Naslage gornjeg perma i donjeg trijasa i njihova granica u okolici Brušana

Đukan, Anja

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:169:598941

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

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







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Studij geologije

NASLAGE GORNJEG PERMA I DONJEG TRIJASA I NJIHOVA GRANICA U OKOLICI BRUŠANA

Diplomski rad

Anja Đukan
G-210

Zagreb, 2016.

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

Također, zahvaljujem se i asistentu, dipl.ing.geol. Duji Smirčiću na izdvojenom vremenu i pomoći.

Zahvaljujem se svim svojim prijateljima i prijateljicama, koji su uvijek bili uz mene i bez kojih sve ove godine ne bi bile tako zabavne i lake.

Hvala i članovima obitelji koji su me podržavali sve ove godine kao i na ukazanom razumijevanju i strpljenju tijekom izrade ovoga rada.

Posvećujem ovaj rad dragom didi, koji nas je prerano napustio, a voljela bi da je ovo dočekao samnom.
Znam da bi bio jako ponosan na moj uspjeh!

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

NASLAGE GORNJEG PERMA I DONJEG TRIJASA I NJIHOVA GRANICA U OKOLICI BRUŠANA

ANJA ĐUKAN

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Rad prikazuje mikropetrografske karakteristike naslaga permske i trijaske starosti na području Brušana, na sjevernim obroncima Velebita te je na osnovi razlika među njima postavljena i detaljno kartirana granica između perma i trijasa. S ciljem definiranja permskih i trijaskih naslaga te PT granice, proučen je profil Brušane Sy. Utvrđen je kontinuitet u taloženju između naslaga perma i trijasa. Permske naslage karakterizira a) brojnost permskih fosila – algi, spora algi i foraminifera u uzorcima dolomita ispod granice što izravno ukazuje na permsku starost; b) prisutnost šupljina otapanja; c) tip dolomitizacije koja je mikrokristalasta mimikrijska i vjerojatno odgovara rano dijagenetskoj dolomitizaciji. Vršnim je slojevima profila ~4 m (iznad pretpostavljene granice) prema mikropetrografskim karakteristikama određena donjotrijaska starost koja je određena po: a) odsutnosti fosila u slojevima iznad pretpostavljene PT granice (slojevi 37 i 38, odnosno uzorci Sy 37 i Sy 38); b) pojavi ooida u slojevima/uzorcima (slojevi 37 i 38, uzorci Sy 37 i Sy 38); c) po tipu dolomitizacije koja je u slojevima 37 i 38 drugačija nego u permskim dolomitima (makrokristalastoj dolomitnoj strukturi u kojoj su prisutni duhova ooida ili sferičnih intraklasta. Sigurna pripadnost ovog dijela slijeda trijaskim slojevima je dokazana i prisutnošću fosila *Hindeodus parvus* u sloju 38 (uzorak Sy 38). Na osnovi razlike u mikropetrografskim osobinama pretpostavljena je granica između slojeva 36 i 37. Analiza izotopa $\delta^{13}C_{carb}$ u sedimentnim stijenama profila Brušane Sy ne pokazuje na pretpostavljenoj PT granici pomak prema negativnim vrijednostima. Elementi na osnovi kojih je pretpostavljena PT granica u profilu, prepoznati su i prilikom kartiranja te iste granice. Utvrđeno je da je njen sadašnji položaj, precizno mjeren GPS uređajem, nešto drugačiji u odnosu na podatke iz OGK list Gospić (Sokač et al., 1974, 1976).

Ključne riječi: Perm, Trijas, Brušane, Velebit, kartiranje, PT granica, fosili, ooidi, dolomit.

Diplomski rad sadrži: 52 stranice, 29 slika i 21 referencu
Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Voditelj: Prof. Dr. sc. Dunja Aljinović
Pomoć pri izradi: Duje Smirčić, dipl. ing. geol.

Ocjenjivači: Prof. Dr. sc. Dunja Aljinović
Doc. Dr. sc. Uroš Barudžija
Doc. Dr. sc. Ana Maričić

Datum obrane: 21. prosinac 2016.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's

ANJA ĐUKAN

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Mineralogy, Petrology and Mineral Deposits,
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

Micropetrographic characteristics of the Permian and Triassic dolostones near Brušane (northern foothill of the Velebit Mts.) have been investigated. Their micropetrographic differences made it possible to lacate position of the PT boundary and to map the boundary precisely. In an attempt to differentiate between the Permian and Triassic microfacies and to trace the PT boundary, the Brušane Sy section was thoroughly investigated. The section represents confirmable succession between the Permian and the Triassic strata. Permian samples (samples Sy 28 - Sy 36) are characterised by a) an abundance of fossils – algae, algal spores and foraminifers; b) cavities formed by the dissolution in the supratidal zone c) a mimic type dolomitisation texture, possibly in the early diagenetic phase. The topmost part of the section (~4 m) represents sedimentary rocks that were determined as Early Triassic dolostones on the basis of their micropetrographic characteristics. Their main micropetrographic features are: a) lack of fossils; b) occurrence of ooids in beds/samples (beds 37 and 38; samples 37 and 38); c) dolomitisation type that differs from the previously described Permian dolostone samples (only ghosts of ooids or spheric intraclasts are preserved in the microcrystalline dolomitic texture). The Triassic age of this part of the section was confirmed by the presence of *Hindeodus parvus* in bed 38 (sample 38). Based on the differences in micropetrographic composition, the PT boundary was assumed between beds 36 and 37. The $\delta^{13}C_{carb}$ isotope composition does not change significantly across the PT boundary. All features recognised in the Brušane Sy section enabled the tracing and mapping of the PT boundary. The position of the boundary, measured using the GPS device, is somewhat different from the data found in the Gospić geological map (previously stated by Sokač et al., 1974, 1976).

Keywords: Permian, Triassic, Brušane, Velebit, mapping, PT boundary, fossils, ooids, dolostone.

Thesis contains: 52 pages, 29 figures and 21 references
Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Supervisor: Full Professor Dunja Aljinović, PhD
Assistance provided by: Duje Smirčić, MGeo., Research Fellow

Reviewers: Full Professor Dunja Aljinović, PhD
Assistant Professor Uroš Barudžija, PhD
Assistant Professor Ana Maričić, PhD

Date of defense: December 21, 2016.

SADRŽAJ:

1. UVOD 1
2. METODE 3
2.1. KARTIRANJE 3
2.2. SNIMANJE SEDIMENTOLOŠKOG STUPA BRUŠANE Sy 4
2.3. PETROGRAFIJA KAO METODA 5
3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA PERMO -TRIJASKE GRANICE 6
3.1. DEFINIRANJE PT GRANICE 6
3.1. 1. Biostratigrafski kriterij 7
3.1.2. Kemostratigrafski kriterij 9
3.1.3. Litološki kriterij 10
3.2. PERMSKE I DONJOTRIJASKE NASLAGE TE KARAKTERISTIKE PT GRANICE NA VELEBITU 11
3.2.1. Permske i donjotrijaske naslage na Velebitu 11
3.2.2. Karakteristike PT granice na Velebitu 14
4. PROFIL PERMSKIH I TRIJASKIH NASLAGA „BRUŠANE Sy“ 17
5. REZULTATI 24
5. 1. DEFINIRANJE PT GRANICE 24
5. 2. GEOLOŠKA KARTA 43
6. ZAKLJUČAK 45
7. LITERATURA 47

SADRŽAJ SLIKA:

Slika 1.1. Područje južno od Brušana na kojem su provedena terenska istraživanja 2

Slika 2.1. Metode kartiranja A) praćenje granice pomoću cik-cak metodom B) praćenje granice s gornje i donje strane usporedno s granicom C) praćenje geološke granice presjecanjem granice. 3

Slika 4.1. Slijed Brušane Sy 18

Slika 4.2. Mikropetrografske karakteristike uzoraka perma iz slijeda Brušane Sy; Uzorci Sy 28 – Sy 33 19

Slika 4.3. Mikropetrografski prikaz uzoraka iz slijeda Brušane Sy; Uzorci Sy 34 – Sy 38 20

Slika 4.4. A) Kontinuirana (konkordantna) granica perm – trijas na profilu Brušane Sy 22

Slika 5.1. Trasa pretpostavljene granice između perma i trijasa 24

Slika 5.2. Dolobiomikrit-sparit / pekston do grejnston tipa permske starosti (uzorak PTBa) 27

Slika 5.3. Mikropetrografske karakteristike uzorka PTBa 27

Slika 5.4. Uzorak PTBa (sparit u vezivu te permske foraminifere) 28

Slika 5.5. Kristalsta dolomitna struktura s ooidima ili sferičnim intraklastima 29

Slika 5.6. Permske foraminifere u uzorku U 13a 30

Slika 5.7. Foraminifere u uzorku U 13a 30

Slika 5.8. Dolomikrit vekston tipa (uzorak U 13b) 31

Slika 5.9. Uzorak trijaskog dolomita (U13c) 32

Slika 5.10. Mikrokristalasta dolomitna struktura (uzorak U13c) 33

Slika 5.11. Prikaz foraminifere (*Earlandiae?*) u kristalastoj dolomitnoj osnovi 33

Slika 5.12. Uzorak PTB 14a (bioklastični detritus zastupljen algalnim sporama, algama i foraminiferama u mikritnoj osnovi) 34

Slika 5.13. Struktura mikrokristalastog dolomita (uzorak PTB 14b) 35

Slika 5.14. Mikrokristalasta struktura (uzorak PTB 14b) 36

Slika 5.15. Dolobiomikrit / pekston (uzorak 17a) 37

Slika 5.16. Dolobiomikrit / pekston (uzorak 17a) 37

Slika 5.17. Permski uzorak dolobiomikrit / vekston (uzorak 17b) 38

Slika 5.18. Uzorak permskog dolobiomikrita / vekstona u kojem prevladava mikrit (uzorak 17c) 39

Slika 5.19. Uzorak permskog dolobiomikrita vekstona (uzorak 19) 40

Slika 5.20. Uzorak 19 (mikritna osnova s foraminiferama) 41

Slika 5.21. Mikrokristalasta struktura dolomita (uzorak 20c) 42

Slika 5.22. OGK list Gospić 1: 100 000 43

Slika 5.23. Istraživano područje južno od Brušana i GPS koordinate točaka postavljenih na georeferenciranu kartu na tabletu 44

1. UVOD

U ovome su radu prikazane petrološke karakteristike naslaga permske i trijaske starosti na području Brušana, na sjevernim obroncima Velebita (Slika 1.1), te je na osnovi litološki različitih karakteristika naslaga postavljena i detaljno ucrtana granica između perma i trijasa.

