochansky-Devidé (1982), ovaj se prijelaz može mjestimično vidjeti u Paripovom jarku zapadno od Brušana. U vapnencima prve zone prisutan je i raspršeni pirit te u manjoj mjeri detritični kvarc, a karakteristični su po sadržaju fosilnih ostataka glavonožaca, velikih puževa te osebujnoj mikrofauni. Na navedenim vapnencima slijedi debele naslage tzv. micijskih dolomita. Sokač et al. (1967b i pridružene reference) navedene naslage opisuju kao tamnosive, točkaste dolomite koji su čisti, odnosno bez terigenog detritusa i s uobičajenim sadržajem $CaCO_3$ komponente manjim od 10%. Karakterizira ih visok stupanj dolomitizacije i uglavnom izvanredna očuvanost primarnih struktura što upućuje na to da je primarni biokalkarenitni sediment dolomitiziran u ranoj dijagenetskoj fazi. Ovi dolomiti postupno prelaze u vapnence druge zone koji su, kao i vapnenci prve zone, također crni, bituminizirani, dobro uslojeni s tankim ulošcima škriljavih vapnenaca. Vapnenci druge zone također su izgrađeni od bioklastičnog detritusa, bogati su makro i mikrofosilima, a u njima je redovito prisutan i autigeni pirit. Slijed se nastavlja u svijetlosive, gromadaste tzv. neošvagerinske dolomite. Neošvagerinski dolomiti, koji mogu sadržavati rijetke uloške tamnih, slojevitih dolomita, genetski predstavljaju isti tip sedimenata kao i micijski dolomiti, no općenito su siromašniji fosilnim ostacima. Također ih karakterizira slabija očuvanost primarnih struktura, a zbog nejednolike rekristalizacije mogu poprimiti pseudobrečast izgled. Na prijelazu u treću zonu vapnenaca stupanj rekristalizacije se smanjuje sukladno čemu se javljaju tamnosivi, slojeviti dolomiti s dobro očuvanim fosilima. Treća zona vapnenaca odgovara u potpunosti vapnencima druge zone, te postupno prelazi u tzv. „granične“ dolomite. Ovi dolomiti, koji po starosti odgovaraju najvišim dijelovima perma, uobičajeno su svijetlosive boje, dobro uslojeni, kriptokristalaste do mikrokristalaste građe, često nepravilno grudičasti. Općenito su siromašniji organskim ostacima od prethodnih dolomita, sadrže nešto glinovite komponente, a pirit je u njima često limonitiziran. Na temelju navedenih karakteristika, prvenstveno visokog stupnja dolomitizacije, dobre slojevitosti i mikrokristalaste strukture, Sokač et al. (1967b i pridružene reference) porijeklo ovih dolomita određuju kao primarno, odnosno ranodijagenetsko. Postupnim mijenjanjem sedimentacijskih uvjeta, što se

prvenstveno očituje kroz povećanje količine terigenog detritusa, navedene naslage zamjenjuju pjeskoviti dolomiti donjeg trijasa. Budući da je sedimentacija na prijelazu iz gornjega perma u donji trijas ovisila o tada prisutnim paleogeografskim uvjetima, kontinuirani slijed naslaga nije svugdje razvijen. Kontinuitet naslaga utvrđen je na području Brušana, Baških Oštarija i Velike Paklenice dok na ostalim mjestima (npr. na sjeveroistočnim padinama Velebita) stijene donjega trijasa leže transgresivno na gornjemu permu. Prema autorima tumača (Sokač et al., 1967b) donjotrijaske stijene zastupljene su uglavnom dolomitima onečišćenim terigenim detritusom koji postupno prelaze u klastite s dominacijom tinjčastih pješčenjaka i siltita. Klastiti, čija je starost utvrđena biostratigrafski, u višim dijelovima donjega trijasa izostaju, odnosno redukcijom terigenih čestica karbonatna sedimentacija ponovno postaje stabilna.

5.2 Istraživanja vezana uz karakteristike stijena gornjega perma i P/T granicu

Prikaz osnovnih karakteristika stijena gornjega paleozoika Velebita, kao i sedimentacijskih uvjeta u kojima su te stijene taložene, dan je u terenskom vodiču (Aljinović et al., 2003 i pridružene reference). Autori navode kako gornjopaleozojski tektonski pojas Velebita i Like predstavlja najrazvijeniji, te ujedno i najistraživaniji paleozojski slijed naslaga u Hrvatskoj, pri čemu opisuju nekoliko lokaliteta među kojima su i Brušane. Područje istraživanja obuhvaćeno u ovome radu, odnosno naslage u zasijeku šumske ceste južno od Brušana opisane su kao slijed debelih, pločastih slojeva dolomita koji naliježu na starije vapnence. Vršnih 85 m naslaga najgornjega perma karakterizira debljina slojeva od 0,5 do 1,5 m, sa slojnim plohama koje su oštre i ravne, rjeđe valovite. Prema autorima u slijedu su prisutni dominantno ranodijagenetski dolomiti s očuvanim teksturama primarne stijene, te pred kraj slijeda i kasnodijagenetski dolomiti u kojima su primarne teksture, kao i fosilne zajednice, veoma loše očuvane. Aljinović et al., (2003 i pridružene reference) kao čestu pojavu unutar ovoga sedimentnog slijeda navode mikrokristalaste strukture među kojima valja istaknuti šupljine ispunjene geopetalnim kristalnim siltom. Ove šupljine, zajedno uz prisutne ostatke intraklasta, upućuju na supratajdalno podrijetlo ranodijagenetskih dolomita. Uklopci sitnozrnatog siliciklastičnog detritusa, koji su zabilježeni u gornjem dijelu promatranog slijeda naslaga, karakteristični su za uvijete u kojima su ove stijene taložene koncem perma, a predstavljaju

prelazak iz plitkomorskog taložnog okoliša. Prisutna fosilna zajednica karakteristična je za gornji perm, pri čemu autori ističu da je zastupljenost vapnenačkih algi i velikih fuzulidnih foraminifera nešto manja od očekivane za ovaj tip naslaga. Najmlađe stijene promatranog slijeda karakteristične su po sadržaju malih foraminifera pri čemu autori navode da su neke od njih tipične za stresne okoliše koje vežemo za P/T granicu.

Na prostoru Alpa i Dinarida utvrđeno je nekoliko sljedova dolomitnih naslaga koji u sebi sadrže P/T granicu. Prema Sremac (2005) ovaj prijelaz utvrđen je na lokalitetima u Karničkim Alpama, Južnim Karavankama, Julijanskim Alpama, Centralnim Dinaridima i Velebitu na već spomenutim lokalitetima – Brušane-Baške Oštarije i Velika Paklenica. Granični gornjopermski dolomiti Velebita siromašni su mikrofosilima, sadrže kristale pirita, te se kao takvi mogu povezati s globalnim anoksičnim događajima koji su se odvijali koncem perma. Sremac (2005) navodi kako je utjecaj globalnih katastrofalnih događaja vezanih uz P/T granicu bio vjerojatno manji nego li utjecaj tektonskih kretanja na tada taložene platformske sedimente koje danas nalazimo u Hrvatskoj. Tektonski pokreti, prvenstveno izdizanja, uzrokovala su višestruke emerzije nekih dijelova platforme, što potkrepljuju brojni dokazi, odnosno strukturne karakteristike kao što su: laminiranost, stromatoliti, vadozni cementi i visokoporozne karbonatne breče, a koje nalazimo u srednjo- i poglavito gornjopermskim sedimentima. Iako kasnopermski katastrofični događaj nije uzrokovao kolaps karbonatne platforme, snažno je utjecao na tadašnju biotu zbog čega nema vidljivog diskontinuiteta u sedimentaciji, a sam događaj najpouzdanije je, prema Sremac (2005), pratiti pomoću geokemijskih analiza izotopnog sastava ugljika, kisika, sumpora i stroncija.

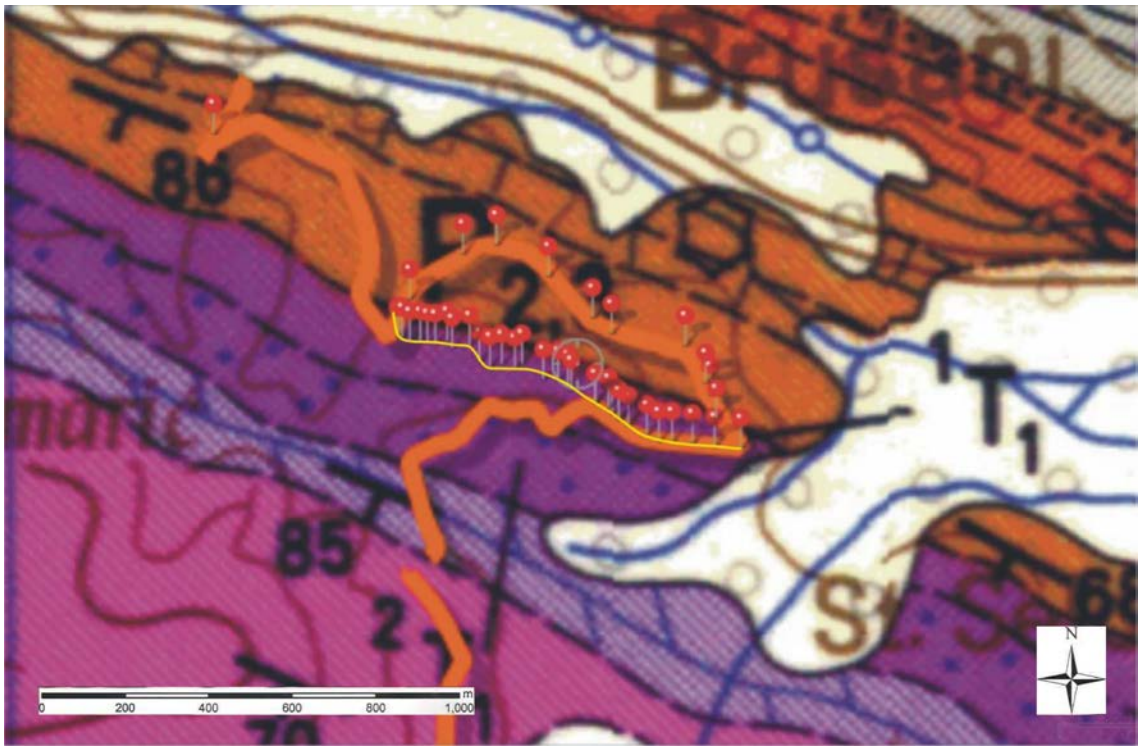
Fio et al., (2010) kemostratigrafsku granicu na prijelazu iz perma u trijas u Hrvatskoj određuju na dva lokaliteta – Rizvanuši i Brezimenjači. Oba lokaliteta smještena su na planini Velebit, prvi u području središnjeg Velebita jugoistočno od Brušana, a drugi u području južnoga Velebita. Stijene koje nalazimo na ovim lokalitetima predstavljaju plitkomorski slijed sedimenata među kojima su za samu granicu vezani gornjopermski prijelazni dolomiti i na njih naliježući pjeskoviti dolomiti. Prije provedenih kemostratigrafskih analiza granica je bila postavljena na temelju promjene litologije, odnosno između dvije prethodno spomenute jedinice, a potreba za preciznijim utvrđivanjem granice proizašla je iz nedostatka provodnih fosila u najmlađim stijenama donjega trijasa. Na temelju dobivenih rezultata – negativnog otklona u izotopnom sastavu ugljika, vertikalne distribucije redoks-osjetljivih elemenata,

elemenata rijetkih zemalja i anomalija cerija, Fio et al., (2010) utvrdili su kemostratigrafsku granicu unutar jedinice pjeskovitih dolomita. Na lokalitetu Rizvanuša nova granica postavljena je 11 m iznad prethodno utvrđene litološke granice, dok na lokalitetu Brezimenjača ovaj pomak u mlađe naslage iznosi 0,2 m.

Na području Brušana, u sklopu završnog rada – Jazvac (2015), provedena je analiza tipova gornjopermskih karbonata iz sedimentnog slijeda debljine 2,6 m. Na terenu sastav ovih stijena nije bilo moguće precizno odrediti zbog snažne rekristalizacije, zbog čega je 5 uzoraka promatrano mikropetrografski. Cilj istraživanja bio je utvrditi moguću prisutnost P/T granice na temelju mikropetrografske analize. Uzorci su određeni kao potpuno dolomitizirani biomikriti/pekstoni i vadoidima bogati dolomiti. Na osnovi litoloških karakteristika u pojedinim uzorcima utvrđeno je da su ove stijene taložene u plitkom lagunsko/peritajdalnom okolišu, te da su talozi povremeno, usred oscilacije morske razine, izronjavali u zonu supratajdala. U istom je radu na osnovi fosila (foraminifera) zaključeno kako na istraživanom profilu nisu prisutne stijene trijaske starosti, već se radi isključivo o stijenama gornjega perma bez vidljivih znakova koji bi ukazivali na samu P/T granicu.

Lokalitet Brušane i profil Brušane Sy istraživan je i u sklopu diplomskog rada Đukan (2016). U radu je detaljno kartirana pretpostavljena PT granica (**slika 5.2**), a prikazane su i petrološke karakteristike naslaga permske i trijaske starosti na području Brušana, te je na osnovi različitih litoloških karakteristika P/T granica upravo bila definirana. Na temelju položaja slojeva i izostanka erozije utvrđena je kontinuirana sedimentacija na prijelazu perma i trijasa, a sama P/T granica određena je na temelju različitih karakteristika istraživanih stijena. Prema Đukan (2016) stijene ispod granice karakterizira brojnost permskih fosila (algi, spora algi i foraminifera) u pretežito mikritnim uzorcima taloženim u potplimnoj zoni, zatim šupljine otapanja koje ukazuju na povremeno izranjanje navedenih taloga u plimno/natplimnu zonu, te mikrokristalasta mimikrijska dolomitizacija koja je vjerojatno i ranodijagenetska. Za razliku od permskih, stijene trijaske starosti (vršna 4 m istraživanog profila) odlikuju se po odsutnosti fosila, pojavi ooida, te po tipu dolomitizacije, odnosno makrokristalastoj dolomitnoj strukturi gdje su primarni sastojci, osim duhova ooida ili sferičnih intraklasta, loše očuvani. Trijaska starost ovih stijena utvrđena je na temelju pronađenog fosila *Hindeodus parvus* u jednom od slojeva neposredno iznad postavljene granice. U radu su ukratko komentirani i rezultati analize stabilnih izotopa ugljika, $\delta^{13}C_{carb}$, koji ne pokazuju otklon prema negativnim vrijednostima, a

koji je tipičan za P/T granice utvrđene diljem svijeta i koji je uočen na P/T granici profila Rizvanuša u blizini Brušana (Fio et al., 2010). Ovaj nedostatak otklona Đukan (2016) povezuje s izrazitom vadoznom dijagenezom utvrđenom u promatranim stijenama. Na profilu Brušane Sy izostaju i mikrobijalitni facijesi karakteristični za naslage taložene neposredno iznad P/T granice, a prema Đukan (2016) pojava ooida u prvim slojevima donjega trijasa može se usporediti s ooidnim grejnstonima Tesero horizonta u Južnim Alpama (Italija).