Cilj ovoga rada je bio petrološki determinirati i opisati najstarije permske i najmlađe trijaske naslage na spomenutom području te na osnovi njihovih litoloških i mikropetrografskih karakteristika definirati permo-trijasku granicu (PTB) te je detaljno kartirati pomoću GPS uređaja. U svrhu determiniranja osnovnih petroloških karakteristika permskih i trijaskih stijena snimljen je detaljni geološki profil u zasjeku šumske ceste južno od Brušana (44°29'56"N i 15°15'33" E) (Slika 1.1, strelica) koji predstavlja kontinuirani slijed. Ovaj je kontinuirani slijed već ranije bilo detaljno snimljen, a sedimentne stijene su uzorkovane za petrografsku, biostratigrafsku i kemostratigrafsku analizu stabilnim izotopima ugljika i kisika (Aljinović et al., rad u pripremi). Detaljnom analizom toga slijeda utvrđeno je koje su osnovne petrografske karakteristike prisutne te kako bi se na terenu mogle razlikovati stijene perma i trijasa. Ova analiza pokazala je na postojanje više litotipova u naslagama perma odnosno trijasa, ali je na temelju bitnih razlika među njima (što je objašnjeno kasnije u tekstu) bilo moguće pretpostaviti njihovu granicu koja je onda kartirana. Prilikom terenskog praćenja PT granice prikupljeno je novih 11 uzoraka koji su analizirani mikropetrografski, a na temelju utvrđenih svojstava prisutnih stijena permske odnosno trijaske starosti položaj granice je bio provjeravan. To je učinjeno tako da je pretpostavljena PT granica praćena po pružanju, ali su na 5 mjesta uzeti uzorci s kratkih profila poprečno na pretpostavljeno pružanje granice.

Do sada je na hrvatskom području Dinarida granica perm-trijas bila dokumentirana jedino u radu Fio et al., (2010). Sukladno novijim istraživanjima precizno trasiranje PT granice je ponekad moguće kombinacijom lito- bio- i kemostratigrafskih kriterija. Bez uspoređivanja ovih metoda ponekad je vrlo teško i nesigurno postaviti granicu. Štoviše, litološki utvrđena PT granica ne mora se podudarati sa stvarnom granicom već treba voditi računa o niz bio-, kemo-, magnetostratigrafskih podataka kako je propisano pri definiranju PT granice na *locus typicus* u Meishanu (Kina) što je proglašeno za GSSP (Gradstein et al., 2004).

U radu je korištena Osnovna geološka karta 1:100 000 lista Gospić (Sokač et al, 1974) te njen tumač (Sokač et al, 1976), a novo dobiveni podaci o trasi granice uspoređeni su sa postojećom granicom iz OGK.

Laboratorijski i kabinetski dio rada izrađen je na Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine.



Slika 1.1. Na slici je prikazano područje južno od Brušana na kojem su provedena terenska istraživanja, a strelicom je označen početak profila (izvor: Google Earth)

2. METODE

Pri izradi ovog rada korištene su terenske, laboratorijske i kabinetske metode istraživanja.

Prilikom terenskih istraživanja primijenjene su dvije terenske metode:

1) kartiranje i

2) snimanje slijedova naslaga.

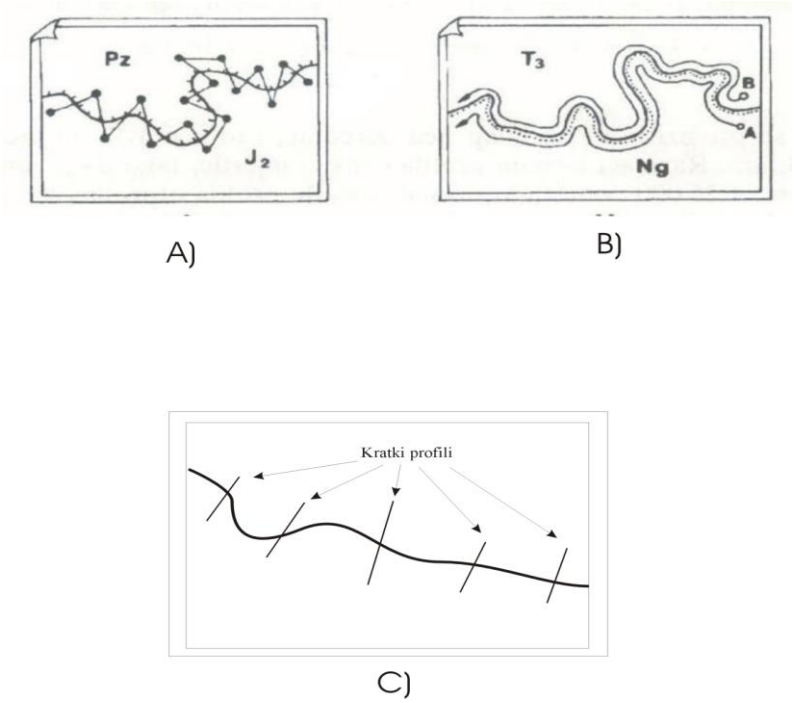
2.1. KARTIRANJE

Prema Bahun (1993) geološka karta koja pretpostavlja precizno ucrtavanje geoloških granica, može se izraditi na više načina:

1) profiliranjem – najbrži postupak izrade, a njezine su značajke dobro poznavanje jedinica ali i netočnosti između profila;

2) praćenjem geoloških granica – najtočniji postupak koji omogućuje dobro poznavanje obilježja kontakta, ali ne i upoznavanje obilježja izdvojenih jedinica;

3) kartiranjem izdanaka – što daje najmanje točan rezultat s najmanje podataka o izdvojenim jedinicama i obilježjima kontakata (Bahun, 1993).



Slika 2.1. Metode kartiranja (prema Bahun, 1993) A) Slika prikazuje praćenje granice pomoću cik-cak metode B) Praćenje granice s gornje i donje strane usporedno s granicom C) Praćenje geološke granice bilo je dopunjeno promatranjem pet kratkih profila kojima se presjecala granica i na taj se način pratila granica.

Za potrebe ovog diplomskog rada bila je korištena metoda kartiranja praćenjem geološke granice (Bahun, 1993).

Prednosti ovakvog kartiranja su velika točnost u određivanju mjesta kontakta dviju susjednih jedinica te detaljno upoznavanje obilježja kontakta između njih, jer se konstantno prelazi linijom kontakta.

Neposredno praćenje geološke granice bilo je dopunjeno promatranjem pet kratkih profila kojima se presjecala granica i na taj način stalno pratila granica (Slika 2.1).

Terenska oprema prilikom kartiranja sastojala se od geološkog čekića, lupe povećanja 10x, geološkog kompasa, GPS uređaja (iPad/tablet), terenskog dnevnika, topografske i geološke karte, tableta na kojem su se odmah ucrtavale točke na karti (iPad), vrećica za uzorke i flomastera za označavanje.

Kretanjem po terenu označavane su točke, a na svakoj je točki opisan izdanak, zabilježen GPS položaj, napravljena fotografija te su uzimani uzorci. Na izdancima su geološkim kompasom mjereni elementi položaja slojeva odnosno pružanje pretpostavljene PT granice.

Pri uzimanju uzoraka stijene su makroskopski, uz pomoć lupe terenski promatrane.

Prilikom kartiranja granice na terenu postavljeni su određeni kriteriji prema kojima se određivala granica. Dakle, određeno je kakve su litološke karakteristike stijena perma i trijasa, te je na osnovi njihovih razlika pretpostavljena permo - trijaska granica. Osnovne mikropetrografske karakteristike permskih i trijaskih stijena bile su određene prethodnim promatranjem kontinuiranoga slijeda ovih naslaga odnosno snimanjem sedimentološkog stupa označenog u radu kao slijed: Brušane Sy.

2.2. SNIMANJE SEDIMENTOLOŠKOG STUPA BRUŠANE Sy

Prilikom terenskih istraživanja snimljen je i slijed naslaga za koje je pretpostavljeno da prati kontinuiranu granicu perma i trijasa u dužini od 22 metra. Pored ovog profila načinjeno je još nekoliko kraćih profila, poprečno na pretpostavljeno pružanje PT granice. Uzeti su uzorci koji su također mikropetrografski analizirani.

Izdanci perma na terenu prepoznatljivi su po tamnijoj boji te obilju fosila koji su jasno vidljivi golim okom, kao npr. gastropodi, foraminifere i alge.

Također, u nekim se uzorcima mogu uočiti šupljine otapanja odnosno šupljine koje su ispunjene sparitom, a golim su okom vidljive kao tamne točke.

Izdanci trijasa su svijetlije boje, ponekad je vidljiva laminacija, te kristalasta dolomitna struktura. U pojedinim se uzorcima pojavljuju ooidi što jasno ukazuje na trijas. U tim uzorcima nema fosila.

2.3. PETROGRAFIJA KAO METODA

Uzorci koji su prikupljeni na terenu su pripremljeni za mikropetrografsku analizu. Od njih su izrađeni mikropetrografski preparati. Prilikom izrade preparata odrezan je dio uzorka u obliku pločice debljine oko pola centimetara. Tako ispiljene pločice brušene su na brusnoj ploči do određene debljine, a potom kanadskim balzamom lijepljene na objektno stakalce. Jedna strana se izravna i ispolira te se grubim, a kasnije i finim brušenjem uzorak stanji na debljinu od 0,02 do 0,03 milimetara. Zatim se koristi metoda brzog bojanja izbrusaka prema Evamy i Sherman (1962) pomoću kemikalija Alizarina RED S I K-fericijanida.

Metoda je korištena zbog lakšeg raspoznavanja i klasificiranja karbonatnih minerala. Za bojanje mikroskopskog preparata potrebne su dvije otopine: K-fericijanid i alizarin crveni S. Na kraju se uzorak pokriva pokrovnim stakalcem. Zbog mogućih dodatnih mineraloških i petrografskih analiza te usporedbe makroskopski i mikroskopski vidljivih značajki, izrađuje se još jedna dodatna pločica iz uzorka debljine nekoliko milimetara.

Polarizacijskim mikroskopom tipa *Leica DM LSP* napravljena je mikropetrografska analiza, a pomoću digitalne kamere *Leica DM100* koja je pričvršćena za okular mikroskopa napravljene su mikrofotografije svih uzoraka.
Pri analizi je promatrana struktura kao i količina primarnih karbonatnih sastojaka (fosili i ooidi) s ciljem da se odredi točna pozicija PT granice.

Prilikom analize uzoraka korištena je klasifikacija za vapnence po Folku (1959, 1962) dok su dolomiti klasificirani obzirom na veličinu kristala i sačuvanost primarnih sastojaka, uglavnom kako predlažu Sibbley i Gregg (1992).