Slika 5.2: *Nova granica perm-trijas označena žutom linijom za područje Brušana prema Đukan (2016) (preuzeto iz Đukan, 2016)*

5.3 Pregled karakteristika određenih permotrijaskih sedimentnih slijedova iz svijeta

Lokaliteti na kojima se može pratiti kontinuirana sedimentacija na prijelazu iz gornjega perma u donji trijas su u svijetu relativno rijetki. Općenito postoji tendencija njihova istraživanja pri čemu se mogu promatrati karakteristike P/T granice. U dolomitima Italije i Slovenije P/T granica je praćena prijelazom iz jedne litološke jedinice u drugu, dok na *locus typicus* u Meishanu (Kina), gdje je definirana i GSSP granica, kao i na nekim drugim lokalitetima ne postoji izrazita litološka promjena na prijelazu iz perma u trijas. Lokaliteti s granicom unutar iste litološke jedinice su od posebne važnosti za rekonstrukciju geološke prošlosti budući da je utjecaj promjene litologije na paleorekonstrukcijeske parametre minimalan.

Opis sljedova naslaga i P/T granice s lokaliteta Tesero i Bulla na području Dolomita (Južne Alpe, Italija) dan je od strane Broglio Loriga & Cassinis (1992). Autori opisuju gornjopermsku Val Gardena i Bellerophon formaciju, njihove međusobne odnose i odnosne sa stijenama u njihovoj podini i krovini. Val Gardena pješčenjaci su tipični crveni slojevi različitih klastita. Za razliku od ovih klastita, dominantno pješčenjaka, stijene Bellerophon formacije su prvenstveno karbonati i sulfati, taloženi u širokom spektru različitih taložnih okoliša – od obalnih sabhka do okoliša plitkoga šelfa. Navedene formacije zajedno čine složenu transgresivnu sekvencu, a zbog transgresivno-regresivnih ciklusa drugoga reda djelomično se i bočno izmjenjuju. Na navedenu permsku Bellerophon formaciju naliježe donjotrijaska Werfen Formacija. Plitkomorska Werfen Formacija u svom se donjem dijelu sastoji od dva člana taložena u lateralno ekvivalentnim facijesima – oolitičnog Tesero horizonta i mikritičnog Mazzin člana. Prema autorima postavljanje P/T granice na području Južnih Alpa ovisilo je o nizu faktora koji su se, ovisno o poznavanju geoloških karakteristika pojedine regije, osobnim specijalizacijama i autoritetu istraživača, mijenjali. Budući da na pojavu i nestanak pojedinačnih fosilnih vrsta mogu utjecati regionalni tektonski odnosi, sedimentacijski uvjeti i ostali fizički faktori, njihova distribucija, odnosno zastupljenost od lokaliteta do lokaliteta može varirati. Kao primjer navedenoga isti autori navode pojavljivanje permskih fosila unutar Tesero horizonta trijaske Werfen Formacije objašnjavajući ga kao zadnje pokušaje prilagodbe ovih organizama na novo uspostavljene okolišne uvijete ili kao pretaloživanje permskog biogenog detritusa tijekom najstarijeg trijasa. U konačnici određeno je da se, ako hijatus između Bellerophon i

Werfen formacije nije prisutan, granica postavlja na temelju nekoliko faktora među kojima su pad raširenosti vrsta, promjene u uvjetima sedimentacije, te prva pojava trijaskih fosilnih vrsta. Kontinuiranoj sedimentaciji na prijelazu između Bellerophon i Werfen formacije u prilog idu i analize stabilnih izotopa ugljika duž Tesero slijeda koje pokazuju značajan, ali kontinuirani pad $\delta^{13}C$ vrijednosti. Prema Magaritz et al. (1988), ovaj pad iznosi ~0.2 ‰ po metru slijeda, dok je cjelokupna promjena $\delta^{13}C$ vrijednosti sa ~3‰ koncem perma na ~ -1.5 ‰ početkom trijasa.

Među lokalitetima u susjednim zemljama na kojima je utvrđena P/T granica valja navesti lokalitet Masore u zapadnoj Sloveniji. Dolenec et al. (2004) granicu su odredili unutar gornjopermske Žažar formacije koja je ekvivalent Bellerophon formaciji na području Južnih Alpa. Granica je postavljena na temelju nekoliko čimbenika među kojima su promjene unutar litologije i fosilnog sastava, te snažan poremećaj u sastavu stabilnih izotopa ugljika i kisika. Autori su odredili gornjopermski taložni okoliš kao vrlo plitki, kisikom osiromašeni prostor šelfa s lagunskim i sabkha uvjetima u kojem je postojala veza sa širom regijom tadašnjeg Tethysa. Taloženje oolitnih sedimenata na prijelazu perm/trijas upućuje na okoliš povišene energije i tople vode obogaćene kalcijevim karbonatom. Osim vidljive litološke promjene na samoj granici zabilježen je i nagli, relativno kratki negativni otklon u sastavu ugljikovih izotopa što se slaže s podacima s mnogih lokaliteta diljem svijeta.

U Mađarskoj P/T granica je određena na lokalitetu Gerenavár (planina Bükk). Prema Korte & Kozur (2005) karakterističan sedimentni slijed započinje gornjopermskim, tamnim vapnencima formacije Nagyvisnyó koja je, prema sastavu biote ekvivalent Bellerophon formacije s područja Južnih Alpa. Slijed se nastavlja u vidu granične gline (BC), te nakon toga tankoslojevitih, glinovitih vapnenaca formacije Gerennavár Vapnenci, koja je, prema autorima, ekvivalent mikritom bogatom Mazzin članu Južnih Alpa. Na temelju prisutnosti granične gline, sastavu ostrakodne faune te konodontnom sastavu utvrđeno je da su ove stijene taložene u okolišima dubljim nego li su okoliši u kojima su nastali sedimentni sljedovi Tesero i Bulla (oba Južne Alpe, Italija). Geokemijskim analizama stabilnih ugljikovih izotopa utvrđen je pad $\delta^{13}C$ vrijednosti u gornjem dijelu Nagyvisnyó formacije (s >3 na ~1.9 ‰). Pad se nastavlja i u Gerenavár formaciju sve do početka trijasa (vrijednosti ~ -1.5 ‰).

Izotopni trend ugljika, karakterističan za P/T granicu, nije svugdje prisutan. Prema Korte & Kozur (2010) određena odstupanja od generalnog trenda prisutna su u većini sedimentnih

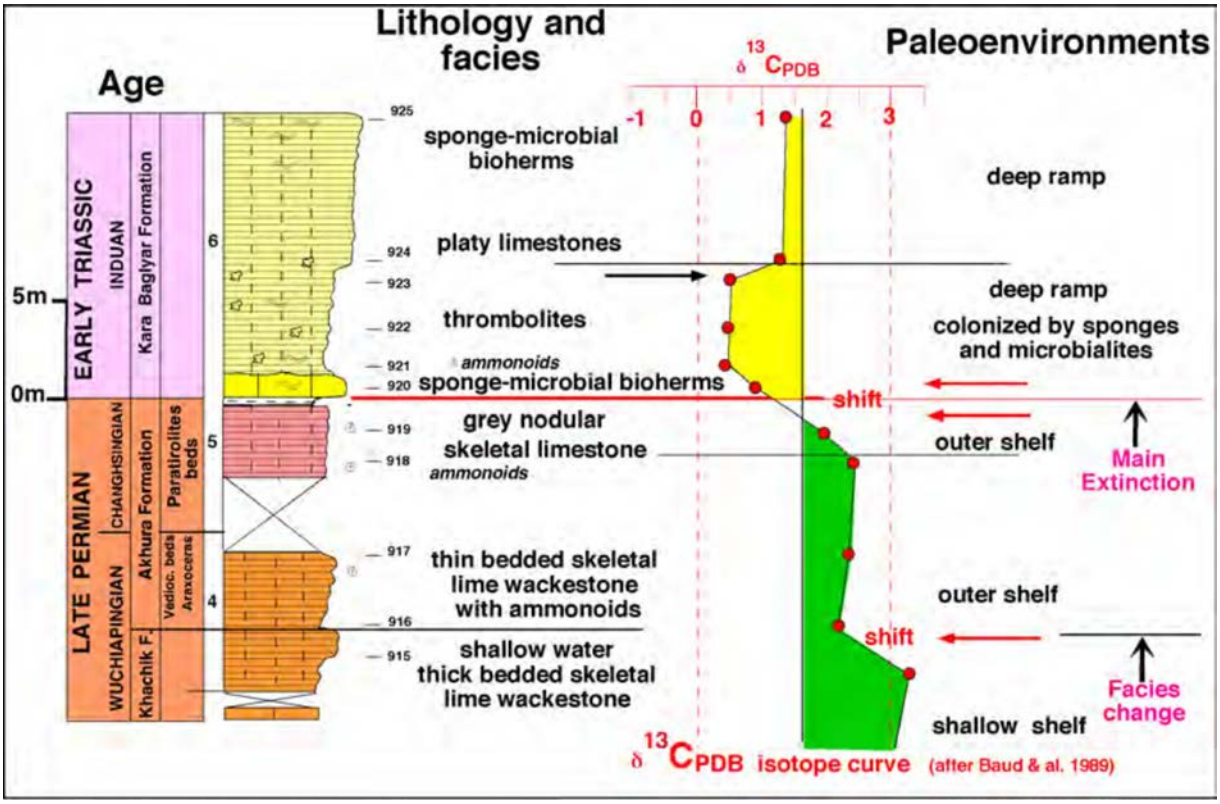
sljedova iz Omana, te na lokalitetima Nammal Gorge (Pakistan), Bálvány-North (planina Bükk, Mađarska) i Schuchert Dal (Grenland).

Konkordantna P/T granica za većinu gornjopermskih omanskih sljedova nije utvrđena budući da nisu dokumentirane fosilne vrste *H. parvus* i *I. Isarcica*. Uz navedeno, ove sedimentne sljedove karakterizira pojava breča u stijenama najgornjega perma što je, prema Korte & Kozur (2010 i pridružene reference), mogući razlog drugačijeg izotopnog trenda.

Na lokalitetu Nammal Gorge (Pakistan) P/T granica utvrđena je unutar Kathawi člana Mianwali formacije, točnije dolomitnog sloja u donjem dijelu Kathawi člana. Na navedenome lokalitetu utvrđen je i hijatus između gornjopermske Chhidru formacije i Kathawi člana Mianwali formacije. Prema Korte & Kozur (2010 i pridružene reference) blizina same granice ovome hijatusu upućuje na promjenu izotopnog sastava zbog mogućeg utjecaja slatke vode.

Nagli pad $\delta^{13}C_{carb}$,s 0 na -4 ‰, zabilježen je na lokalitetu Bálvány-North (planina Bükk, Mađarska) u graničnom šejlu između gornjopermske formacije Nagyvisnyó Vapnenci i donjotrijaske formacije Gerennavár Vapnenci (Korte & Kozur, 2010). Ovaj pad nije asociran s litološkom promjenom (nalazi se unutar graničnog šejla, a nakon pada, vrijednosti ponovno rastu na 0 ‰), pa se ovaj trend razlikuje od izotopnog trenda karakterističnog za P/T granicu. Korte & Kozur (2010 i pridružene reference) navode da se iznad graničnog šejla koji u sebi sadrži negativnu anomaliju u sastavu ugljikovih izotopa nalazi granična glina (BC) koja u sebi još uvijek sadrži permske fosile zbog čega točna pozicija P/T granice nije određena.

Na području Armenije prisutno je nekoliko lokaliteta koji u sebi sadrže P/T granicu. U terenskom vodiču Sahakyan et al. (2017), među ostalima autori opisuju i lokalitet Vedi smješten u gornjem dijelu istoimene riječne doline. Geomorfološki, spomenuti lokalitet dio je antiklinalne strukture sačinjene od premskih i trijaskih karbonata. Utvrđena su 4 sedimentna slijeda na kojima je moguće pratiti prijelaz iz permskih stijena u stijene trijaske starosti. Starost naslaga određena je biostatigrafski, te su dostupne i geokemijske analize stabilnih ugljikovih izotopa. Geokemijskom analizom sedimentnog slijeda Vedi 2 (**slika 5.3**) utvrđeno je da su srednjopermski vapnenci obogaćeni teškim ugljikovim izotopom ($\delta^{13}C$ > 4 ‰), a prvi pad vrijednosti od 1 ‰ poklapa se s granicom guadalupij-lopingij. Drugi pad vrijednosti, također u iznosu od oko 1 ‰ starosno odgovara srednjem wuchiapingiju dok se treći, značajniji pad vrijednosti od 2 ‰ nalazi na samom prijelazu iz perma u trijas. Donjotrijaske stijene uglavnom karakterizira niži sadržaj težeg ugljikova izotopa ($\delta^{13}C$ vrijednosti između 0.2 i 1.2 ‰).



Slika 5.3: *Litološki stup i izotopna krivulja s $\delta^{13}C$ vrijednostima za stijene gornjega perma i donjega trijasa sedimentnog profila Vadi 2 (preuzeto iz Sahakyan et al., 2017)*

6. STABILNI IZOTOPI

Analize izotopnog sastava elemenata u geologiji svoju primjenu nalaze unutar niza različitih područja. Jedna od najznačajnijih primjena je svakako ona unutar geokronologije, gdje se izotopi koriste za određivanje apsolutne i relativne starosti stijena. Uz široko primijenjene analize radioaktivnih izotopa, koje se prvenstveno koriste za datiranje apsolutne starosti, česte su i analize stabilnih izotopa koje nam, osim uvida u uvijete paleookoliša, mogu poslužiti i u korelativnom određivanju starosti stijena. Prema Attendorn & Bowen (1997 i pridružene reference) rezultate analiza stabilnih izotopa ponekad je moguće koristiti u korelaciji sedimentnih stijena na jednak način kao što se to provodi na temelju njihovih fizičkih ili petrografskih svojstava. Ovakva primjena podrazumijeva postojanje događaja koji su utjecali na fizičke i kemijske karakteristike biosfere na globalnoj razini. Slikovit primjer takvih događaja masovna su izumiranja kojih je tijekom Zemljine prošlosti bilo nekoliko. Globalna izumiranja biote, kao posljedica često naglih promjena paleookoliša, rezultirala su specifičnim sastavom stabilnih izotopa pojedinih elemenata u tada taloženim sedimentima, što ih čini geokemijski prepoznatljivim i iskoristivim u okviru paleoekologije.

Većina elemenata u prirodi je zastupljena s dva ili više stabilnih izotopa, a njihovi sastavi mogu biti raznovrsni. Elemente manjih atomskih masa, kao što su vodik, kisik ili npr. ugljik, najčešće karakterizira dominacija jednog izotopa, dok se ostali nalaze u tragovima. Zbog razlika u masenom broju izotopi istog elementa imaju različita fizikalno-kemijska svojstva što je prvenstveno posljedica slabijih atomskih veza koje formiraju lakši izotopi. Navedeno dovodi do razlika u gustoći, temperaturi vrelišta, temperaturi tališta, viskoznosti i ostalim fizikalnim svojstvima, kako samih izotopa tako i molekula koje oni formiraju (primjer **tablica 6.1**).

Prema Hoefs (2009), ugljik je u prirodi zastupljen s dva stabilna izotopa: ^{12}C s 98,93 % i ^{13}C s 1,07 %. Isti autor također navodi kako izotopni sastav ugljika, budući da se javlja u velikom broju različitih spojeva, može varirati u rasponu od 120 ‰. Za razliku od ugljika, prema Hoefs (2009), kisik se javlja u formi 3 stabilna izotopa u sljedećem omjeru: ^{16}O s 99,757 %, ^{17}O s 0,038 % i ^{18}O s 0,205 %, a mala količina prirodnog ^{17}O razlog je što se izotopne analize kisika baziraju na omjeru $^{18}O/^{16}O$, koji u prirodi može varirati i do 10 %. Različiti izotopni sastavi pojedinog elementa posljedica su frakcionacije, odnosno podjele izotopa između dvije tvari, ili

dvije faze iste tvari. Glavni procesi kojima se izotopna frakcionacija odvija su kinetička frakcionacija (kinetički izotopni efekt) i ravnotežna frakcionacija (Hoefs, 2009).

Tablica 6.1: Karakteristična fizikalna svojstva $H_2{}^{16}O$, $D_2{}^{16}O$ i $H_2{}^{18}O$ (preuzeto iz Hoefs, 2009).

Svojstvo	$H_2{}^{16}O$	$D_2{}^{16}O$	$H_2{}^{18}O$
Gustoća (20°C, g cm^{-3})	0,997	1,1051	1,1106
Temperatura najveće gustoće (°C)	3,98	11,24	4,30
Talište (760 Torr, °C)	0,00	3,81	0,28
Vrelište (760 Torr, °C)	100,00	101,42	100,14
Tlak pare (100°C, Torr)	760,00	721,60	
Viskoznost (20°C, mPa. · s)	1,002	1,247	1,056

Izotopni sastav ugljika i kisika izražava se u „δ“ vrijednostima koje predstavljaju razliku izotopnih omjera ($^{18}O/^{16}O$, $^{13}C/^{12}C$), izraženu u promilima, između promatranog uzorka i internacionalnog standarda. Za analizu izotopa ugljika i kisika iz karbonatnih stijena generalno se koristi PDB/VPDB (engl. Vienna Pee Dee Belemnite) karbonatni standard koji je korišten i u ovome radu. Omjeri koncentracija stabilnih izotopa ovih elemenata ovise o nizu faktora, a trebali bi biti u pravilnom odnosu sa sastavom paleookoliša u kojem je stijena nastala. Navedeno često nije slučaj zbog mnogobrojnih procesa koji se zbivaju u sedimentu od vremena njenog taloženja pa sve do kraja dijageneze. U daljnjem tekstu ukratko su opisani procesi koji utječu na frakcionaciju navedenih izotopa, a kroz koje su istraživane stijene s profila Brušane Sy i Brušane 2 mogle proći.

Prilikom anorganske precipitacije karbonata, izotopni sastav novoformiranog minerala je u ravnoteži sa svojom okolinom. Prema Marshall (1992), glavni faktori o kojima ta ravnoteža ovisi su izotopni sastav otopine iz koje je mineral precipitiran i temperatura na kojoj se precipitacija događa. U karbonatnom sustavu utjecaj temperature značajan je samo za frakcionaciju kisikovih izotopa, dok je taj utjecaj na frakcionaciju ugljikovih izotopa, unutar temperaturnog okvira precipitacije marinskih karbonata, gotovo zanemariv. Sukladno tome analize stabilnih izotopa kisika marinskih karbonata mogu se koristiti za procjenu temperature paleookoliša, pri čemu valja napomenuti da su za određivanje temperature, uz δ vrijednosti prema PDB standardu, potrebne i δ vrijednosti prema SMOW (engl. Standard Mean Ocean Water) standardu. Budući da su sastavni dijelovi mnogih karbonatnih stijena produkti biološke

aktivnosti, za njih spomenuti ravnotežni faktori ne moraju uvijek vrijediti. Ova odstupanja prvenstveno se odnose na frakcionaciju izotopa ugljika uslijed kinetičkog izotopnog efekta i fizioloških efekata vezanih uz životne procese pojedinih organizama. Navedeno je nužno uzeti u obzir pri odabiru materijala za geokemijske izotopne analize.

Prema Hoefs (2009) do frakcionacije između stabilnih izotopa ugljika (^{12}C i ^{13}C) dolazi kroz dva različita reakcijska mehanizma. Prvi se odnosi na ravnotežne reakcije izmjene izotopa unutar anorganskog ciklusa ugljika koji uključuje atmosferski CO_2, otopljeni bikarbonat i karbonat u čvrstom stanju, a vodi ka obogaćenju ^{13}C u karbonatima. Drugi mehanizam odnosi se na kinetički izotopni efekt koji je značajan tijekom fotosinteze, a rezultira obogaćenjem ^{12}C u sintetiziranoj organskoj tvari. Ovi procesi rezultiraju različitim izotopnim sastavom između organske tvari i marinskih karbonata. Karbonati se zbog toga odlikuju većom količinom težeg ugljikovog izotopa u svome sastavu, $\delta^{13}C_{carb}$ vrijednosti oko 0 ‰, dok je organska tvar obogaćena lakšim izotopom, $\delta^{13}C_{org}$ oko -25 ‰. Vrijednosti ^{13}C u marinskim karbonatima usko su povezane s izotopnim sastavom otopljenih bikarbonata iz kojih su precipitirani. Povećane vrijednosti $\delta\ ^{13}C_{carb}$ mogu se objasniti povećanjem očuvanosti proizvedene organske tvari, bogatije s ^{12}C, čime sustav iz kojeg se karbonati precipitiraju postaje obogaćeniji težim izotopom. Za razliku od pozitivnih, negativne $\delta\ ^{13}C_{carb}$ vrijednosti ukazuju na smanjenje očuvanosti ili oksidaciju prethodno istaložene i iz sustava uklonjene organske tvari. Iako se izotopni sastav otopljenih bikarbonata kreće u relativno uskom području, Marshall (1992) navodi da je s porastom dubine morske vode prisutan konstantni pad $\delta^{13}C$ vrijednosti. To je posljedica oksidacije organske tvari, s izrazito negativnim $\delta^{13}C_{carb}$ vrijednostima, u dubljim vodama ili na morskome dnu.

Nakon formacije, izotopni sastav primarnih karbonata može biti promijenjen. Prema Marshall (1992 i pridružene reference) različite komponente karbonatnih stijena imaju različit dijagenetski potencijal, a time i tendenciju za očuvanje primarnog izotopnog signala (**slika 6.1**). Razlog tome vezan je prvenstveno za mineralogiju, odnosno topljivost, a time i reaktivnost različitih minerala od kojih je primarna stijena sačinjena. Primjer navedenog je relativna stabilnost, odnosno niska topivost niskomagnezijskog kalcita nasuprot metastabilnosti visokomagnezijskog kalcita i aragonita. Autor navodi i to kako uz kemijski sastav dijagenetski potencijal, odnosno tendencija ka rekristalizaciji ovisi i o veličini primarnih sastojaka stijene, sukladno čemu su manje čestice, zbog svoje veće relativne površine, topivije. Prema Hoefs

(2009) najznačajniji dijagenetski procesi koji mogu utjecati na promjenu izotopnog sastava karbonata su cementacija te otapanje s pratećom precipitacijom. Ako do cementacije dođe relativno brzo nakon taloženja sedimenta, iskristalizirani cement će najvjerojatnije biti u izotopnoj ravnoteži s primarnim karbonatnim zrnima, dok naknadne cementacije mogu rezultirati različitim sadržajem izotopa što ovisi o sastavu porne vode i temperaturi pri kojoj se ona događa. Kod disolucije i precipitacije nestabilna primarna mineralna faza (npr. aragonit) reagira s pornom vodom koja sadrži otopljene bikarbonate. Time nastaje stabilna mineralna faza (npr. kalcit) čiji izotopni sastav, ovisno o uvjetima u kojima se ovi procesi događaju, može biti promijenjen.

POTENCIJAL OČUVANJA PRIMARNOG IZOTOPNOG SIGNALA		**Komponente**		**Sediment**
		Skeletne	**Ne skeletne**	
VISOK Velika vjerojatnost očuvanja primarnih vrijednosti ugljika i kisika	primarni aragonit Fosili, zrna i cementi od primarnog niskomagnezijskog kalcita	Mekušci Brahiopodi Belemniti Foraminifere Bivalve	Marinski cementi Marinski cementi LMC ooidi	Pelagički sedimenti, prvenstveno kokolitneooze
UMJEREN Vrijednosti za ugljik mogu biti očuvane, kisikove vrijednosti uglavnom izmijenjene	Sekundarni kalciti (stabilizirani u relativno zatvorenom sistemu s niskim omjerov voda/stijena)	Mekušci Foraminifere Koralji Bodljikaši Karbonatne alge	Marinski cementi Ooidi, peloidi, intraklasti	Neki mikriti Neki plitkovodni vapnenci Neki dolomiti
NIZAK vrijednosti ugljika i kisika su vjerojatno izmijenjena	Sekundarni kalciti (stabilizirani ili cementirani u relativno otvorenom sistemu s visokim omjerom voda/stijena)	Vapnenci i komponente izmijenjeni meteorskom dijagenezom ili intenzivnom cementacijom/ rekristalizacijom tijekom zalijeganja. Mnogi dolomiti		

Slika 6.1: *Potencijal očuvanja primarnog izotopnog signala marinskih karbonata i njihovih komponenti (preuzeto iz Marshall, 1992)*

Promjene primarnog izotopnog sastava karbonata ovisne su i o uvjetima u kojma se događaju dijagenetski procesi. Sukladno tome, Hoefs (2009) razlikuje dijagenezu zalijeganja i meteorsku dijagenezu. Dijageneza zalijeganja prvenstveno se odnosi na dubokomorske okoliše gdje velik utjecaj na izotopni sastav karbonata ima oksidacija organske tvari. S povećanjem stupnja zalijeganja organska tvar prolazi kroz niz reakcija koje rezultiraju oslobađanjem lakšeg ugljikovog izotopa što može rezultirati smanjenim $\delta^{13}C$ vrijednostima. Međutim autor ističe kako određeni fermentacijski procesi mogu rezultirati oslobađanjem izotopski teškog CO_2, a time i povećanjem $\delta\,^{13}C$ vrijednosti. Za razliku od dubokomorskih, karbonati koji su taloženi u plitkom moru mogu biti izloženi utjecaju meteorskih voda. Meteorska dijageneza najčešće rezultira smanjenim $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ vrijednostima zbog utjecaja meteorske vode osiromašene ^{18}O izotopom i kopnenih bikarbonata lakšeg izotopnog sastava.

Prema Hoefs (2009) dolomitizacija primarnih vapnenaca također može utjecati na promjenu izotopnog sastava. Ovaj utjecaj prvenstveno se odnosi na promjenu u sastavu kisikovih izotopa, a ovisi o sastavu porne vode i temperaturi na kojoj se sam proces događa. Budući da se porna voda odlikuje relativno niskim sadržajem bikarbonata, sastav ugljikovih izotopa nakon dolomitizacije najčešće ostaje nepromijenjen. Ova činjenica omogućuje primjenu izotopnih analiza i u dolomitiziranim naslagama koje su u geološkoj prošlosti znatno zastupljene.

7. REZULATI

U ovome radu dan je prikaz osnovnih karakteristika stijena gornjega perma i najdonjega trijasa. Temeljem ranije poznatih rezultata (Đukan, 2016) kao i vlastitih mikropetrografskih zapažanja (priložena dalje u tekstu) izrađen je sedimentološki stup za slijed Brušane Sy. Uz prikaz rezultata vlastitih mikropetrografskih zapažanja priloženi su i neki od rezultata dobiveni u sklopu provedbe ranije spomenutog bilateralnog projekta (analiza stabilnih izotopa $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ te konodonata) što je omogućilo usporedbu mikropetrografskih karakteristika s rezultatima analiza stabilnih izotopa i konodontnih vrsta. Sukladno navedenome prikaz rezultata dan je u tri potpoglavlja – mikropetrografska zapažanja, kemostratigrafske karakteristike, te biostratigrafkse karakteristike slijeda Brušane Sy.

7.1 Mikropetrografske karakteristike sedimentnog slijeda Brušane Sy

Slijed „Brušane Sy“ dominantno se sastoji od naslaga gornjega perma budući da se sama granica perm-trijas nalazi u njegovom vršnom dijelu te je detaljno, kartiranjem u malom mjerilu definirana u Đukan (2016). Ove naslage, ranodijagenetski/mimikrijski dolomiti, daju jasan uvid u taložne uvijete karbonatne platforme pred sam kraj perma. Uzorci od kojih su načinjeni mikropetrografski preparati predstavljaju reprezentativne stijene duž čitavog istraživanog slijeda naslaga.

Mikropetrografskom analizom utvrđeno je da su promatrane stijene u potpunosti dolomitizirane. Budući da je kemijski sastav primarnog sedimenta u vrijeme taloženja vjerojatno odgovarao aragonitu/visokomagnezijskom kalcitu, proces dolomitizacije je utjecao na konačnu morfologiju promatranih stijena. Iako dimenzije dolomitnih kristala u uzorcima variraju, uglavnom se mogu poistovjetiti s dimenzijama kristala primarnih karbonatnih konstituenata. Primjer različitih dimenzija dolomitnih kristala je u potpunosti dolomitizirano mikritno vezivo (**slika 7.1:** A, B, C, D) te dolosparit na mjestima stjenki ljušturica mnogih bioklasta **(slika 7.1:** B, C, E; **7.3:** C). Kristali dolomita tipičnog, romboedrijskog habitusa uglavnom izostaju, osim na pojedinim mjestima u uzorcima kao što su intrafosilne šupljine ili šupljine otapanja gdje vjerojatno zamjenjuju krupnokristalasti primarni cement (**slika 7.3:** C, E, F). Uz navedeno valja napomenuti da su u pojedinim uzorcima primarne strukture uslijed

procesa dolomitizacije ili naknadne rekristalizacije slabije očuvane (**slika 7.1:** E; **7.2:** C, F; **7.3:** B, D) ili u potpunosti uništene (slika **7.1:** F).

Promatrani se slijed dominantno sastoji od dolomikrita/madstona (**slika 7.1:** A, B; **7.4:** C), te dolobiomikrita/ vekstona (**slika 7.1:** C; **7.3:** C, E, F; **7.4:** B, D, E) i podređeno pekstona (**slika 7.1:** E). Za uzorke s kraja slijeda (Sy37 i Sy38) klasifikacija po Dunammu i Folku izostaje budući da njihov primarni sastav zbog snažnije rekristalizacije nije bilo moguće odrediti. Ove stijene su klasificirane jednostavno kao dolomiti (**slika 7.1:** F). U daljnjem tekstu opisane su generalne karakteristike promatranih stijena – prvenstveno one koje upućuju na okoliš taloženja i dijagenetske procese.