3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA PERMO - TRIJASKE GRANICE

Granica perma i trijasa postavljena je na cca. 251,4 milijuna godina prema Wardlaw et al. (2004). To je jedna od najintrigantnijih geoloških granica uz koju su vezane dramatične promjene koje su dovelo do najvećeg izumiranja u Zemljinoj povijesti kada je izumrlo 96% svih marinskih vrsta, 60% familija gmazova i vodozemaca, 30% insekata, 70% rodova kopnenih kralježnjaka i većina kopnenog bilja (Sepkopski, 1990). Osnovni uzroci izumiranja su prema različitim autorima (pregled u Twitchett, 2006) sumirani kao: globalno zatopljenje, promjena kemizma morske vode, raspored kopnenih masa (Pangeae) i globalna anoksija u marinskim sredinama. Svi uzroci promjena su prouzročili globalne klimatske promjene koje su na koncu rezultirale biotičkom krizom krajem perma i velikim izumiranjem.

Promjene koje su nastupile na prijelazu perma u trijas uočene su u stijenama diljem svijeta. Nastojalo se zaključiti što se dogodilo i što je prouzročilo izumiranje, pa je tako PT granica postala jedna od najistraživanijih granica u historijskoj geologiji. Proučavani su mnogi lokaliteti. Granica je istraživana litološki, biostratigrafski (makro i mikrofosili) i kemostratigrafski (izotopi $\delta^{13}C_{carb}$ i $\delta^{13}C_{org}$ izotopi $\delta^{13}O$) te prema mikro i makroelementima u sastavu stijena.

Sljedovi sedimenata s kontinuiranim taloženjem tijekom prijelaza iz perma u trijas nisu česti, no njihovo je istraživanje od velike važnosti za shvaćanje pojava i uzroka okolišnih promjena na prijelazu iz perma u trijas. Takvi se sljedovi također javljaju u okolici Brušana te u južnom dijelu Velebita (Fio et al., 2010).

3.1. DEFINIRANJE PT GRANICE

Stratigrafija permo - trijaskih graničnih slojeva odnosno karakteristike same granice (engl. *Permian-Triassic Boundary* - PTB) intenzivno su istraživane diljem svijeta nakon osnivanja radne skupine za perm i trijas (engl. PTWG) 1981. godine.

Generalno je pri definiciji PTB prihvaćeno nekoliko kriterija:

1) Biostratigrafski (konodonti, ostrakodi, foraminifere i školjkaši)
2) Kemostratigrafski (stabilni izotopi ugljika)
3) Litološki

3.1. 1. Biostratigrafski kriterij

Najvažnija skupina fosila pomoću koje je definirana PT granica jesu konodonti. Najvažnije konodontne vrste koje se prepoznaju duž čitave PT granice pripadaju rodovima *Hindeodus* i *Isarcicella*. *Hindeodus parvus* je vrsta koja se lako prepoznaje i vrlo je geografski raširena. Ona je prva vrsta koja je globalno raširena i pojavljuje se malo iznad minimuma izotopa $\delta^{13}C$ i ne pripada određenom facijesu (Kozur et al. 1996). Prema PTWG prva pojava (engl. FAD – *first appearence datum*) konodontne vrste *Hindeodus parvus* definira sistemsku PT granicu i početak trijasa.

PT granica je definirana u južnoj Kini. Profil Meishan proglašen je kao GSSP - *Global Stratotype Section and Point* (Wardlaw et al., 2004). Prvo pojavljivanje (engl. FAD) vrste *Hindeodus parvus* u slijedu Meishan D označava početak trijasa. Taj prihvaćeni kriterij (Wardlaw et al., 2004) jasno definira naslage perma i trijasa, pomoću njega se postavlja biostratigrafska granica i od velikog je značaja za proučavanje masovnog izumiranja na PT granici.

Slijed Meishan obilježava prisutnost *gondolellida* i *hindeodida*. *Gondolellidi* jasno dominiraju u vapnencima vršnog dijela perma (changxingijan), ali unutar "prijelaznog sloja" dominacija *gondolellida* mijenja se u dominaciju *hindeodida* (Jiang et al., 2007).

Promjena iz facijesa toplovodnih *gondolellida* u biofacijes *hindeodida* je vjerojatno uzrokovana ekološkim stresom (Kozur 1994), koji je također izazvao nestanak većine permskih vrsta, ali je išao u korist ekološki tolerantnim *hindeodidama*.

Zajedničko pojavljivanje *gondolellida* i *hindeodida* omogućili su prepoznavanje dvije biozone temeljene na elementima pelagičke i plitkovodne zone te njihovoj usklađenosti.

Šest zona plitkovodnih konodonata mogu se razlikovati u intervalu PT granice:

gornjopermske zone: *latidentatus praeparvus, changxingensis* te donjotrijaske (griesbahijske) *parvus, staeschei i isarcica* zone (Jiang et al., 2007).

U Italiji su proučavane naslage PT intervala da bi se dokumentirala ova važna granica u zapadnom dijelu Tethysa. Slijedovi naslaga Tesoro i Bulla (U Dolomitima, Južne Alpe) su važne za definiranje PT granice u zapadnom Tethysu zbog

pronalaženja konodonata kao i vrlo precizne biostratigrafije koja omogućuje lociranje PT granice.

Te su sekvencije karakterizirane srednjom do vrlo viskom ratom plitkomorske sedimentacije koja omogućuje istraživanje morfoloških trendova među *Hindeodus-Isasircella* rodovima.

Sveukupno je definirano 12 konodontnih vrsta: 4 vrste roda *Hindeodusa* i 8 vrsta roda *Isasircella* te je zabilježena odsutnost *gondolellida*.

Na temelju biostratigrafskih podataka, predložena je precizna podjela intervala od najgornjeg perma (vrh Belerofonske formacije) do najdonjeg trijasa (član Mazzin Werfen formacije) u sedam konodontnih biozona.

Konodonatnu zonaciju PTB intervala u Dolomitima predložila je Perri (1991). Na temelju vertikalne distribucije roda diferencirane su slijedeće biozone: parvus (prema *Hindeodus parvus*), typicalis/isarcica (prema *Isarciccella typicalis* i *I. isarcica*) acquabilis (*Hadrodontina aequabilis,)*, te u mlađem dijelu, trijasu na anceps zonu (*Hadrodontina anceps)* i obliqua zonu (*Pachycladina obliqua)*.

Ove konodontne vrste su zone obilježene uzastopnim pojavama istih konodontnih vrsta koje ju obilježavaju, a granice zona su karakterizirane učestalom pojavom novih vrsta uz ili istovremeno pojavljivanje novih i prethodnih ili nestajanje prethodnih vrsta.

Važno je naglasiti da se prva pojava vrste *H. aequabilis* i posljednja pojava vrste *Isarcicella isarcica* istodobno pojavljuju u 27. sloju slijeda Bulla koja se nalazi 46 metara iznad litostratigrafke PT granice.

U zadnjih nekoliko desetljeća istraživanje konodonata u PT intervalu intezivirano je na području Dinarida. Biostratigrafski sigurno dokazana PT granica dokumentirana je u slijedu Lukač u zapadnoj Sloveniji - (sjeverozapadnom dijelu Vanjskih Dinarida). (Kolar-Jurkovšek et al., 2011).

Permo - trijaski interval na profilu Lukač istraživan je sedimentološki i mikropaleontološki pomoću konodonata. Prema Kolar-Jurkovšek et al., (2011), permskom dijelu slijeda odgovara Bellerophon formacija poznata i kao "Žažar formacija" koja je sastavljena od vapnenaca te izmjene evaporita i dolomita. Prema istim autorima donjotrijaska Lukač formacija, koja je ekvivalent Werfen formaciji Južnih Alpa, sastoji se od "prijelaznih slojeva" uključujući PT granicu, prugastih vapnenaca i karbonatno – klastičnih slojeva. Definiranje PT granice na profilu Lukač

omogućuje pojava konodontne vrste *Hindeodus parvus* (Kolar-Jurkovšek et al., 20011).

Proučavani PT granični slojevi prema istim autorima karakterizirani su asocijacijom *Hindeodus-Isarcicella,* a samo se u najvišim dijelovima pojavljuju i *Hadrodontine.* Prepoznato je šest konodontnih zona, a to su: najstarija permska zona (starosti changhsingijan) *praeparvus* zona, a zatim i donjotrijaske, (griesbahijske) zone *parvus, lobata, staeschei-isarcica, postparvus* i *anceps* zona. Prva pojava *H. parvusa* u prijelaznim slojevima označava sistemsku granicu između perma i trijasa.

Na profilu Lukač proučavane su i foraminiferske vrste te su pronađene četiri nove vrste: *Multidiscus zhiriensis, M. compressiusculus* i *Globivalvulina lukachiensis* iz gornjeg perma i *Lingulonodosaria Slovenica* iz najdonjeg trijasa. (Nestell et al, 2012). Vrste *"Cyclogyra" mahajeri, "Earlandia" gracilis* i *"E, tintimniformis,* pronađeni su u prijelaznim slojevima ispod prve pojave konodontne vrste *Hindeodus Parvus*. Za ove vrste foraminifera čini se da su ekološki uvjetovane vrste i njihova se pojava poklapa sa stresnim okolišnim uvjetima vezanim uz PT granicu. U tom profilu neposredno iznad sistemske PT granice nisu pronađe foraminifere. Prve foraminifere roda nodosariida pojavljuju se u dva intervala, cca 2 m i 5 m iznad PT granice. Oba intervala sa spomenutim foraminiferama su ograničena na posljednje pojavljivanje *Hindeodus parvus* vrste unutar konodontne zone *Isarcicella-isarcica*.

Prepoznavanje fauna konodonata na profilu Lukač omogućuje korelaciju sa sekvencijama u južnim Alpama u Italiji, Austriji, Mađarskoj i sa GSSP Meishan profilom u Južnoj Kini.

3.1.2. Kemostratigrafski kriterij

Kao jedan od važnih kriterija pri definiranju PT granice korišteni su i stabilni izotopi ugljika i kisika. Stabilni izotopi ugljika iz karbonata i asocirane organske tvari u kombinaciji s koncentracijom elemenata u tragovima koriste se za tumačenje geoloških i bioloških pojava te dobivanje informacija o taložnom okolišu (pregled u Fio et al., 2010).

Dramatični događaji koji su se dogodili na PT granici imali su svoj odraz u izotopnom sastavu mora/sedimenta. Na gotovo svim lokalitetima gdje su prisutni marinski karbonati, bilo plitkih ili dubljevodnih okoliša (pregled u Korte i Kozur, 2005) na granici je utvrđen otklon ugljikovih izotopa prema negativnim

vrijednostima. Isti takav otklon bilježi se i za $\delta^{13}C_{org}$ bez obzira je li marinskog ili kopnenog porijekla. Ako nije došlo do značajnije dijageneze sedimenta, smatra se da bi negativni sadržaj $\delta^{13}C_{carb}$ na PT granici mogao odražavati stvarni izotopni sadržaj mora u to vrijeme. Negativni pomak se različito tumači (pregled u Korte i Kozur, 2005). Najveći negativni sadržaj ugljikovih izotopa zabilježen je u Meishan slijedu (iz sloja gline na samoj granici) i iznosi ~ -5‰ (pregled u Korte i Kozur, 2005).

U Južnim Alpama (na profilima tipičnim za zapadni Tethys) uočen je također otklon prema negativnim vrijednostima, ali ne tako drastičan kao u profilu Meishan. U profilima Tesero, Bulla i Peitlerkofel u slojevima vršnoga perma (Bellerophon formacija) utvrđene su vrijednosti $\delta^{13}C_{carb}$ ~2,5-3‰ koje nakon PT granice u oolitnom sloju (tzv. engl. *Tesero oolitic horizon,* TOH) padaju na ~1-1,5‰, a zatim i dalje u sve negativnije vrijednosti (pregled u Korte i Kozur, 2005).

3.1.3. Litološki kriterij

Najpoznatiji lokalitet koji ujedno predstavlja i GSSP za PT granicu je slijed Meishan D (Wardlaw et al., 2004). Promatrajući njegove sedimentološke značajke, taj slijed nema litološke elemente koji su se, istraživanjem na drugim lokalitetima, pokazali kao tipični za PT granicu. U slijedu je najvažniji tzv. 27 – 30 tak cm debeo sloj karbonata u kojem je definirana PT granica (precizno postavljena na vrh intervala 27 C). Prema Zheng et al., (2012) sloj 27 se sastoji od homogenog siltoznog vapnenca. U njemu nisu uočene značajke hijatusa. Međutim, 2 cm ispod PTB isti autor opisuje pojavu engl. *hardground* kore s karakterističnom pojavom *Glossifungites* ihnofacijesa. Zheng et al., (2012) objašnjavaju *hardground* površinu kao površinu nastalu uslijed erozije u moru odnosno prekida sedimentacije. Sadržaj i vrsta fosila se značajno razlikuju ispod i iznad *hardground* površine. *Hardground* kora također označava završetak vapnenačke i početak dolomitne sedimentacije te se smatra da ujedno označava brzu transgresiju koja je nastupila krajem perma. Zheng et al., (2012) interpretiraju Meishan D slijed kao taloge dubljeg otvorenog mora, na prijelazu padine u duboko more.

U zapadnom Tethysu na lokalitetima Tesero i Bulla uz PT granicu specifična je pojava ooida/ooidnih grejnstona (pregled u Korte i Kozur, 2005).

Na vrlo mnogo istraženih profila uz PT granicu veže se pojava specifičnog facijesa – mikrobijalita (pregled u Kershaw et al., 2012). Prema istim autorima

debljina mikrobijalnih taloga na PT granici kreće se od 0,05 - 15 m. Mikrobijaliti su opisivani kao stromatoliti (slojevitog oblika), tromboliti (grudastog oblika), dendroliti (razgranati kalcimikrobi) i leioliti (nepravilne mikrobijalne mase) (pregled u Kershaw et al., 2012). Isti autori smatraju da mikrobijalni talozi indiciraju mirne, zaštićene i nešto dublje marinske uvjete taloženja jer su mikrobi potpuno netolerantni na visoku energiju okoliša. Zbog toga se smatra da se oni nikada ne pojavljuju zajedno s ooidima koji nastaju u visokoenergetskim uvjetima. Mikrobijalni sedimenti pojavljuju se u PTB intervalu na slijedećim lokacijama (pregled u Kershaw et al., 2012):

-Kina (Yudongzi Sichuan, Dongwan Sichuan, Baizhuyuan Sichuan, Chongyang Hubei, Dajiang Guizhou)

-Vietnam (Nhi Tao)

-Japan (južni Kyushu)

-Turska (Çürük Dag, Oznur Tape)

-Iran (Aliguordaz, Hambast)

-Arapski poluotok

-Mađarska (Bükk Mts.)

3.2. PERMSKE I DONJOTRIJASKE NASLAGE TE KARAKTERISTIKE PT GRANICE NA VELEBITU

3.2.1. Permske i donjotrijaske naslage na Velebitu

Na području Velebita prisutan je nekoliko tisuća metara debeo taložni slijed koji se sastoji od tektoniziranih karbonskih do tercijarnih stijena, a predstavlja dio krških Dinarida te planinski pojas koji povezuje Južne Alpe s Albanidima i Helenidima (Vlahović et al., 2005).

Tijekom kasnog perma uspostavljeni su različiti okoliši taloženja na području današnje Republike Hrvatske (rasprava u Sremac, 2005), u rasponu od okoliša delte s taloženjem klastičnih sedimenata i barita na području Gorskog kotara (Aljinović et al., 2003), okoliša plitkomorskih karbonata na području Velebita, lokalno sasvim uzdignutog područja u Lici (Ivanović i sur, 1973; Sokač, 1973; Šušnjar i sur, 1973), do okoliša koji su karakterizirani taloženjem evaporita s pojavama vulkanskih stijena u kasnom permu te klastičnih naslaga u najranijem trijasu (Šušnjara at al., 1992;. Tišljar, 1992).

Taloženje na Velebitu je započelo kao taloženje karbonske do rano permske epiričke platforme uz sjevernu Gondwanu, gdje se gomilaju plitkomorski karbonati. Krajem ranog perma taloženje je bilo prekinuto tektonikom koja ima ekstenzijski karakter (Aljinović, et al., 2008) pa je platforma dezintegrirana u nekoliko uzvišenja - horstova i udubljenja - graba.

Velebit vjerojatno predstavlja izdignuto područje moguće jedan od permskih horstova izoliranih od glavnih karbonatnih platformi u južnim Alpama, dok klastične stijene u Gorskom kotaru u zapadnoj Hrvatskoj popunjavaju permska udubljenja (korita) prije taloženja ranotrijaskih karbonata (Aljinović, 1997;. Aljinović et al, 2006).

Permski klastični klin Košna formacije na Velebitu umetnuo se između karbonata (Rattendorf slojeva i tzv. Velebit formacije). Velebit formacija definirana je prema Flügelu, (1977), a njena debljina iznosi 930 m. Starost formacije odgovara guadalupiju i lopingiju. Velebit formacija se sastoji dominantno od svijetlo sivog dolomita u kojem se nalaze leće crnog vapnenca u tri horizonta: donjem, srednjem i gornjem (Salopek, 1942; Kochansky-Devide et al., 1982, str.17, sl. 3, Aljinović et al., 2008 sl. 2). Ova tri lećasta vapnenačka horizonta su glavni izvor fosila Velebit formacije, poput puževa, školjkaša, ramenonožaca, glavonožaca, koralja, fusulina, manjih foraminifera i vapnenačkih algi, a koji pritom svi čine tipične elemente Tethysa (Kochansky-Devide, 1965, 1979; Kochansky-Devide, 1982, Sremac, 1991). Vrste stijena i fosilni sadržaj jasno pokazuju da je Velebit formacija formirana u plitkomorskom, toplom marinskom okolišu.

Donji vapnenac sadrži fusuline kasno cisuralijske starosti (Kochansky-Devide, 1965).

Srednji vapnenac je prepun raznih makro- i mikro-fosila uključujući gore spomenute tvoritelje grebena; npr. puževi, školjkaši, ramenonošci, glavonošci, koralji, mahovnjaci, fusuline, manje foraminifere i vapnenačke alge (Kochansky-Devide, 1965 , 1979; Sremac, 1991). Analizirajući srednji nivo vapnenaca, Sremac (1991) ističe spužve i alge koje imaju ključnu ulogu u razvoju grebena i karbonatnih humaka na karbonatnoj platformi.

Gornji vapnenac sadrži izobilje fusulina s manjim količinama koralja, ramenonožaca, puževa i vapnenačkih alga (Kochansky-Devide, 1965). Ovaj vapnenac leži na gustom (>200 m) manje fosilifernom dolomitu koji sadrži gymnocodiacejske alge u donjem dijelu, te male foraminifere (uglavnom Earlandia) u najvišem dijelu.

Naslage koje su tema ovog diplomskoga rada predstavljaju vršni dio Velebit formacije te najstarije naslage donjega trijasa. Pojednostavljeni stratigrafski stup ovog dijela permskih naslaga preuzet je iz Aljinović et al., (2008). Navedeni rad citira od ranije poznat stratigrafski stup karbonskih i permskih naslaga Velebita prema Kochansky-Devide et al. (1982). Prema oba rada, najmlađe naslage perma predstavljaju oko 250 m debeli interval od zone gornjeg vapnenca naviše, a u tom su intervalu, prema Aljinović et al. (2008) također prisutna tri sloja vapnenca L-1, L-2, L-3 u uzlaznom redoslijedu unutar debelih naslaga tzv graničnog dolomita.

L-1 vapnenac je debeo 45 m, a sastoji se od tamnosivog, dobro slojevitog bioklastičnog vekstona ili pekstona te madstona s raznim bioklastima. Vekston/pekston (biomikrit) sastoji se uglavnom od sitnih do krupnozrnastih peloida i fragmenata foraminifera, alga, mahovnjaka, bodljikaša, koralja, školjkaša, puževa i mikritnog matriksa. Na L-1 horizont naliježe oko 50 m debeli, svijetlosivi dolomit koji se ističe mikrokristalnom teksturom, u kojem se još uvijek u mikroskopskim preparatima zamjećuju alge. Zajednička pojava algi sugerira da je dolomit prvobitno taložen kao algalni vapnenac. Dobro očuvani bioklastični detritus i mikrokristalna struktura (prema Aljinović et al., 2005) ukazuju na ranodijagenetsku dolomitizaciju u natplimnim uvjetima.

L-2 vapnenac formira 11 m debeo interval sastavljen od debelo slojevitog crnog vekstona/pekstona koji sadrži obilje krupnih fuzulina i manje količine koralja, mahovnjaka te velike školjke s dobrom očuvanošću obje ljušture.

Između L-2 i L-3 ponovno se javlja dolomit debljine 20 m. Dolomit je polimodalni, anhedralni do subhedralni, mikro- do makro-kristalasti. Ovaj dolomit vjerojatno je pretrpio sekundarnu dolomitizaciju.