Za najveći dio promatranih uzoraka karakteristična je prisutnost fosila. Od fosila, koji se javljaju od početka do gotovo samog kraja slijeda, dominantno su zastupljeni ostaci zelenih vapnenačkih alga i njihovih spora (**slika 7.3:** B, C, E; **7.4:** D, E), ostrakodi (**slika 7.1:** C; **7.3:** E), gastropodi (**slika 7.1:** B; **7.2:** A; **7.3:** C) te foraminifere (**slika 7.1:** C; **7.3:** D; **7.4:** A, D). Uz navedene u mnogim uzorcima su prisutni i tragovi života cijanobakterija te ostali nedeterminirani fosili. Cijanobakterije se javljaju, osim u formi prevlaka kojima mogu formirati biolitite, i kao inkrustrirajući organizmi, a mogu se vidjeti sačuvana njihova vlakanca (**slika 7.3:** A). Ponekad su izdvojene, odnosno predstavljaju alokeme samog sedimenta (**slika 7.3:** B; **7.4:** B). Fosili su različito očuvani – na mjestima većine ljušturica gastropoda i ostrakoda sada je prisutan dolosparit koji zamjenjuje građu njihovih primarnih stjenki (**slika 7.1:** D). Ispuna unutrašnjosti ljušturica fosila varira te često ovisi o stupnju njihove cjelovitosti. Sukladno navedenome kao ispuna se javlja mikritno vezivo jednako vezivu stijene (**slika 7.1:** B), ili cement (**slika 7.3:** D; **7.4:** A), pri čemu mogu biti prisutne i geopetalne strukture (**slika 7.3:** C).

Među strukturnim sastojcima promatranih stijena su i intraklasti (**slika 7.4:** D) koji ponekad mogu biti i glavni konstituenti nekih od uzoraka. Intraklasti su tamniji od mikritnog matriksa u kojem se nalaze i imaju uglavnom nizak stupanj zaobljenosti. Dimenzije variraju, od nekoliko desetaka μm do >1 mm, a osim u matriksu nalazi ih se i u pukotinama ispunjenim cementom (**slika 7.3:** F) ili mikritom novije generacije (**slika 7.4:** E). Kao izolirana pojava oko pojedinih intraklasta smještenih u pukotinama javlja se izopahni cement (**slika 7.2:** C).

U velikom broju mikroskopskih preparata prisutne su šupljine ispunjene mozaičnim cementom i/ili mehanički taloženim internim silom. Pojedine šupljine determinirane su kao šupljine otapanja (**slika 7.1:** B; **7.3:** E) ili šupljine nastale pucanjem sedimenta (**slika 7.3:** F).

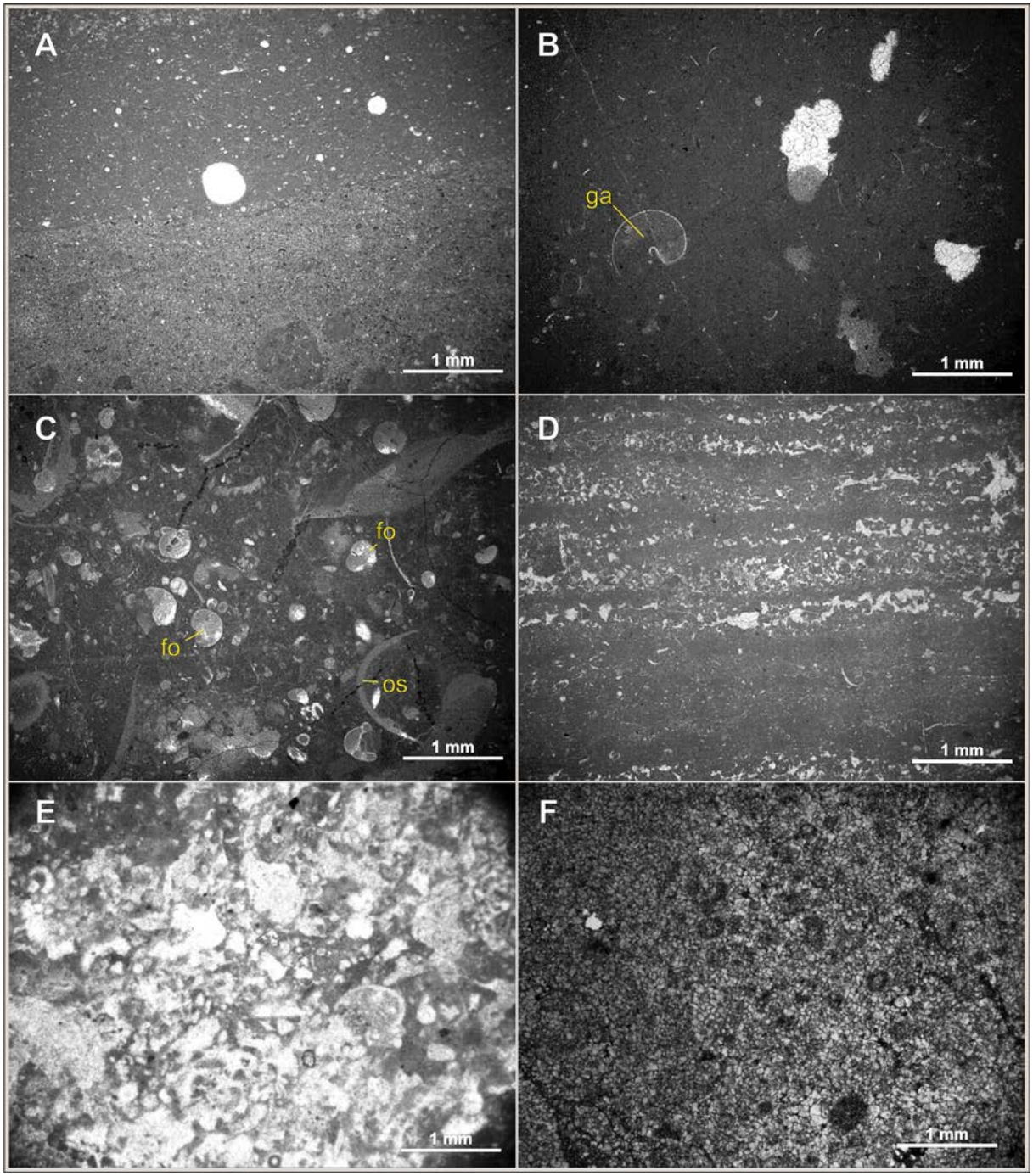
Morfologija i raspored šupljina pojedinih uzoraka ukazuje na njihovo drugačije podrijetlo. Kao primjer navedenoga su međusobno povezane šupljine koje karakterizira relativno pravilno, zaobljeno dno te nepravilni, nazubljeni svod (**slika 7.2:** A). Navedene šupljine determinirane su kao *stromataktis* struktura, a osim njih u pojedinim uzorcima su prisutne i fenestralne šupljine koje formiraju tzv. „*birds eye*“ strukturu **(slika 7.3:** C).

Pojedine uzorke iz slijeda Brušane Sy karakterizira pojava bioturbacije. Bioturbacije se javljaju prvenstveno u mikritnim uzorcima, a očituju se kroz kružnu orijentaciju sastojaka mikrita oko bioturbacijskog kanala (**slika 7.2:** D) ili u vidu tamnijih i svjetlijih područja u mikritu (**slika 7.2:** F).

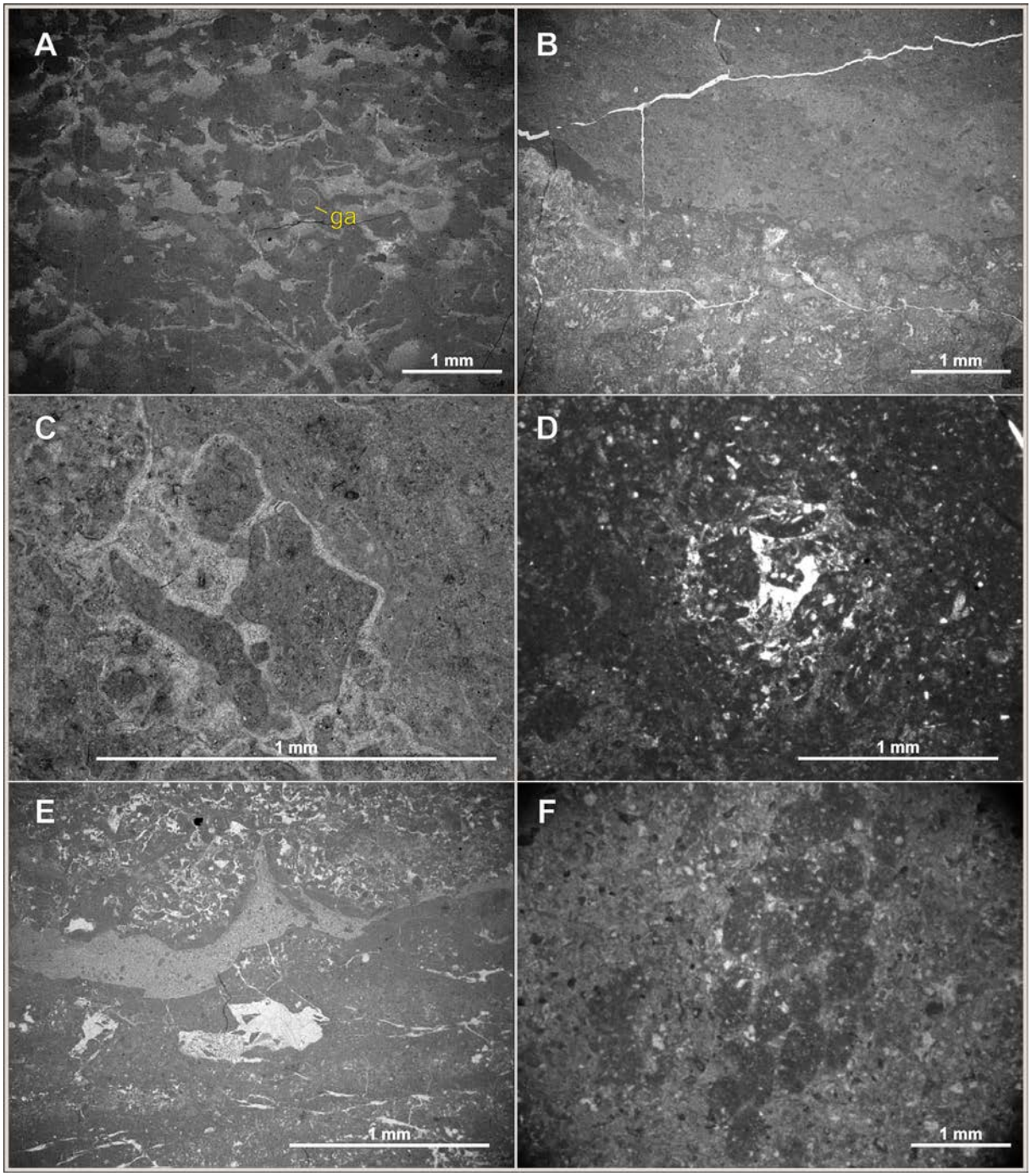
U pojedinim uzorcima prisutne su i nagle, oštre granice unutar sedimenta koje su determinirane kao tzv. „*hardground*“ površine (**slika 7.2:** B; **7.4:** F). Ove površine pokazuju litifikaciju na morskome dnu, na granici sediment voda, dok dublji sediment ostaje nelitificiran. *Hardground* površine karakterizira promjena u vidu sedimentnog sastava, prekinuta zrna i ihnofosili (**slika 7.4:** F), te mikritizirani površinski rub. Osim *hardground* površina u slijedu su također uočeni tragovi isušivanja i tzv.„*te-pee*“ struktura (**slika 7.2:** E).

Unutar dva uzorka istraživanog slijeda utvrđena je pojava pirita. U uzorku Sy17B zrna pirita su dimenzija ~50 μm te su raspršena unutar mikritnog veziva (**slika 7.4:** C), dok je pirit iz uzorka Sy6a krupniji te se nalazi isključivo u šupljinama ispunjenim cementom.

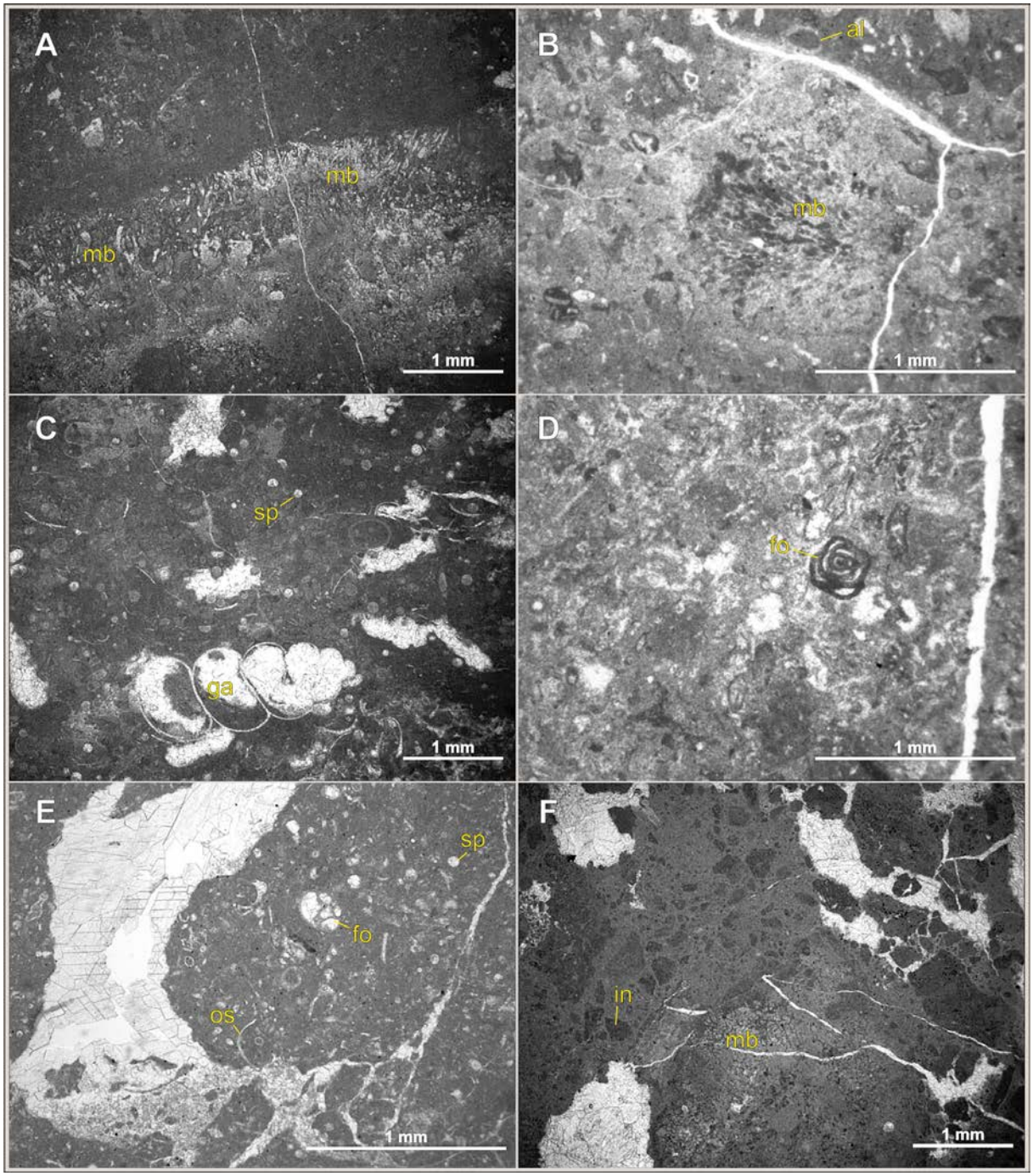
Naslage neposredno ispod P/T granice (Sy35 i Sy36) su lošije očuvane naspram prethodnih, starijih naslaga te predstavljaju prijelaz između ranodijagenetskih i kasnodijagenetskih dolomita. Iznad njih slijede strukturno bitno različiti, krupnokristalasti dolomiti (uzorci Sy37 i Sy38). U ovim naslagama primarni strukturni sastojci su u potpunosti uništeni, a samo mjestimično se može prepoznati forme koje odgovaraju duhovima ooida ili sferičnim intraklastima. Upravo je u ovim dolomitima (uzorci Sy37 i Sy38), strukturno i paleontološki različitim od svih analiziranih uzoraka (Sy1-Sy36), pronađen *Hindeodus parvus* (podatke je ustupio Yanlong Chen, suradnik na istraživačkom projektu Hrvatska-Austrija. Stoga se sa sigurnošću P/T granica može pozicionirati na početku sloja 37.