L-3 horizont debljine je oko 37 m, a sastoji se od debelo slojevitog bioklastičnog vekstona/pekstona te madstona. U bazi svakog sloja pojavljuje se krupno zrnati bioklastični detritus. Bioklastične forme veličine pijeska povremeno čine paralelnu do riplastu kosu laminaciju. Veliki bioklasti (npr. ramenonošci i fragmenti gastropoda, kao i usitnjene ljušture velikih školjkaša) javljaju se povremeno u bazalnom dijelu.

Crni madston koji se nalazi u gornjem dijelu svakog sloja sadrži malu količinu (manje od 10%) sitnozrnatog siliciklastičnog detritusa. U gornjem dijelu horizonta L-3, neki slojevi pekstona sastoje se gotovo u cijelosti od velikih fuzulina. Iznad

horizonta L-3, nalazi se oko 100 m debeli masivni, manje fosiliferni bijeli dolomit, koji ima makrokristalastu polimodalnu, anhedralnu do subhedralnu strukturu u kojoj se vide loše očuvani fragmenti algi. Ovaj je dolomit vjerojatno pretrpio nekoliko faza dolomitizacije, ali u ovom stadiju njegova struktura pokazuje rekristalizaciju u uvjetima dubljeg zalijeganja. Taj dolomit odgovara tzv. "prijelaznom dolomitu" *sensu* Salopek (1942) i Kochansky-Devide (1982).

3.2.2. Karakteristike PT granice na Velebitu

Tijekom geološkog kartiranja na Velebitu Salopek (1948) je uočio kontakt tzv. *prijelaznog* i *pjeskovitog* dolomita. Prijelazni dolomit predstavlja 10 - 100 cm debele slojeve ranodijagenetskog dolomita u kojem se nalazi promjenjiva količina biodetritusa. Iznad prijelaznih taloži se pjeskoviti dolomit, čiju starost Salopek pripisuje donjem trijasu, iako obično ne sadrži fosile. U svom se donjem dijelu odlikuje dolomitima koji se izmjenjuju s tinjčastim pješčenjacima i siltitima, kao i od rijetkih tankih slojeva sastavljenih od ooida. Granica između prijelaznog dolomita i pjeskovitog dolomita je oštra, na pojedinim mjestima erozijska. Prvi fosili nađeni u mlađem dijelu pjeskovitog dolomita (*Unionites fassaensis*) prema Salopeku (1948) jasno ukazuju na pripadnost ovih naslaga donjem trijasu. Litološka granica između prijelaznog dolomita i pjeskovitog dolomita se smatrala kao kronostratigrafska granica perma i trijasa.

Prilikom kartiranja lista Gospić u okviru izrade Osnovne geološke karte 1:100 000 Sokač et al. (1974, 1976) su uočili kontakt permskih i trijaskih stijena te su vrlo precizno definirali PT granicu na slijedeći način. Prema ovim autorima „naslage donjeg trijasa u normalnoj superpoziciji prate razvoj paleozoika. Zavisno o paleogeografskim odnosima s produbljivanjem sedimentacijskog bazena ka zapadu i jugozapadu, donji trijas leži samo dijelom na sjeveroistočnim padinama Velebita transgresivno na paleozoik, dok se konitinuirano nastavlja na njega u Velikoj Paklenici i široj okolini Brušana i Baških Oštarija. Litološke osobine, superpozicijski položaj i fosilni ostaci omogućili su izdvajanje tri superponirajuća člana: dolomite i klastite u rasponu sajskih naslaga, te dolomite, koji predstavljaju ekvivalent kampilskih naslaga. Najniži član u razvoju donjeg trijasa predstavljen je dolomitima, koji se kontinuirano nastavljaju na dolomite perma ili su prema njima dijelom i u transgresivnom odnosu. U kontinuitetu s permom, ove dolomite nalazimo u uskoj

zoni od Baških Oštarija na jugoistok padinama Velebita, gdje južno od Divosela, postupno prelaze u transgresivan odnos prema permu, koji dalje uz jugoistok postaje sve izrazitiji. U malom rasprostranjenju ovi dolomiti su konstatirani u strukturi, prosječenoj rasjedom, zapadno od Trnovca. Kod transgresivnog odnosa, početak sedimentacije ovih naslaga obilježen je pojavom brečokonglomerata, koji sadrže valutice permskih stijena međusobno povezane dolomitno-pjreščanim vezivom. U kontinuiranom slijedu od permskih dolomita razlikuju se tanjim slojevima, žućkastom ili crvenkastom bojom te pojavom terigenih primjesa.

Najnoviji publicirani rezultati istraživanja PT granice na Velebitu prezentirani su u radu Fio et al. (2010). U radu su dokumentirana dva lokaliteta gdje je u slijedu lito- i kemostratigrafski dokumentirana PT granica. To su lokaliteti Rizvanuša (nedaleko Brušana) te Brezimenjača (na južnom Velebitu). Rad prikazuje prve rezultate kemostratigrafske studije koristeći stabilne izotope i elemente u tragovima.
Na lokalitetu Rizvanuša Fio et al. (2010) utvrđuju litološki kontakt permskog *prijelaznog* i trijaskog *pjeskovitog* dolomita. Isti autori zaključuju da je pozicioniranje PT granice problematično zbog nedostatka fosila u najdonjim slojevima pjeskovitog dolomita, no naglašavaju da je litološka granica između prijelaznog i pjeskovitog dolomita pretpostavlja prekid sedimentacije uzrokovan tektonskim izdizanjem lokalnog karaktera. Zbog toga kontakt ove dvije litostratigrafske jedinice ne smatraju ujedno i kronostratigrafskom PT granicom. Nju spomenuti autori pozicioniraju na osnovi analize ugljikovih izotopa. Prvi izraženiji negativni otklon na lokalitetu Rizvanuša uočavaju 6 m iznad pojave zadnje utvrđenih permskih fosila, odnosno 11 m iznad kontakta prijelaznog i pjeskovitog dolomita.

Drugi geokemijski podaci vezani za istraživanje PT granice na području Rizvanuša i Brezimenjača prema Fio et al. (2010) su slijedeći:

U ispitivanim sljedovima, gornjopermska vrijednost izotopa postupno se smanjuje prema naslagama donjeg trijasa. Takav pad vrijednosti interpretiran je kao posljedica globalnog rasta temperature (pregled u Fio et al., 2010). Alternativno, pad vrijednosti izotopa može biti posljedica dijageneze i dolomitizacije te trošenja organske tvari (pregled u Fio et al., 2010).

Iznad pretpostavljene kemostratigrafske PT granice nalazi se nekoliko negativnih vrijednosti izotopa. To se može povezati s neobičnim promjenama izotopa u morskoj vodi.

Vrijednosti izotopa dušika u kerogenu pokrivaju široki raspon što ukazuje na

varijabilnost sadržaja organske tvari. Uzorci blizu PT granice ukazuju na niže dušične vrijednosti. Najniža vrijednost izotopa $\delta^{15}N_{org}$ podudara se s kasnopermskim negativnim vrijednostima izotopa $\delta^{13}C_{org}$. To ukazuje na doprinos cijanobakterija, vjerojatno uzrokovano biomasom mikrobakterija iz riječnih voda.

Koncentracija glavnih elemenata, elemenata u tragovima te elemenata rijetkih zemalja u sedimentima perma i trijasa slijeda Rizvanuša ima veliki značaj kao pokazatelj oksi - reduktivnih uvjeta, količine terigenog siliciklastičnog detritusa i varijacije bioloških procesa i prisutnost organizama kopnenog i marinskog podrijetla tijekom taloženja.

Velika je korelacija između koncentracija elemenata Si, Al, Ti, K. Ukupni REE sadržaj je pozitivno koreliran sa Si, Al, Ti, Zr, Na, K, a negativno sa Mg i Ca. To ukazuje na prisutost terigenog siliciklastičnog materijala i izraženije je u uzorcima u blizini litološkog kontakta prijelaznih i pjeskovitih dolomita. Elementi u tragovima i REE više su zastupljeni u nekarbonatnim frakcijama. Najveća koncentracija Fe, Mn, P, Zn i Ba nađeni su u donjotrijaskim dolomitima.

4. PROFIL PERMSKIH I TRIJASKIH NASLAGA „BRUŠANE Sy“

Prilikom istraživanja naslaga perma i trijasa te njihove granice na Velebitu, južno od Brušana bio je detaljno snimljen profil „Brušane Sy“ u zasjeku šumske ceste što od Brušana vodi na jug - slika 1.1. Početak profila ima koordinate (44°29’56”N i 15°15’33” E). Slojevi su vertikalni ili subvertikalni, na početku snimljenog profila Brušane Sy mjeren je položaj sloja koji iznosi 0/55, a pružanje je mjereno duž cijele pretpostavljene granice (80-260, 90-270, 100-280, 110-290, 113-293, 115-295, 105-285). Detaljna sedimentološka, biostratigrafska i kemostratigrafska istraživanja provedena su 2015. i u proljeće 2016. godine u okviru bilateralnog projekta Austrija - Hrvatska *(„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“ voditeljica hrvatske dionice projekta prof.dr.sc. D. Aljinović).*

Preliminarni rezultati tog istraživanja bili su mi dostupni tijekom izrade diplomskoga rada. Ova su istraživanja značajna jer su pokazala:

-da je granica između permskih i trijaskih stijena kontinuirana (konkordantna) – slika 4.4;

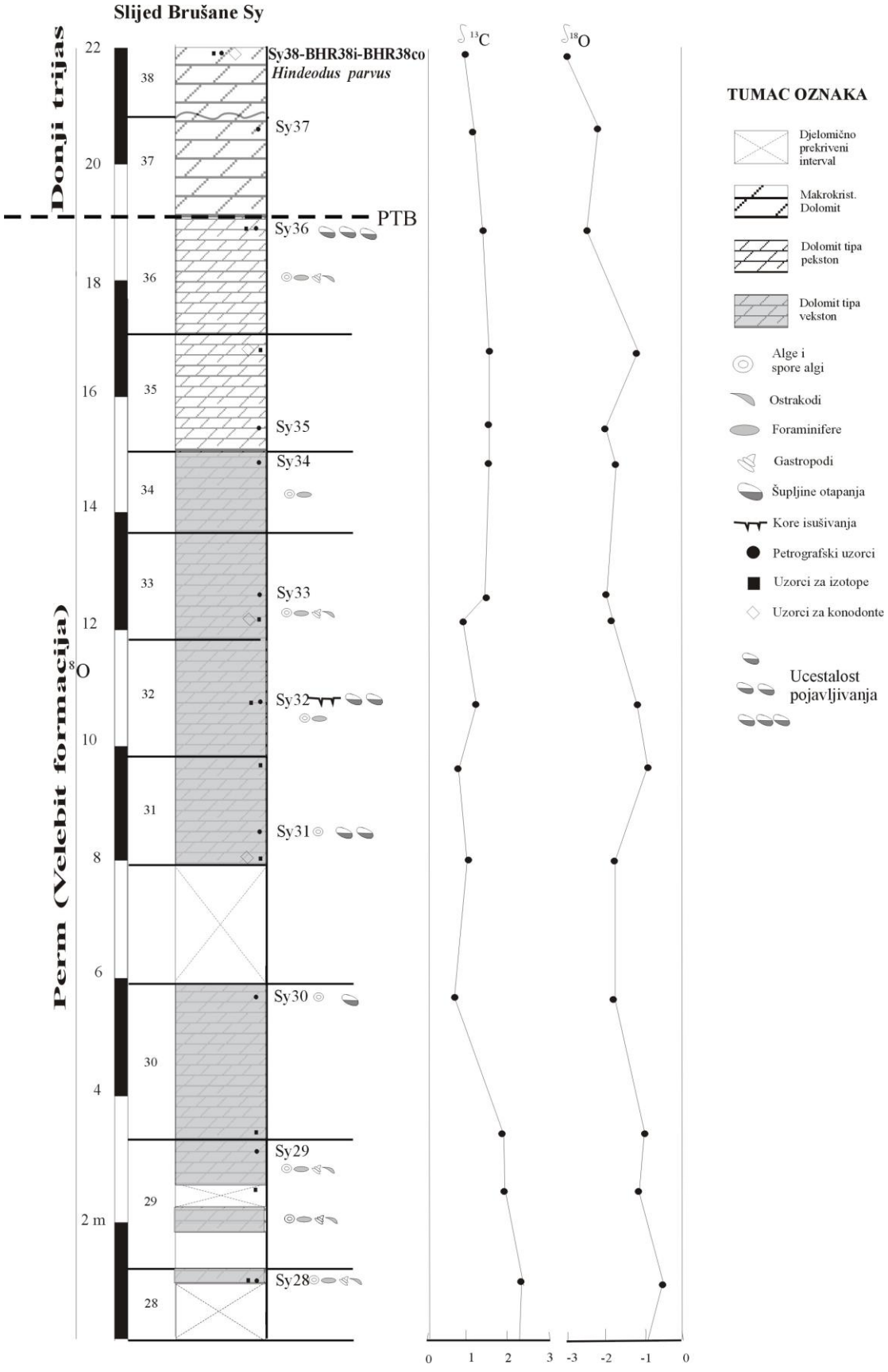
-da je čitav slijed (naslage perma i trijasa) izgrađen od dolomita, ali da postoje mikropetrografske karakteristike između dolomita permske starosti i dolomita trijaske starosti prema kojima se naslage ove dvije stratigrafske jedinice mogu razlikovati pa se prema tome između njih može trasirati geološka granica;

-da dolomiti permske starosti obiluju fosilima između kojih se mogu prepoznati foraminifere tipične za perm (Aljinović, osobna komunikacija);

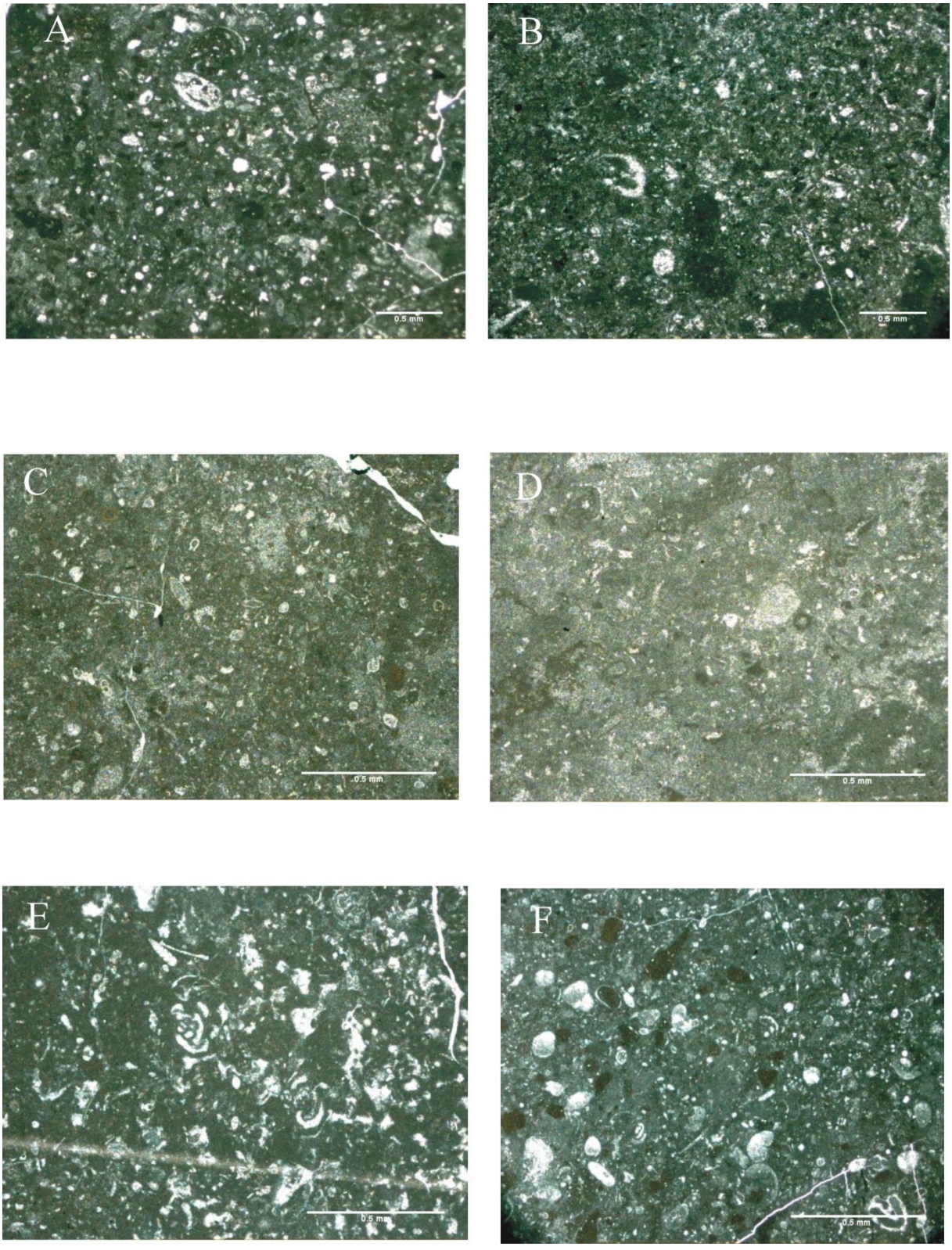
-da u naslagama trijasa nema fosila, no da su prvi (najstariji) slojevi donjeg trijasa u slijedu potvrđeni nalazom konodontne vrste *Hindeodus parvus* (Aljinović, osobna komunikacija);

-da analiza stabilnih izotopa ugljika nije ukazala na granicu odnosno da je sadržaj izotopa $\delta^{13}C_{carb}$ približno jednak u dolomitima najmlađeg perma i najstarijeg trijasa.

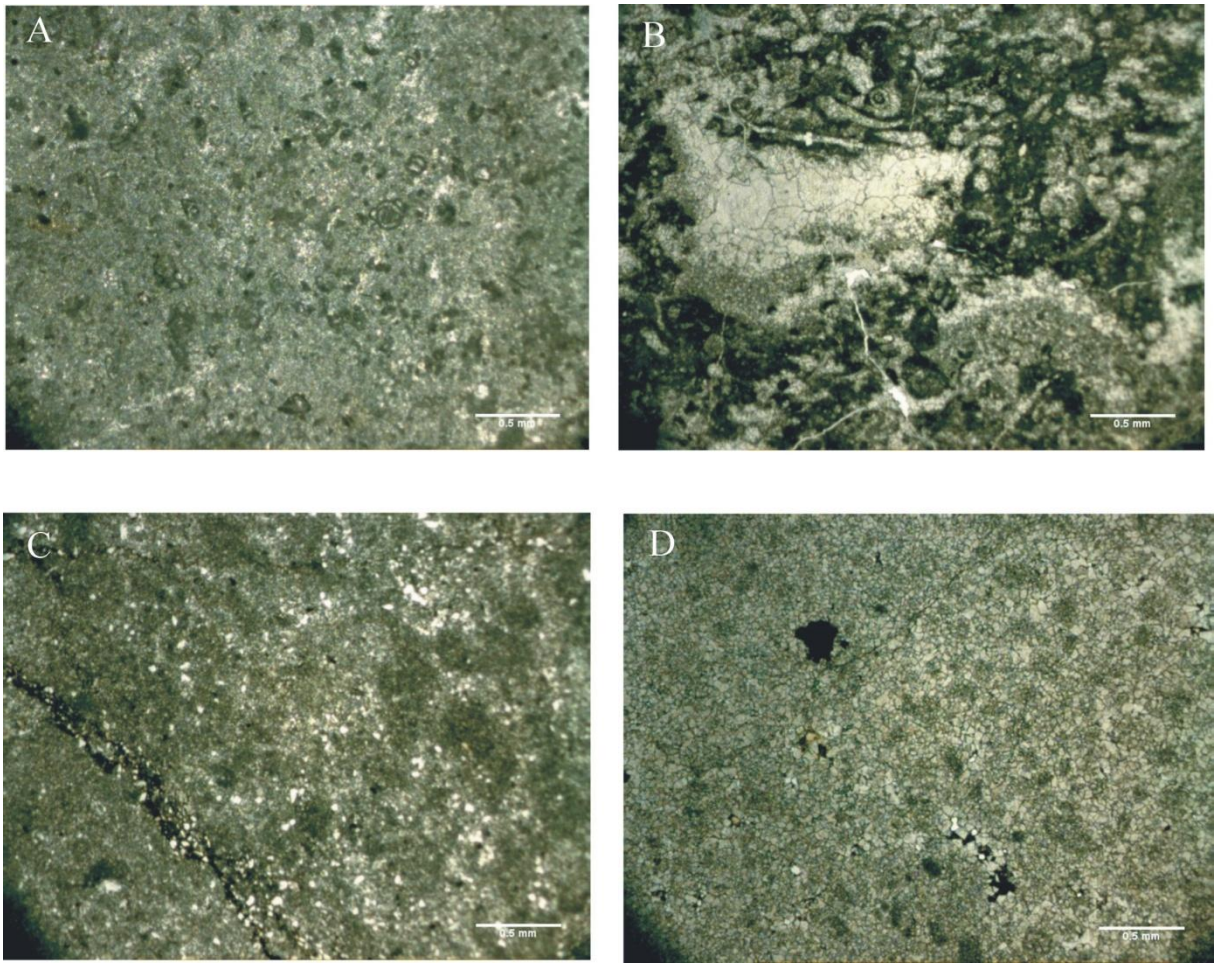
U prvoj fazi izrade diplomskog rada upoznala sam se s karakteristikama vršnoga dijela slijeda Brušane Sy. Nacrtala sam sedimentološki stup (slika 4.1.) te u njemu bilježila svoja mikropetrografska zapažanja te od ranije poznate rezultate koji se tiču bio- i kemostratigrafije.