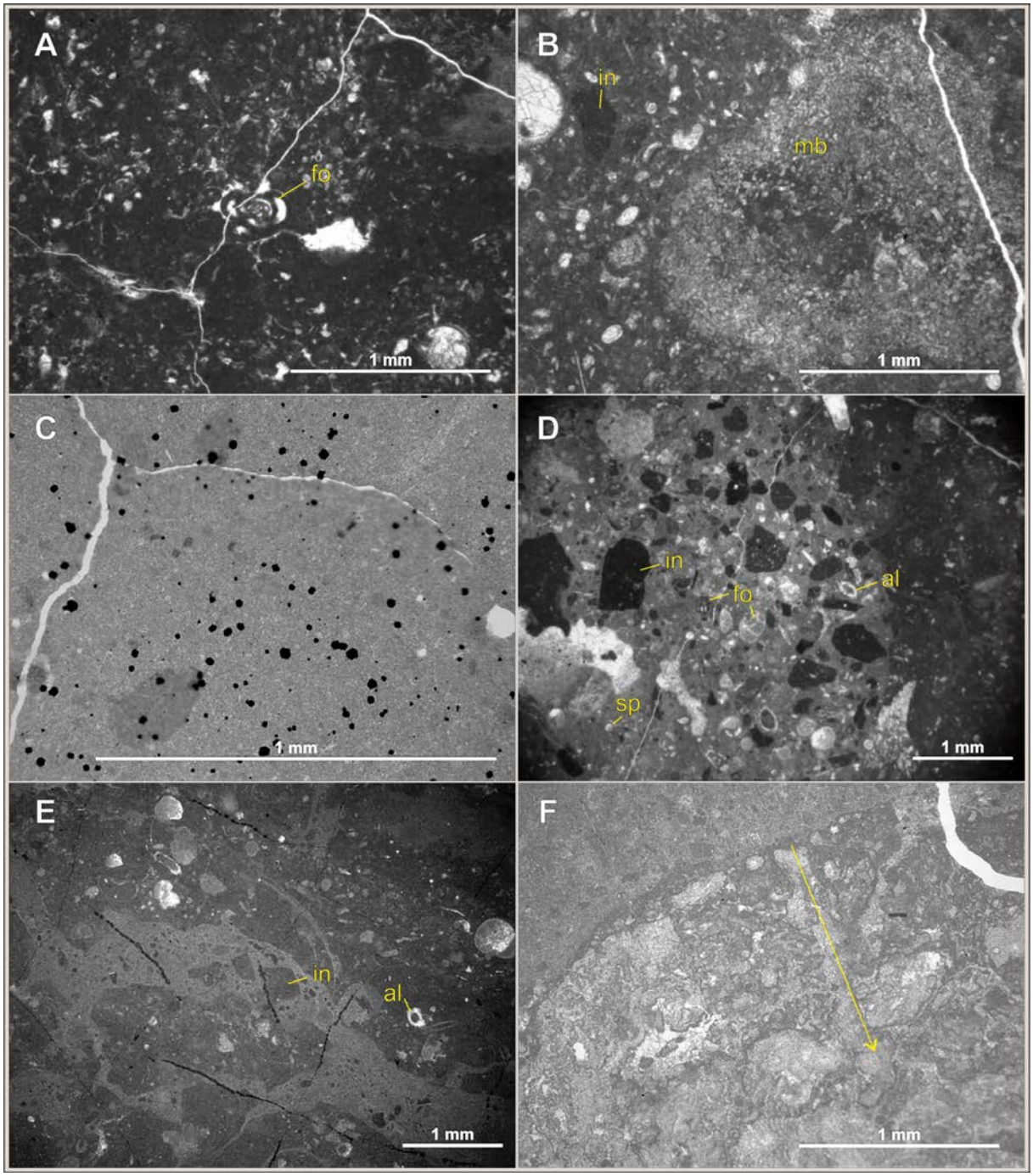
Slika 7.1: *Mikrofotografije uzoraka stijena slijeda Brušane Sy: A – Sy1a (izmjena mikrita i mikrosparita; dolomikrit/madston); B – Sy6a (šupljine otapanja, ga – gastropod; dolomikrit/madston); C – Sy7 (fo – foraminifere, os – ostrakodi; dolobiomikrit/vekston); D – Sy16b (dolomikrit/madston do laminirani fenestralni madston); E – Sy35 (dolobiomikrit/pekston); F – Sy37 (makrokristalasti dolomit)*



Slika 7.2: *Mikrofotografije uzoraka stijena slijeda Brušane Sy: A – Sy12 (fenestralna/stromataktis struktura; dolomikrit/madston do dolobaundston/biolitit); B – Sy11 („hardgound“ površina; dolomikrit/madston); C – Sy5 (izopahni cement oko intraklasta; dolobiomikrit/madston); D – Sy21 (bioturbacija; dolomikrit/madston); E – Sy16b (fragmentirana mikrobijalna kora; dolomikrit/madston do laminirani fenestralni madston); F – Sy27 (bioturbacija; doloalomikrit/madston)*



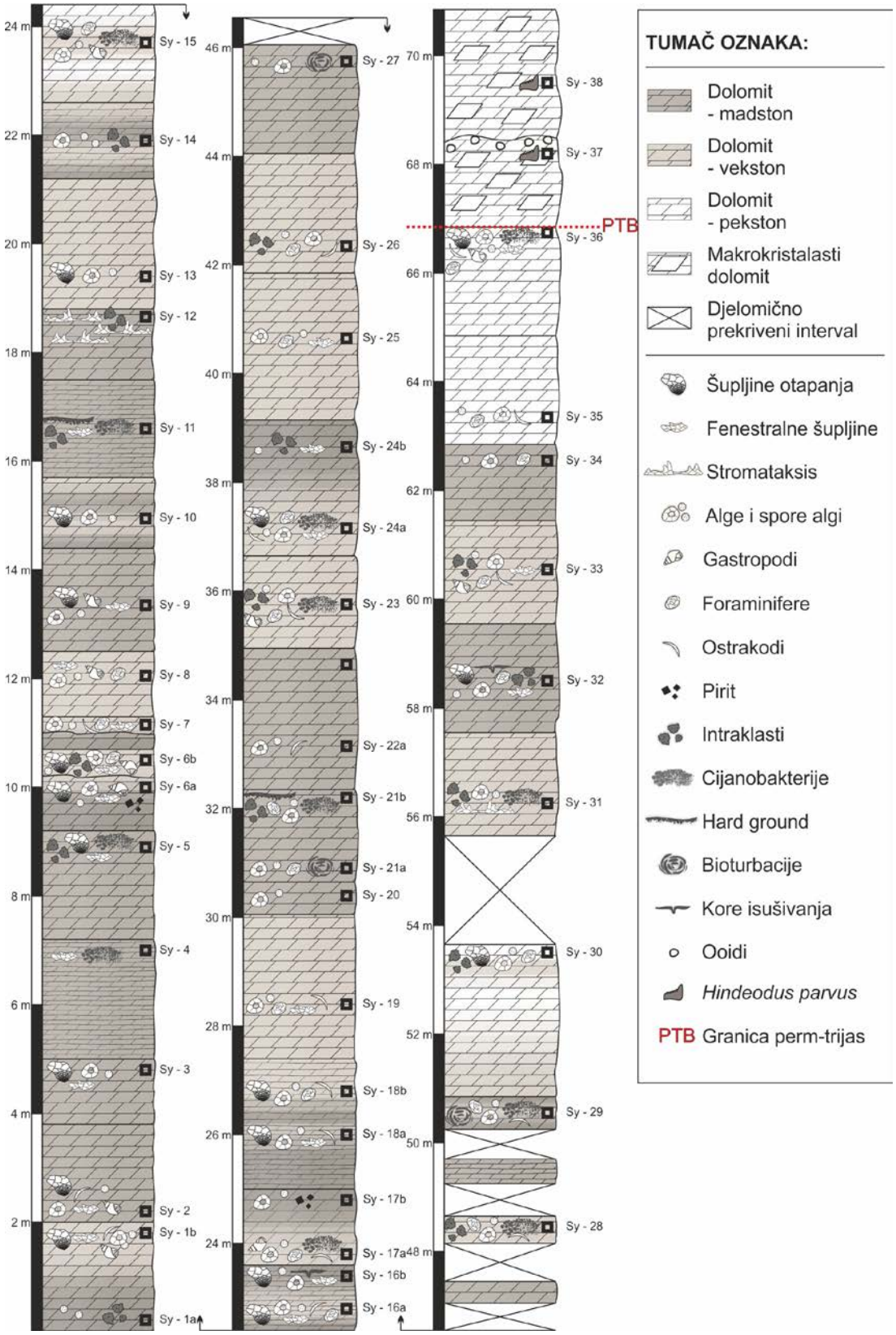
Slika 7.3: *Mikrofotografije uzoraka stijena slijeda Brušane Sy: A – Sy4 (mb - cijanobakterije; dolomikrit/madston do dolobaundston/biolitit); B – Sy31 (mb – cijanobakterije, al – vapnenačka alga; dolomikrit/madston do dolobaundston/biolitit); C – Sy1b (ga – gastropod, sp – spore algi; dolobiomikrit/vekston); D – Sy29 (fo - foraminifera; dolodismikrit/madston); E – Sy17a (fo – foraminifera, os – ostrakod, sp – spore algi; dolobiomikrit/vekston); F – Sy33 (mb – cijanobakterije, in - intraklasti; dolointramikrit/vekston)*



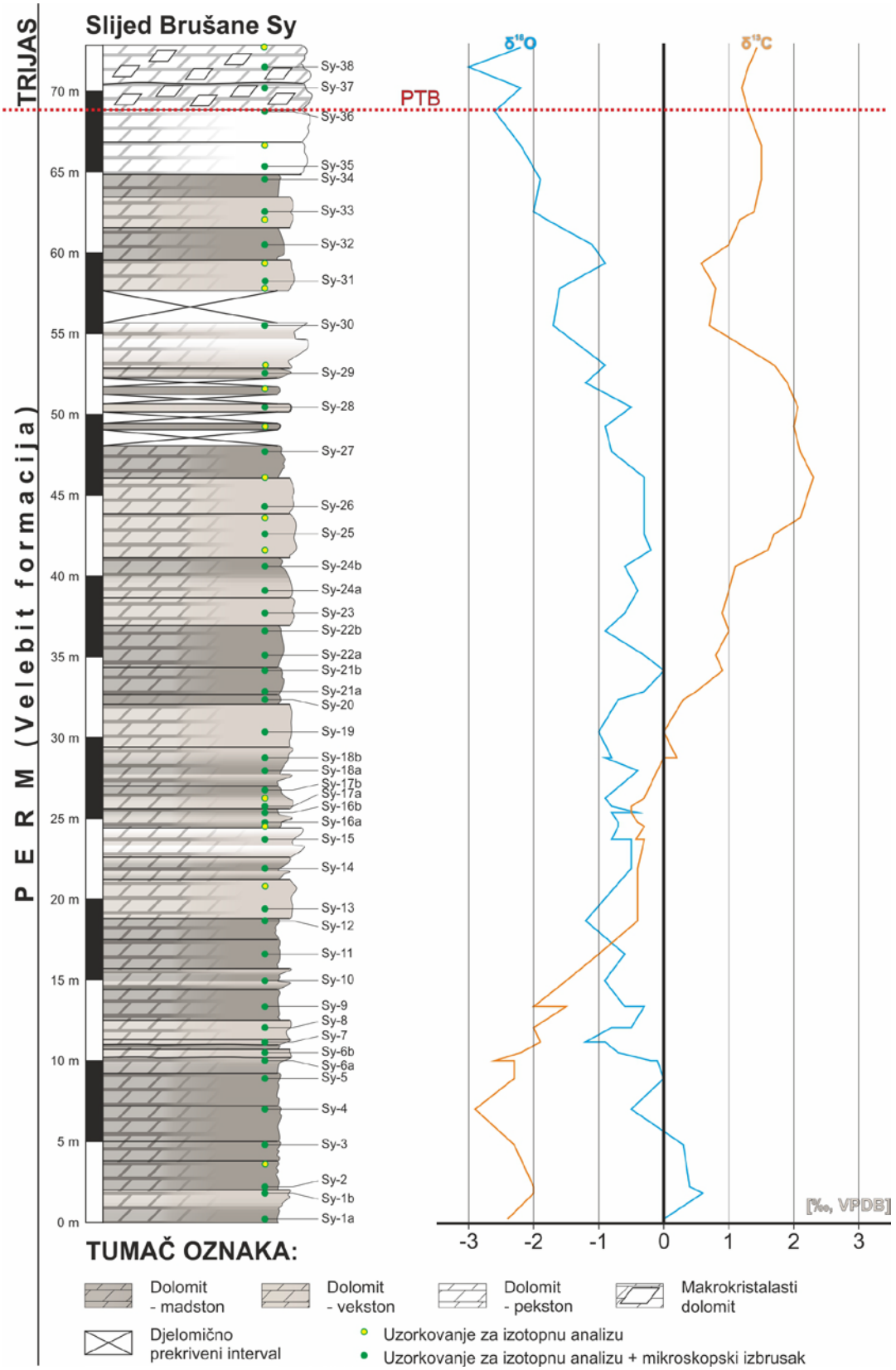
Slika 7.4: *Mikrofotografije uzoraka stijena slijeda Brušane Sy: A – Sy32 (fo – foraminifera; dolomikrit/madston); B – Sy28 (mb – cijanobakterije,; dolobiomikrit/vekston); C – Sy17b (pirit; dolomikrit/madston); D – Sy33 (fo – foraminifera, al – vapnenačka alga, sp – spore algi, in – intraklasti; dolobiomikrit/vekston); E – Sy7 (in – intraklasti, al – vapnenačka alga; dolobiomikrit/vekston); F – Sy11 (žuta strelica – smjer bioturbacije; dolomikrit/madston)*

Temeljem utvrđenih karakteristika opisanih naslaga nacrtan je geološki stup (**slika 7.5**). Na stupu su različitim bojama i šrafurama prikazani pojedini tipovi stijena te su različitim oznakama naznačeni utvrđeni strukturni sastojci i prethodno opisane pojave.