Slika 4.1. Slijed Brušane Sy



Slika 4.2. Mikropetrografske karakteristike uzoraka perma iz slijeda Brušane Sy; Svi uzorci predstavljaju dolobiomikrite/vekstone u kojima su prisutni fosili (uglavnom okrugle spore algi te foraminifere; A) uzorak Sy 28 B) uzorak Sy 29 C) uzorak Sy 30 D) uzorak Sy 31 E) uzorak Sy 32 F) uzorak Sy 33.



Slika 4.3. Mikropetrografski prikaz uzoraka iz slijeda Brušane Sy; A) Dolobiomikrit/vekston – uzorak Sy 34 u kojem su vidljive permske foraminifere B) Rekristalizirani dolobiomikrit/pekston permske starosti (uzorak Sy36). Vidljivi su permski fosili te šupljine otapanja u centralnom dijelu; C) Dolomit trijaske starosti (uzorak Sy 37) koji ne sadrži fosile već duhove ooida i siliciklastični detritus; D) Makrokristalasti dolomit donjotrijaske starosti (uzorak Sy 38) s očuvanim duhovima ooida.

Vlastita mikropetrografska zapažanja koja se odnose na ovaj dio stupa su slijedeća:

Sedimenti permskog dijela stupa su tamni dolomiti koji po tipu odgovaraju dolobiomikritima/vekstonima (reprezentirani uzorcima Sy 28, Sy 29, Sy 30, Sy 31, Sy 32, Sy 33, Sy 34) osim uzorka Sy 36 koji odgovara rekristaliziranom dolobiomikritu/pekstonu. Položaj ovih uzoraka je prikazan u slijedu Brušane Sy – Slika 4. 1., a mikropetrografske karakteristike svih uzoraka na slikama 4.2. i 4.3. U većini uzoraka može se uočiti gusti dolomikrit koji predstavlja osnovu te fosili: alge (zelene), spore algi, foraminifere, te rjeđe ostrakodi i gastropodi. Fosili su česti. Prema D.Aljinović (osobna komunikacija) uočene foraminifere ukazuju na permsku starost ovog dijela slijeda. U nekim uzorcima (Sy 30, Sy 31, Sy 32, Sy 36) vidljive su

šupljine otapanja koje se mogu prepoznati kao geopetalna tekstura gdje je u donjem dijelu šupljina nakupljen kristalni silt, dok je gornji dio ispunjen cementom (krupnim sparitnim kristalima dolomita) – Slika 4.3.B. U jednom uzorku (Sy 32) uočene su ispucane, vjerojatno mikrobijalne kore. Učestalost šupljina otapanja je naznačena u slijedu (Slika 4.1).

Uzorci dolobiomikrita/vekstona bogati dolomikritom te biodetritusom što ukazuju na taloženje u mirnoj (lagunskoj) potplimnoj zoni. Ovakvi talozi su vjerojatno povremeno izronjavali u plimno-natplimnu zonu o čemu svjedoči prisustvo šupljina otapanja i isušenih mikrobijalnih kora u nekim uzorcima.

Tip dolomitizacije u promatranim uzorcima ukazuje na mimikrijsku dolomitizaciju pri kojoj su primarni strukturni sastojci ostali očuvani.

Analiza stabilnih izotopa $\delta^{13}C_{carb}$ duž ovog dijela slijeda pokazuje vrijednosti koje su u donjem dijelu ~ 2 ‰, no vrlo brzo padaju na ~1‰ i ponovno se penju na ~1,5 ‰ – Slika 4.1.

Naslage perma mogu se prepoznati po tipu dolomita – dolobiomikriti/vekstoni i samo u uzorku Sy 36 pekston. U svim uzorcima u velikom broju prisutni su fosili. Pretpostavlja se da slijed naslaga permske starosti završava s uzorkom Sy 36 – Slika 4.1.

Neposredno iznad uzorka Sy 36 pretpostavljena je PT granica. Na terenskim fotografijama vidi se da je slijed konkordantan (Slika 4.4.).



Slika 4.4. A) Kontinuirana (konkordantna) granica perm-trijas kako je utvrđena na profilu Brušane Sy nalazi se između slojeva Sy 36 i Sy 37; B) Uvećani detalj PT granice sa slike A;

U mlađem (donjotrijaskom) dijelu slijeda analizirana su još dva uzorka: Sy 37 i Sy 38. U uzorku Sy 38 utvrđena je konodontna vrsta *Hindeodus parvus* (D.Aljinović, osobna komunikacija).

Analiza stabilnih izotopa $\delta^{13}C_{carb}$ duž pretpostavljene granice (uzorci Sy 36 i Sy 37) iznosi ~1,5 ‰ bez znatnog skoka odnosno negativnog pomaka koji je tipičan za PT granicu (poglavlje 3).

Mikropetrografski, karakteristike uzoraka Sy 37 i Sy 38 pokazuju bitnu razliku u odnosu na sve prethodno analizirane uzorke. Osnovna karakteristika ovih dolomita je njihova makrokristalasta sturuktura. Ovi dolomiti ne sadrže fosile, ali su u njima sačuvani duhovi ooida ili sferični intraklasti. U uzorku Sy 37 pojavljuje se u malom udjelu siliciklastična komponenta (koja je izostajala u svim permskim varijetetima dolomita). Navedene mikropetrografske karakteristike ukazuju na trijasku starost ova dva uzorka (3 m vršnog dijela slijeda) – Slika 4.1.

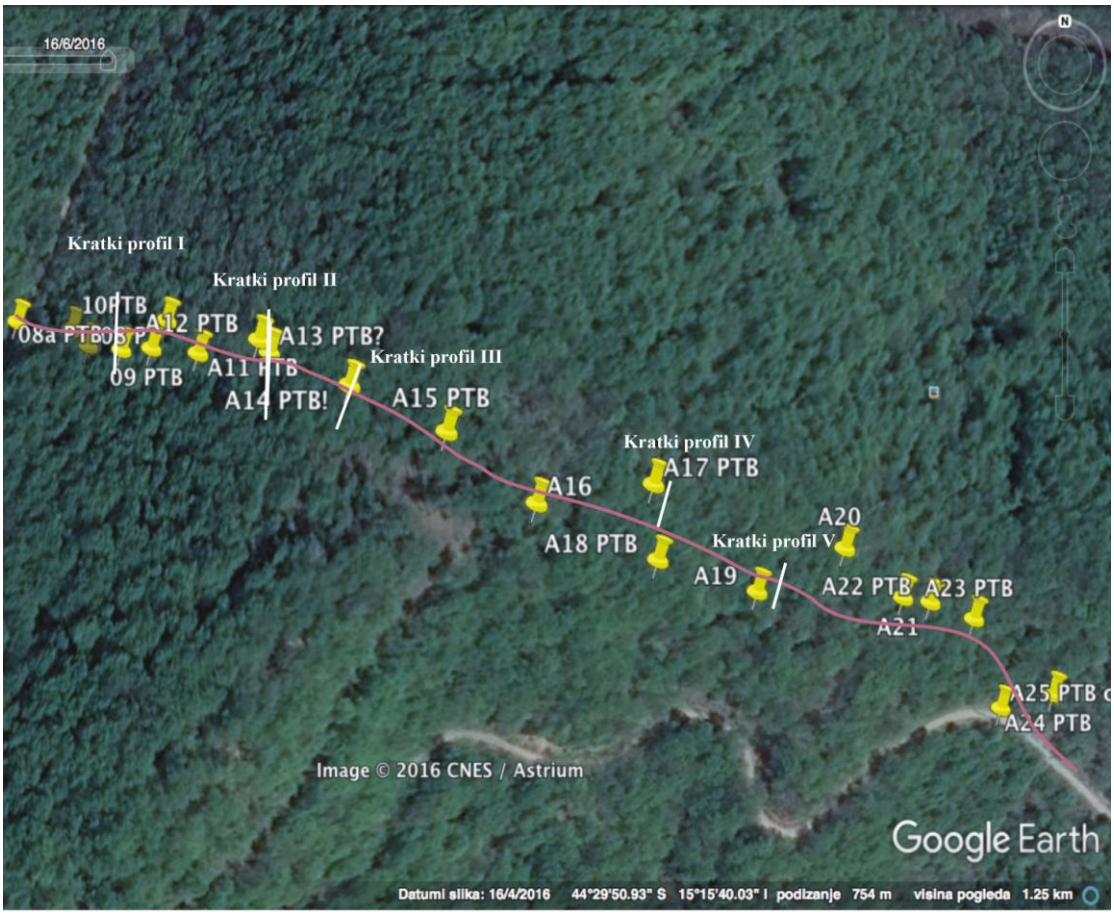
Odsustvo fosila u uzorcima Sy 37 i Sy 38 kao i prisustvo duhova ooida sukladno je sastavu trijaskih sedimenatnih stijena na drugim lokalitetima u svijetu i u Dinaridima (detaljni prikaz u poglavlju 3).

Izostanak otklona krivulje izotopa $\delta^{13}C_{carb}$ prema negativnim vrijednostima na profilu Brušane Sy može se tumačiti izraženom vadoznom dijagenezom.

5. REZULTATI

5. 1. DEFINIRANJE PT GRANICE

Trasu granice perma i trijasa pratila sam kako je označeno na slici 5.1. Makroskopski je tu granicu jako teško uočiti. Slijed sedimenata trijaske starosti konkordantno se nastavlja na naslage perma što se manifestira identičnim položajem slojeva (Slika 4.5). Slojevi imaju pružanje istok - zapad (uz neznatna odstupanja), subvertikalnog su ili vertikalnog položaja.