Povrh navedenog geološki stup načinjen je i u sitnijem mjerilu na kojem je ujedno dan i prikaz analize stabilnih izotopa kisika i ugljika slijeda Brušane Sy (**slika 7.6**). Na ovome stupu prikazani su samo pojedini tipovi stijena te mjesta uzorkovanja, odnosno pozicije pojedinih uzoraka. Detaljniji prikaz rezultata analize stabilnih izotopa dan je u **potpoglavlju 7.2.**



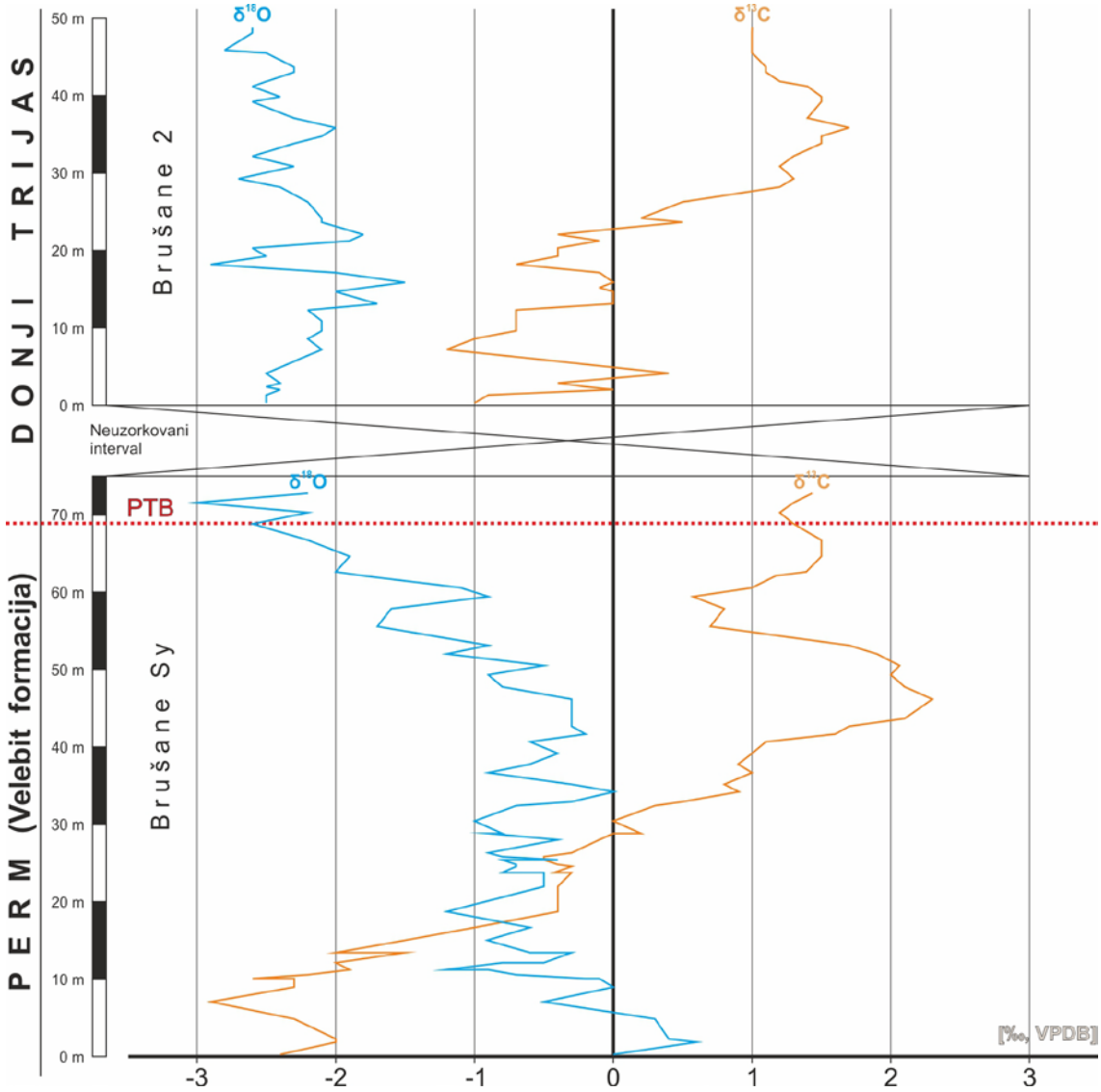
Slika 7.5: *Geološki stup sedimentnog slijeda Brušane Sy*



Slika 7.6: *Kondenzirani geološki stup slijeda Brušane Sy s analizom stabilnih izotopa*

7.2 Rezultati analize stabilnih izotopa sljedova Brušane Sy i Brušane 2

Od ukupnog broja uzoraka slijeda Brušane Sy koji su podvrgnuti analizi stabilnih izotopa (**prilog 1**), njih 46 ujedno odgovara analiziranim mikroskopskim preparatima. Pozicija pojedinih uzoraka unutar slijeda zajedno s konstruiranim krivuljama za vrijednosti $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ prikazana je na **slikama 7.6** i **7.7**.



Slika 7.7: *Krivulje s trendovima $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ vrijednosti za sedimentne sljedove Brušane Sy i Brušane 2*

Na području Brušana provedena je izotopna analiza, osim u spomenutom slijedu Brušane Sy i u slijedu Brušane 2. Slijed Brušane 2 snimljen je u svrhu korelacije, kako petrografskih svojstava tako i trendova izotopne krivulje na prijelazu perm-trijas i dalje u trijasu. Naknadnom petrografskom analizom utvrđeno je kako se slijed Brušane 2 isključivo sastoji od stijena donjotrijaske starosti. Rezultati izotopne analize slijeda Brušane 2 (**prilog 2**) također su prikazani u ovome radu u svrhu konstruiranja izotopnih krivulja koje predstavljaju širi vremenski raspon (**slika 7.7**) i time lakše korelacije s izotopnim trendom zabilježenim diljem svijeta. Pri tome valja napomenuti kako se krivulje ova dva slijeda ne mogu izravno nadovezati jedna na drugu budući da između njih postoji određeni neuzorkovani interval, odnosno ne dolazi do djelomičnog poklapanja ova dva slijeda. Međutim, njihova prostorna pozicija (**slika 2.1**), te nagib i pružanje slojeva ovog područja upućuju na to da debljina neuzorkovanog intervala nije velika (iznosi vjerojatno nekoliko metara).

Prema **slikam 7.6** i **7.7**, te **prilogu 1** vidljivo je da uzorke s početka profila Brušane Sy karakteriziraju negativne $\delta^{13}C$ vrijednosti (-2,9 do -1,5 ‰) koje, idući prema kraju istraživanog profila rastu, odnosno prelaze u pozitivne (~1,5 ‰). Unutar ovog, generalno rastućeg trenda vidljive su određene fluktuacije $\delta^{13}C$ vrijednosti. Najnegativnija vrijednost (-2,9 ‰) zabilježena je u uzorku BHR 4 (~7 m od ishodišta profila), dok je najveća pozitivna vrijednost (2,3 ‰) zabilježena u uzorku BHR 27a (~46 m od početka profila). Negativan trend s početka profila prisutan je u prvih petnaestak metara nakon čega vrijednosti postupno rastu na približno -0,4 ‰ (uzorak BHR 12), gdje ostaju stabilne narednih nekoliko metara, odnosno do uzorka BHR 17b. Naredna promjena očituje se kroz obogaćenje izotopnog sastava težim ugljikovim izotopom, odnosno porastom $\delta^{13}C$ vrijednosti do već spomenute maksimalne vrijednosti. Područje visokih $\delta^{13}C$ vrijednosti (~2 ‰) proteže se od uzorka BHR 25c do uzorka BHR 30a, nakon čega slijedi pad na ~0,7 ‰ (uzorci BHR 30b, BHR 31a, BHR 31b). Nakon navedenog pada ponovno se bilježi pozitivan trend, odnosno porast $\delta^{13}C$ vrijednosti na ~1,5‰. Uz samu P/T granicu nije zabilježen izražen pad vrijednosti, već blagi otklon sa spomenutih 1,5 ‰ na 1,2 ‰ neposredno iznad granice, nakon čega ponovno slijedi blagi porast. Iz navedenog**, slike 7.6** i **slike 7.7**, te **priloga 1** vidljivo je da dobivene vrijednosti ne karakteriziraju pojedine uzorke već intervale koji se sastoje od nekoliko uzoraka u slijedu.

Vrijednosti stabilnih kisikovih izotopa za slijed Brušane Sy uglavnom su negativne. Pozitivne vrijednosti, od kojih maksimalna iznosi 0,6 ‰ (uzorak BHR 1b), vežu se uz sam

početak profila, nakon čega kroz glavninu profila variraju između ~-1 i 0 ‰. Pred kraj profila uzorci postaju osiromašeni težim kisikovim izotopom, odnosno vrijednosti padaju ispod -2 ‰, pri čemu najnegativnija vrijednosti iznosi -3 ‰ (uzorak BHR 38).

Krivulju $\delta^{13}C$ vrijednosti za profil Brušane 2 također karakterizira trend promjene iz negativnih vrijednosti na početku ka pozitivnim vrijednostima na kraju profila, uz nešto izraženije fluktuacije, odnosno nagle skokove vrijednosti s ~-1 na 0 ‰ i obratno, u prvoj polovici profila (**slika 7.7**). Negativna vrijednost od -1 ‰ s početka profila (uzorak B2HR 1) predstavlja značajnu razliku od zadnje vrijednosti profila Brušane Sy (1,4 ‰ u uzorku BHR 39), što upućuje na nužnost negativnog trenda u sastavu ugljikovih izotopa unutar neuzorkovanog intervala.

Za razliku od krivulje ugljika, krivulja $\delta^{18}O$ vrijednosti slijeda Brušane 2 (**slika 7.7**) počinje s -2,5 ‰ (B2HR 1) što se približno poklapa s $\delta^{18}O$ vrijednostima s kraja profila Brušane Sy (-2,2 ‰ u uzorku BHR 39). U ostatku profila vrijednosti fluktuiraju u rasponu od +/- 0,5 ‰ od početne vrijednosti uz nekoliko iznimka prema pozitivnijim vrijednostima od kojih je maksimalna -1,5 ‰ (B2HR 8a).

Prema obliku krivulja $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ slijeda Brušane Sy (**slika 7.6** i **slika 7.7**) vidljivo je kako se njihovi trendovi mjestimično veoma dobro poklapaju. Navedeno se naročito vidi na početku slijeda Brušane Sy gdje pad/rast $\delta^{13}C$ vrijednosti prati pad/rast $\delta^{18}O$ i obratno. Karakteristike trendova krivulje za $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ analizirane su duž slijeda te je zbog navedenog izračunat Pearsonov koeficijent korelacije između ova dva skupa podataka.

Pearsonov koeficijent korelacije računat je, kako za cjelokupni skup podataka tako i za pojedine intervale za koje je procijenjeno da prate približno isti trend. Dobiveni koeficijenti korelacije (r_p) za pojedine intervale i kompletan skup podataka slijeda Brušane Sy prikazani su u **tablici 7.1**.

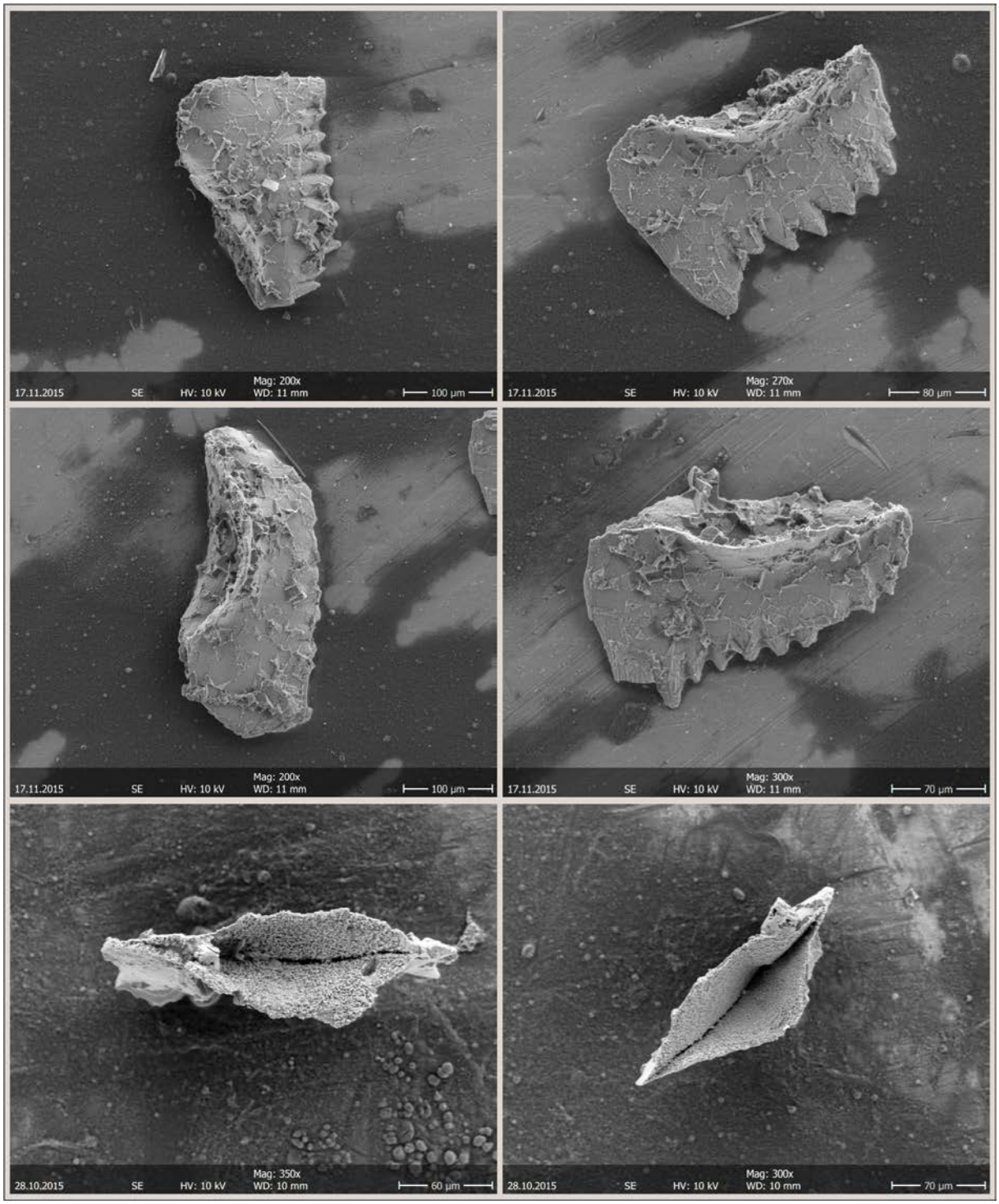
Tablica 7.1: Pearsonov koeficijent korelacije za odabrane intervale i cjelokupni uzorak uz nivo značajnosti (*P*) od 0,03.

Brušane Sy		
interval (N°)	r_p	*P(0,03)*
1 - 8	0.92	0.001
9 - 18	-0.35	0.316
19 - 51	0.12	0.504
52 - 61	-0.66	0.038
1 - 61	-0.45	$0.2*10^{-3}$

Prema **tablici 7.1** vidljivo je kako određeni intervali pokazuju dobru do izvrsnu povezanost, no većina uzoraka, kao i cjelokupni skup pokazuje slabu povezanost između $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ vrijednosti slijeda Brušane Sy. Također je vidljivo kako je koeficijent korelacije značajan samo u dva slučaja – za cjelokupni uzorak i za interval od prvih 8 uzoraka te se samo u navedenim slučajevima smije dalje tumačiti. Budući da slijed Brušane 2 u sebi ne sadrži P/T granicu i u ovome radu nije mikropetrografski proučavan, nad njegovim $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ vrijednostima nije proveden izračun koeficijenta korelacije.

7.3 Biostratigrafkse karakteristike slijeda Brušane Sy

Biostratigrafska odredba P/T granice sedimentnog slijeda Brušane Sy osniva se na prvoj pojavi konodontne vrste *Hindeodus parvus*. U sklopu spomenutog bilateralnog projekta *H. parvus* je pronađen u slojevima Sy37 i Sy38, a u ovome radu su priložene SEM (od eng. Scanning Electron Microscopy) fotografije izoliranih primjeraka koje je ustupio Dr. sc. Yanlong Chen (**slika 7.8**).



Slika 7.8: *SEM fotografije konodonata prikupljenih iz slojeva Sy37 i Sy38 slijeda Brušane Sy (fotografije ustupio Dr. sc. Yanlong Chen)*

8. DISKUSIJA

Izradom geološkog stupa te na temelju mikropetrografskih karakteristika prisutnih stijena za slijed Brušane Sy (gdje je pozicionirana P/T granica na početku sloja 37) dobiven je uvid u tipove taložnih okoliša ovoga područja za kraj perma i sam početak trijasa, te njihove izmjene kroz promatrani vremenski period. Osim predodžbe o taložnom okolišu ovih stijena, na temelju pojedinih mikropetrografskih karakteristika moguće je i utvrditi dijagenetske procese koji su utjecali na ove sedimentne stijene od vremena njihova nastanka do danas.

Okoliš taloženja slijeda Brušane Sy predstavlja uvjete sedimentacije na karbonatnoj platformi koja je na ovom području egzistirala sigurno od srednjega perma (Sremac, 2005). Mirnu sedimentaciju karbonatne platforme karakteriziraju uvjeti relativno plitkog mora, obilje mikritnih taloga, prisustvo mikrobijalnih (cijanobakterijskih) proslojaka, povremeno sačuvano obilje mikrofosila te taloženje u subtajdalnoj, tajdalnoj i supratajdalnoj zoni (sa svim karakteristikama kratkotrajnih izronjavanja, isušivanja taloga i lokalnog pretaloživanja).

Promatrani slijed karakteriziraju dolomikriti koji se javljaju kao madstoni, kao i dolobiomikriti/vekstoni i pekstoni. Sama izmjena, iz stijena tipa madston u tip vekston, prisutna je, kako između superpozicijski susjednih slojeva, tako i u pojedinim mikropetrografskim preparatima što otvara prostor za izdvajanje kraćih ciklusa u kojima talozi vekstona/pekstona ukazuju na taloženje u podplimnom okolišu, a madstona na izronjavanje u plimnu ili natplimnu zonu. Također su uočene pojave izronjavanja podplimnih facijesa u zonu intertajdala te tvorba vadoznih pizoida kao dokaz dijageneze u vadoznoj zoni nakon izronjavanja (Jazvac, 2015). Ovakve izmjene ukazuju na česte oscilacije razine mora te na okoliš koji je bio iznimno osjetljiv na te oscilacije, a on je predstavljen upravo kao karbonatna platforma. Postoji mogućnost da su izmjene sedimenata koje ukazuju na izronjenu ili potopljenu platformu u slijedu prisutne puno češće te bi trebalo provesti uzorkovanje na manjim razmacima.

Dominantno mikritne stijene bogate fosilima upućuju na zaštićeni taložni okoliš niske energije, a sam fosilni sastav slijeda Brušane Sy karakterističan je, prema Aljinović et al. (2003 i pridružene reference), za gornji perm. Većina uzoraka bogata je sporama vapnenačkih zelenih algi čiji ostaci, naspram količine spora, nisu toliko zastupljeni. Sama prisutnost zelenih algi upućuje na marinski subtajdalni lagunski okoliš unutar fotičke zone. Osim algi na plitke subtajdalne uvijete taloženja upućuju brojni ostaci gastropoda, ostrakoda te permske

foraminifere (G. Nestell, osobna komunikacija). U uzorcima s karakterističnim presjecima gastropoda široki veliki zadnji zavoj upućuje na to da bi se moglo raditi o nekoj od vrsta puževa roda Bellerophon čime bi se analizirane naslage mogle dovesti u vezu s naslagama Bellerophon formacije Južnih Alpa (lokaliteti u Italiji i Sloveniji).

U nekoliko navrata unutar istraživanog slijeda dolazi do pojave mikrobijalnih organizama, odnosno cijanobakterija. Prema Flügel (2010), ostaci života cijanobakterija ostaju očuvani ovisno o formi u kojoj se pojavljuju – kao inkrustirajući ili kao impregnirajući filamenti. Prema autoru potencijal za očuvanje impregnirajućih cijanobakterija je malen, odnosno one se uobičajeno dezintegriraju u karbonatnom mulju, no strukturne karakteristike pojedinih stijena (uzorak Sy16b – **slika 7.1:** D) mogu upućivati na to da su nekada postojale, a čemu u prilog ide i pojava sažimanja i kovrčanja mikrobijalnog taloga što je poznato kao „*te-pee*“ struktura (uzorak Sy16b **– slika 7.2:** E)**.** Za razliku od njih inkrustirajuće cijanobakterije, ako se kalcificiraju, mogu postati potencijalni fosili, pri čemu se pojavljuju u vidu amalgamirajućih masa (uzorak Sy4 – **slika 7.3:** A) ili kalcimikroba – zasebnih fosila unutar sedimenta (uzorak Sy31 – **slika 7.3:** B; uzorak Sy28 – **slika 7.4:** C). Cijanobakterije, prvenstveno impregnirajuće upućuju na intertajdalno do supratajdalno podrijetlo pojedinih stijena.

U sastavu velikog broja uzoraka uočeno je prisustvo intraklasta. Intraklasti, mogu nastati pretaloživanjem djelomično litificiranih karbonatnih muljeva. Do formiranja klasta može doći izronjavanjem i isušivanjem primarnih taloga (kao posljedice povremenih oscilacija morske razine). Gotovo istovremeno dolazi i do lokalnog pretaloživanja fragmentata (intraklasta). Prema navedenome može se zaključiti kako su intraklasti posljedica pretaloživanja djelomično litificiranog sedimenta iz zone intertajdala u zonu subtajdala.

Determinirane *hardground* površine u uzorcima Sy11 i Sy21b (**slika 7.2:** B; **7.4:** F) upućuju na povremenu vrlo malu ratu sedimentacije i litifikaciju na granici voda-sediment. Međutim, iako su *hardgoround* pojave determinirane na temelju oštrih, tamnijih površina, naizglednog prekida zrna i mogućih ihnofosila, valja napomenuti kako je slična struktura mogla nastati i uslijed djelovanja amalgamirajućih mikroba koji, u ovome slučaju nisu očuvani u prepoznatljivoj formi.

Prisutnost šupljina otapanja u mnogim uzorcima vjerojatno je posljedica izronjavanja primarnih sedimenata u zonu supratajdala. Dokaz supratajdalnih uvjeta, odnosno vadozne dijageneze mogu biti i izopahni cementi koji obavijaju intraklaste u pojedinim uzorcima.

Navedene pojave, kao i već spomenuti intraklasti, još su jedan dokaz za povremenu oscilaciju morske razine tijekom najgornjega perma zbog kojih je moglo dolaziti do povremenih prekida u sedimentaciji i prerađivanja sedimenata.

Šupljine pojedinih uzoraka koje su determinirane kao *stromataktis* struktura bitno su različitog podrijetla od šupljina otapanja. Prema Flügel (2010) podrijetlo *stromataktis* strukture nije u potpunosti razjašnjeno, odnosno postoji velik broj modela kojima se pokušava objasniti ova pojava. Jedan od mogućih modela je nastanak strukture usred životne aktivnosti mikrobijalnih organizama i spužvi, prema kojem šupljine nastaju raspadom mekog tkiva spužvi, a ostaju očuvane zbog brze litifikacije sedimenta usred djelovanja mikrobijalnih organizama. Kao okoliš nastanka *stromataktisa* generalno se smatra zona subtajdala.

Osim *stromataktis* strukture u pojedinim uzorcima su prisutne šupljine koje tvore tzv. „*birds-eye*“ strukturu. Ove se šupljine, za razliku od *stomataktis* šupljina, javljaju izolirano u sedimentu, a karakteristične su za zonu supratajdala i intertajdala. Prema Flügel (2010), od šupljina otapanja razlikuju se po tome što je njihovo podrijetlo sinsedimentacijsko.

Razumijevanje dijagenetskih procesa od izuzetne je važnosti za interpretaciju pojedinih kemijskih analiza – u ovome slučaju analize sastava stabilnih izotopa kisika i ugljika. Naime za pravilno korištenje rezultata analize stabilnih izotopa nužno je da je dobiveni signal primaran ili približno odgovara primarnom signalu nastalom u vrijeme taloženja stijene, odnosno važno je prepoznati procese koji su taj signal mogli izmijeniti. Ako je utvrđeno da je dobiveni signal primaran ili približno primaran, dobivene vrijednosti moguće je pripisati izotopnom sastavu tadašnjeg mora te ih korelirati s izotopnim signalima drugih lokaliteta koji predstavljaju sedimentne sljedove taložene u istom vremenskom periodu.

Iako je istraživani sedimentni slijed Brušane Sy bogat mikritnom komponentom, što bi zbog smanjenog omjera sediment/voda (i nemogućnosti naknadne cementacije) trebalo rezultirati dobrom očuvanošću primarnog izotopnog signala, činjenica da su dijelovi istraživanog sedimentnog slijeda izronjavali u supratajdalnu zonu i te time bili podvrgnuti utjecaju meteorske dijageneze, ne može biti zanemarena. Prema Marshall (1992) potencijal očuvanja primarnog izotopnog signala za kisik unutar plitkomorskih karbonata je veoma nizak zbog čega $\delta^{18}O$ vrijednosti nisu zasebno razmatrane u ovome radu, osim u svrhu korelacije s izotopnim vrijednostima ugljika. Magaritz et al. (1988) navode da su procesi i alteracije koje

utječu na vrijednosti $\delta^{13}C$ drugačiji od onih koji utječu na promjene vrijednosti $\delta^{18}O$ zbog čega, poglavito ako se radi o primarnom signalu, one nisu u korelaciji.

Računanjem Pearsonovog koeficijenta korelacije utvrđena je izvrsna pozitivna povezanost između $\delta^{18}O$ i $\delta^{13}C$ vrijednosti prvih 8 uzoraka (početnih 10 m profila) slijeda Brušane Sy. Dobivena povezanost upućuje na to da je primarni izotopni signal kisika i ugljika dijagenetski izmijenjen čime se mogu objasniti izrazito negativne $\delta^{13}C$ u ovom dijelu istraživanog profila. Međutim valja napomenuti kako je u navedenom primjeru Pearsonov koeficijent korelacije računat na izuzetno malom skupu podataka (8 parova) što umanjuje značaj dobivenih rezultata. Prisustvo šupljina otapanja u uzorcima ovog intervala upućuje na meteorsku dijagenezu primarnog sedimenta pri čemu valja napomenuti da su naknadni dijagenetski procesi, prvenstveno zbog, za meteorske uvijete relativno visokih $\delta^{18}O$ vrijednosti, također mogli biti uključeni. Cjelokupni profil, kao ni ostali ispitani intervali ne pokazuju značajnu korelaciju između izotopnog sastava ova dva elementa.

Vrijednosti vršnih desetak metara slijeda Brušane Sy ($\delta^{13}C$ ~1.5 ‰) približno su slične vrijednostima stijena najgornjeg perma s lokaliteta Rizvanuša (Fio et al., 2010). Na spomenutom lokalitetu zabilježen je pad $\delta^{13}C$ veći od 1 ‰ uz P/T granicu, koji u slučaju sedimentnog slijeda Brušane Sy izostaje (prisutan je tek neznatan pad od ~0,3 ‰). Upravo ovaj izostanak značajnog pada karakterističnog za P/T granice diljem svijeta ostavlja pitanje interpretacije dobivenog $\delta^{13}C$ signala otvorenim. Budući da je P/T granica slijeda Brušane Sy prethodno određena biostratigrafski prvom pojavom fosilne vrste *Hindeodus parvus*, a istraživani slijed ne pokazuje karakteristike moguće prisutnosti hijatusa, izostanak značajnijeg pada moguće je pripisati relativno velikom razmaku (nekoliko desetaka cm) između pojedinih analiziranih uzoraka uz samu P/T granicu. Nedostatak tipičnog pada može se objasniti i većom alteracijom primarnog izotopnog signala budući da stijene s kraja profila karakterizira manja količina mikritnog veziva (uzorci tipa pekston) i snažnija rekristalizacija (uzorci izuzetno makrokristalastih dolomita).

Negativne $\delta^{13}C$ vrijednosti s početka slijeda Brušane 2 karakteristične su za sedimente neposredno iznad P/T granice, odnosno mogle bi biti posljedica pada vezanog uz P/T granicu iako on u slijedu Brušane Sy nije zabilježen. Povrh toga gotovo kompletna krivulja izotopa ugljika slijeda Brušane 2 može se veoma dobro aproksimirati s trijaskim dijelom kompozitne krivulje (**potpoglavlje 4.2**, **slika 4.4**) konstruirane od strane Korte i Kozur (2010), što upućuje na to da je primarni signal ovoga slijeda relativno dobro očuvan.

Usporedbom izotopne krivulje $\delta^{13}C$ permo-trijaskog slijeda profila Brušane Sy s izotopnim krivuljama drugih lokaliteta na kojima je dokumentirana P/T granica (pregled u Baud et al., 1989; Korte i Kozur, 2005; Korte i Kozur, 2010) može se utvrditi da se vrijednosti izotopa ne podudaraju s krivuljama s lokaliteta: Kuh-e-Ali Bashi, Vedi, Emarat, Nammal Gorge, Thakkhola, Shangsi, Meishan, Guryul Ravine, Abadeh, Shahreza, Pufels/Bula/Bulla. Na samoj P/T granici slijeda Brušane Sy, koja je pretpostavljena u bazi sloja 37, nisu zabilježene negativne vrijednosti ugljikovih izotopa. Utvrđen je međutim, mali pad vrijednosti s 1,5 ‰ na 1,2 ‰. Vrijednosti su na početku trijasa i dalje pozitivne što predstavlja znatno odstupanje od stanja na drugim lokalitetima. Pozitivne vrijednosti uz nešto veći pad (~2 ‰) opisane su jedino u slijedu sedimenata Vedi (Armenija) (Sahakyan et al., 2017). Zanimljivo je da karakteristike slijeda Vedi ukazuju na taloženje u dubokom moru te se okolišno ne bi nikako mogle usporediti sa slijedom Brušane Sy.

Stoga se može pretpostaviti da je izotopna krivulja $\delta^{13}C$ u profilu Brušane Sy izmijenjena uslijed meteorske dijageneze u vrlo plitkom okolišu te dodatno moguće dolomitizacijskim procesima.

9. ZAKLJUČAK

Mikropetrografskom analizom ukupno 46 uzoraka slijeda Brušane Sy (u kojem je prethodno pozicionirana P/T granica na početku sloja 37) utvrđen je tip ovih, u potpunosti dolomitiziranih stijena. Zbog veoma dobre očuvanosti primarnih struktura većine uzoraka, stijene su determinirane kao da se radi o primarnim vapnencima, a njihove glavne utvrđene značajke su prikazane na geološkom stupu. Izradom geološkog stupa te na temelju utvrđenih mikropetrografskih karakteristika stijena slijeda Brušane Sy dobiven je uvid u tipove taložnih okoliša ovoga područja za kraj perma i sam početak trijasa.

Taložni okoliš slijeda Brušani Sy predstavlja uvjete mirne sedimentacije na karbonatnoj platformi. Sedimentacija se odvijala u relativno plitkome moru, a karakterizira je obilje mikritnih taloga, prisustvo mikrobijalnih (cijanobakterijskih) proslojaka, povremeno sačuvano obilje mikrofosila te taloženje u subtajdalnoj, tajdalnoj i supratajdalnoj zoni.

U većini promatranih uzoraka slijeda Brušane Sy prisutni su fosili karakteristični za plitke subtajdalne uvijete. Od fosila dominantno su zastupljeni ostaci zelenih vapnenačkih algi i njihovih spora, ostrakodi, permske foraminifere, te gastropodi koji vjerojatno odgovaraju nekoj od vrsta puževa Bellerophon čime je analizirane naslage moguće dovesti u vezu s naslagama Bellerophon formacije Južnih Alpa (lokaliteti u Italiji i Sloveniji).

Pojava mikroba (cijanobakterija) upućuje na izronjavanje subtajdalnog taložnog okoliša u zonu intertajdala i supratajdala, odnosno povremene oscilacije morske razine. Ove oscilacije rezultirale su i pretaloživanjem djelomično litificiranog sedimenta iz zone intertajdala u zonu subtajdala što se prvenstveno vidi kroz pojavu intraklasta u pojedinim uzorcima. Kao dodatni dokaz supratajdalnih uvjeta, odnosno povremenog izronjavanja subtajdalnih taloga su i šupljine otapanja te izopahni cementi nastali u uvjetima vadozne dijageneze. Budući da šupljine otapanja ukazuju na procese vadozne dijageneze bitno ih je razlikovati od šupljina drugačijeg podrijetla koje se manifestiraju kroz *stromataktis* i „*birds-eye*“ strukturu pojedinih uzoraka.

Usporedbom krivulja $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ vrijednosti sljedova Brušane Sy i Brušane 2 s vrijednostima karakterističnim za stijene taložne na prijelazu iz paleozoika u mezozoik utvrđena je naočigled dobra podudarnost vrijednosti slijeda Brušane 2 s donjotrijaskim vrijednostima diljem svijeta, te neslaganje vrijednosti slijeda Brušane Sy s vrijednostima karakterističnim za gornji perm i sam početak trijasa. Ova odstupanja, koja se očituju prvenstveno u vidu izostanka

pada vrijednosti uz P/T granicu (neznatan pad s 1,5 na 1,3 ‰), rezultat su izmjene primarnog izotopnog signala tijekom meteorske dijageneze u vrlo plitkom taložnom okolišu te moguće i naknadnih dolomitizacijskih procesa.

10. LITERATURA

ALJINOVIĆ, D., SREMAC, J., IBRAHIMPAŠIĆ, H. (2003): Permian and Lower Triassic Facies of Velebit Mt. and the Gorski Kotar region (NW Part of External Dinarides). *22nd IAS Meeting of Sedimentology – Opatija, Field Trip Guidebook,* 185 – 206.

ATTENDORN, H.-G.,BOWEN, R. N. C., (1997): *Radioactive and Stable Isotope Geology*. Springer Netherlands, eBook.

BAUD, A., MAGARITZ, M., HOLSER, W., T., (1989): Permian-Triassic of the Tethys: Carbon isotope studies. *Geologische Rundschau 78/2*, str. 649 – 677.

BROGLIO LORGIA, C., CASSINIS, G. (1992): The Permo-Triassic boundary in the Southern Alps (Italy) and in adjacent Periadriatic regions. U: SWEET, W. C., ZUNYI, Y., DICKINS, J. M., HONGFU, Y., *Permo-Triassic Events in the Eastern Tethys*. Cambridge University Press, str. 78 – 97.

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,* str. 287 – 299.

DUNHAM, R., J., (1962): Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture. U: HAM, W. E., *Classification of Carbonate Rocks*, American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 1, str. 108 – 121.

ĐUKAN, A., (2016): Naslage gornjeg perma i donjeg trijasa i njihova granica u okolici Brušana. Diplomski rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet

FIO, K., SPANGENBERG, J. E., VLAHOVIĆ, I., SREMAC, J., VELIĆ, I., MRINJEK, E. (2010): Stable isotope and trace element stratigraphy across the Permian-Triassic transition: A redefinition of the boundary in the Velebit Mountain, Croatia. *Chemical Geology 278,* str. 38 – 57.

FLÜGEL, E., (2010): *Microfacies of Carbonate Rocks*. 2nd edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, eBook.

FOLK, R., L., (1959): Practical classification of limestones. American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, 43(1), str. 1 – 38.

FOLK, R., L., (1962): Spectral subdivision of limestone types. U: HAM, W. E., *Classification of Carbonate Rocks*, American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 1, str. 62 – 84HOEFS, J., (2009): *Stable Isotope Geochemistry*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, eBook.

HONGFU, Y., KEXIN, Z., JINNAN, T., ZUNYI, Y., SHUNBAO, W. (2001): The Global Stratotype Section and Point (GSSP) of the Permian–Triassic Boundary. *Episodes, 24(2)*, str. 102 – 114.

JAZVAC, I., (2015): Tipovi gornjopermskih karbonata na lokalitetu Brušane. Završni rad. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet

JIANG, H., LAI, X., LUO, G., ALDRIDGE, R., ZHANG, K., WIGNALL, P., (2007): Restudy of conodont zonation and evolution across the Permian/Triassic boundary at Meishan section, Changxing, Zhejiang, China. *Global and planetary change 55*, 39 – 55.

KERSHAW, S., ZHANG, T., LAN, G. (1999): A microbialite carbonate crust at the Permian-Triassic boundary in South China, and its palaeoenvironmental significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 146*, str. 1 – 18.

KOCHANSKY-DEVIDÉ, V., SREMAC, J., JELASKA, V. & PALČIĆ, I. (1982): Gornji paleozoik Velebita. *IGCP-Projekt br. 5, Jugoslavenska radna grupa terenski sastanak 1982, (Field meeting (1982) Velebit Mt.).* – Vodič ekskurzije, Zagreb, str. 8 – 18.

KORTE, C., KOZUR, H. W. (2005): Carbon isotope stratigraphy across the Permian/Triassic boundary at Jolfa (NW – Iran), Peitlerkofel (Sas de Pütia, Sas de Putia), Pufels (Bula, Bulla), Tesero (all three Southern Alps, Italy) and Gerennavár (Bükk Mts., Hungary). *Journal of Alpine Geology, 47*, str. 119 – 135.

KORTE, C., KOZUR, H. W. (2010): Carbon-isotope stratigraphy across the Permian-Triassic boundary: A review. *Journal of Asian Earth Sciences, 39*, str. 215 – 235.

MAGARITZ, A., BÄR, R., BAUD, A., HOLSER, W., T. (1988): The carbon-isotope shift at the Permian/Triassic boundary in the southern Alps is gradual. *Nature, 331(6154)*, str. 337 – 339.

MARSHALL, J., D. (1992): Climatic and oceanographic isotopic signals from the carbonate rock record and their preservation. *Geological Magazine, 129*, str. 143 – 160.

SAHAKYAN, L., BAUD, A., GRIGORYAN, A., FRIESENBICHLER, E., RICHOZ, S. (2017): The Permian-Triassic transition in Southern Armenia. *5th IGCP 630 International conference and field workshop, Conference paper*, str. 37 – 48.

SCOTESE, C.R., (2002): Paleomap website: http://www.scotese.com.

SOKAČ, B., NIKLER, L., VELIĆ, I., MAMUŽIĆ, P. (1967a): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 list Gospić L 33-127*. Institut za geološka istraživanja Zagreb (1963.-1967.), Savezni geološki zavod, Beograd.

SOKAČ, B., ŠČAVNIČAR, B., VELIĆ, I. (1967b): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 tumač za list Gospić K 33-127*. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

SREMAC, J. (2005): Equatorial Shelf of the Palaeozoic Supercontinent – Cradle of the Adriatic Carbonate Platform. *Geologia Croatica 58(1)*, str. 1 – 19.

TIŠLJAR, J. (2001): *Sedimentologija karbonata i evaporita*, Institut za geološka istraživanja – Zagreb, Zagreb 375 str.

ZHENG, Q.F., CAO, C.Q., ZHANG, M.Y. (2013): Sedimentary features of the Permian–Triassic boundary sequence of the Meishan section in Changxing, County, Zhejiang Province. *Science China: Earth Sciences, 56(6)*, str. 956 – 969.

11. PRILOZI

Prilog 1: Vrijednosti $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ za slijed Brušane Sy

Brušane Sy							
Uzorak	N°	$\delta^{13}C$	$\delta^{18}O$	Uzorak	N°	$\delta^{13}C$	$\delta^{18}O$
BHR 1	1	-2.4	0.0	BHR 20	33	0.3	-0.7
BHR 1b	2	-2.0	0.6	BHR 21 a	34	0.5	-0.3
BHR 2b	3	-2.0	0.4	BHR 21 b	35	0.9	0.0
BHR 3	4	-2.3	0.3	BHR 22 a	36	0.8	-0.3
BHR 4	5	-2.9	-0.5	BHR 22 b	37	1.0	-0.9
BHR 5	6	-2.3	0.0	BHR 23	38	0.9	-0.6
BHR 6a1	7	-2.3	-0.1	BHR 24a	39	1.0	-0.4
BHR 6a2	8	-2.6	-0.2	BHR 24b	40	1.1	-0.6
BHR 6b	9	-2.2	-0.7	BHR 25a	41	1.6	-0.2
BHR 7a	10	-1.9	-0.9	BHR 25b	42	1.7	-0.3
BHR 7b	11	-1.9	-1.2	BHR 25C	43	2.1	-0.3
BHR 8a	12	-2.0	-0.8	BHR 27a	44	2.3	-0.3
BHR 8b	13	-2.0	-0.5	BHR 27b	45	2.1	-0.8
BHR 9a	14	-2.0	-0.3	BHR 27c	46	2.0	-0.9
BHR 9b	15	-1.5	-0.6	BHR 28	47	2.1	-0.5
BHR 10	16	-1.5	-0.9	BHR 29	48	1.9	-1.2
BHR 11	17	-1.0	-0.6	BHR 30a	49	1.7	-0.9
BHR 12	18	-0.4	-1.2	BHR 30b	50	0.7	-1.7
BHR 14	19	-0.4	-0.5	BHR 31a	51	0.8	-1.6
BHR 15a	20	-0.3	-0.5	BHR 31b	52	0.6	-0.9
BHR 15b	21	-0.4	-0.8	BHR 32	53	1.0	-1.1
BHR 15c	22	-0.5	-0.9	BHR 33a	54	1.2	-1.8
BHR 16a	23	-0.3	-0.7	BHR 33b	55	1.4	-2.0
BHR 16b	24	-0.4	-0.7	BHR 34	56	1.5	-1.9
BHR 16c	25	-0.5	-0.8	BHR 35	57	1.5	-2.2
BHR 16d	26	-0.5	-0.4	BHR 36	58	1.3	-2.6
BHR 17a	27	-0.5	-0.8	BHR 37	59	1.2	-2.2
BHR 17b	28	-0.3	-0.9	BHR 38	60	1.3	-3.0
BHR 18a	29	-0.1	-0.4	BHR 39	61	1.4	-2.2
BHR 18b	30	0.0	-0.9				
BHR 18c	31	0.2	-0.8				
BHR 19	32	0.0	-1.0				

Prilog 2: Vrijednosti $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ za slijed Brušane 2

Brušane 2							
Uzorak	**N°**	**$\delta^{13}C$**	**$\delta^{18}O$**	**Uzorak**	**N°**	**$\delta^{13}C$**	**$\delta^{18}O$**
B2HR 1	1	-1.0	-2.5	B2HR 17a	33	1.5	-2.6
B2HR 1C	2	-0.9	-2.5	B2HR 17b	34	1.5	-2.4
B2HR 2	3	0.0	-2.4	B2HR 18a	35	1.4	-2.6
B2HR 2a	4	-0.2	-2.5	B2HR 18b	36	1.2	-2.5
B2HR 2b	5	-0.4	-2.4	B2HR 19a	37	1.1	-2.3
B2HR 3	6	0.4	-2.5	B2HR 19b	38	1.1	-2.3
B2HR 4a	7	-1.2	-2.1	B2HR 20	39	1.0	-2.5
B2HR 4b	8	-1.0	-2.2	B2HR 21a	40	1.0	-2.8
B2HR 5a	9	-0.7	-2.1	B2HR 21b	41	1.0	-2.6
B2HR 5b	10	-0.7	-2.1	B2HR 21c	42	1.0	-2.6
B2HR 6a	11	-0.7	-2.2				
B2HR 6b	12	0.0	-1.7				
B2HR 7a	13	0.0	-2.0				
B2HR 7b	14	-0.1	-1.8				
B2HR 8a	15	0.0	-1.5				
B2HR 8b	16	-0.1	-2.0				
B2HR 9a	17	-0.7	-2.9				
B2HR 9b	18	-0.4	-2.5				
B2HR 9c	19	-0.4	-2.6				
B2HR 10a	20	-0.1	-1.9				
B2HR 10b	21	-0.4	-1.8				
B2HR 10c	22	0.5	-2.1				
B2HR 10d	23	0.2	-2.1				
B2HR 11a	24	0.5	-2.2				
B2HR 11b	25	1.2	-2.4				
B2HR 12	26	1.3	-2.7				
B2HR 13a	27	1.2	-2.3				
B2HR 13b	28	1.3	-2.6				
B2HR 14a	29	1.5	-2.3				
B2HR 14b	30	1.5	-2.1				
B2HR 15	31	1.7	-2.0				
B2HR 16b	32	1.4	-2.3				