Slika 5.1. Na slici je prikazana trasa pretpostavljene granice između perma i trija koju sam pratila na terenu. (preuzeto iz Google Eartha)

Mikropetrografske karakteristike stijena perma i donjega trijasa jasno ukazuju na razliku u građi (koja se makroskopski teško može uočiti) pa su prilikom praćenja PT granice na nekoliko mjesta napravljeni kratki profili te su duž njih sakupljeni uzorci. Prema njihovim mikropetrografskim karakteristikama bilo je moguće precizno pozicionirati položaj granice što je rezultiralo njenim nešto izmijenjenim položajem u

odnosu na podatke iz Osnovne geološke karte 1: 100 000 list Gospić (Sokač et al., 1974) (prikazano u poglavlju 5.2.).

U ovom poglavlju prikazana su mikropetrografska svojstva stijena perma i trijasa iz uzoraka sakupljenih na 5 kratkih profila poprečnih na pružanje granice (Slika 5.1). Ukupno je pripremljeno 11 uzoraka koji su mikropetrografski determinirani.

PT GRANICA; kratki profil PTB I (uzorci: PTBa i PTBb)

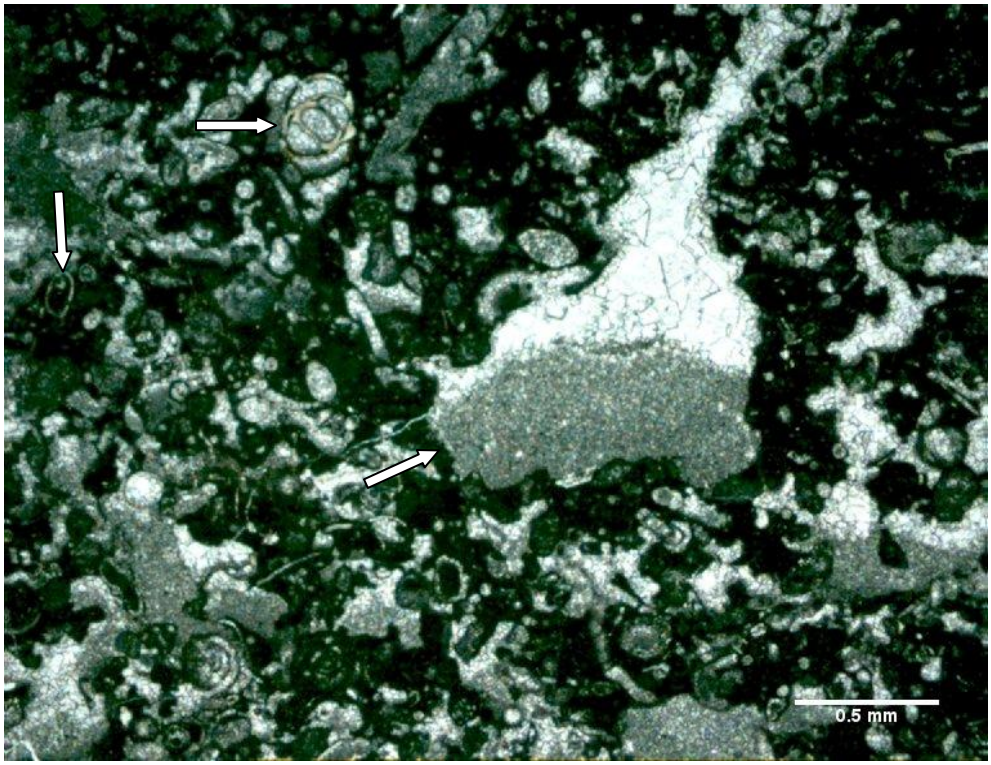
Uzorak PTB a

Uzorak PTBa odgovara dolomitu. Promatrajući mikropetrografski sastav vide se dobro sačuvani fosili (alge, foraminifere, gastropodi) (Slika 5.2.). Vezivo uglavnom odgovara mikritu, no djelomično je prisutan i sparit (Slika 5.4.). Bioklastični detritus je loše sortiran. Postoji i nešto siliciklastične komponente uglavnom zastupljene kvarcom (Slika 5.3.). Primarna struktura vapnenca je sačuvana zahvaljujući mimikrijskoj dolomitizaciji.

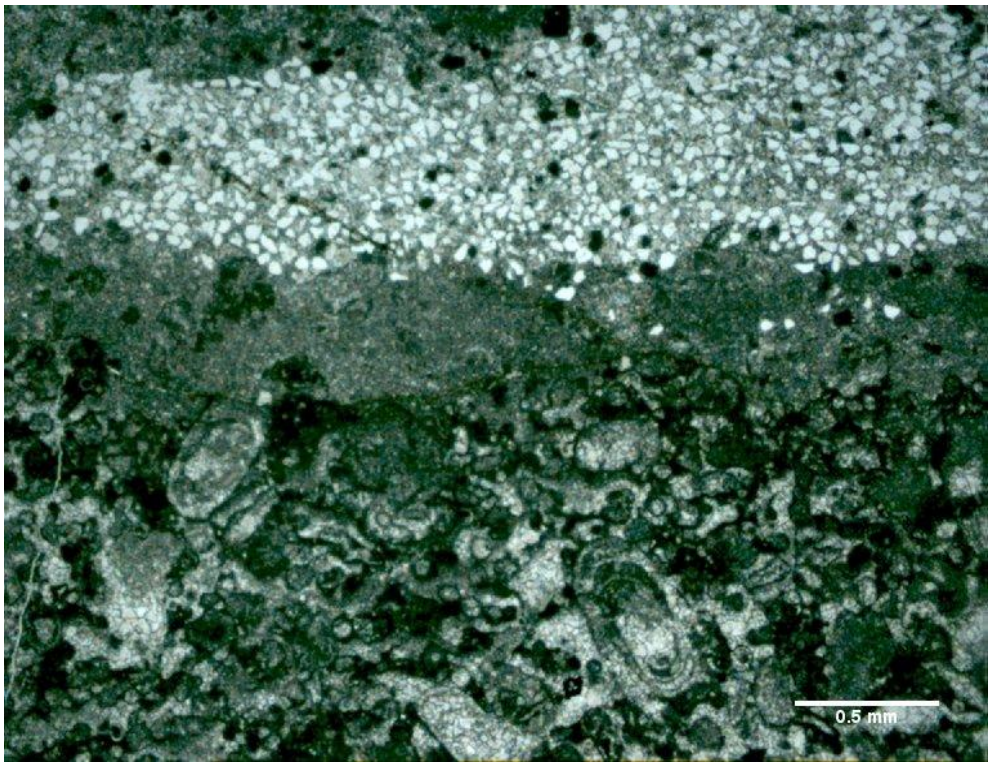
Stijena je **dolobiomikrit-sparit / pekston do grejnston**. U strukturi stijene jasno se mogu uočiti brojne šupljine otapanja nejednakih veličina (Slika 5.2.). Šupljine otapanja imaju geopetalno punjenje odnosno u donjem su dijelu zapunjene kristalnim siltom (Slika 5.2.).

Prema svom primarnom sastavu, naročito obilnom prisustvu biodetritusa, te mikritnom vezivu može se zaključiti da je primarna stijena – vapnenac, bila taložena u potplimnoj zoni - subtajdalu. Taj je zrnski talog povremeno izranjao iznad srednje razine plime (u plimnu ili natplimnu zonu) što dokazuje prisutnost brojnih šupljina otapanja. Izronjavanje je vjerojatno bilo kratkotrajno.

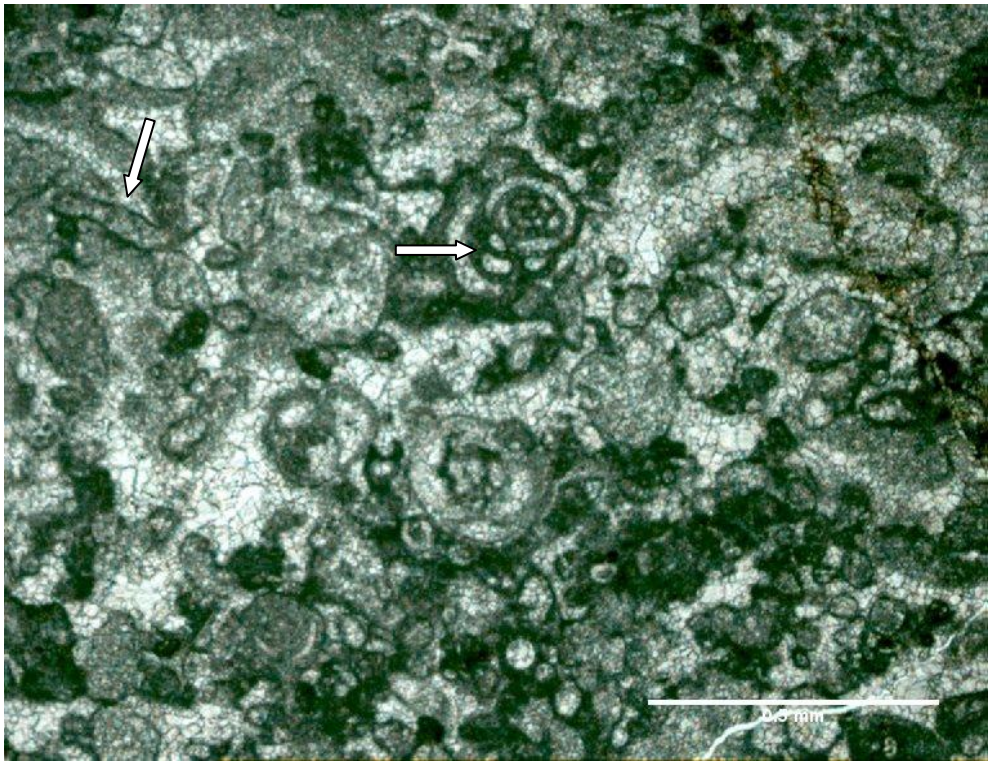
Na osnovi prisustva i brojnosti fosila te foraminifera koje su permske (Aljinović, osobna komunikacija) ovaj uzorak sigurno predstavlja permski **dolobiomikrit-sparit / pekston do grejnston tipa**.



Slika 5.2. Dolobiomikrit-sparit / pekston do grejnston tipa permske starosti (uzorak PTBa). U sastavu su vidljivi fosili (alge i foramiifere) (strelica) te vezivo koje je djelomično mikritno, a djelomično sparitno. Prisutne su i šupljine otapanja nejednakih veličina koje imaju geopetalno punjenje (strelica).



Slika 5.3. Mikropetrografske karakteristike uzorka PTBa. U gornjem dijelu slike prisutna je siliciklastična komponenta koja se uglavno sastoji od kvarca.



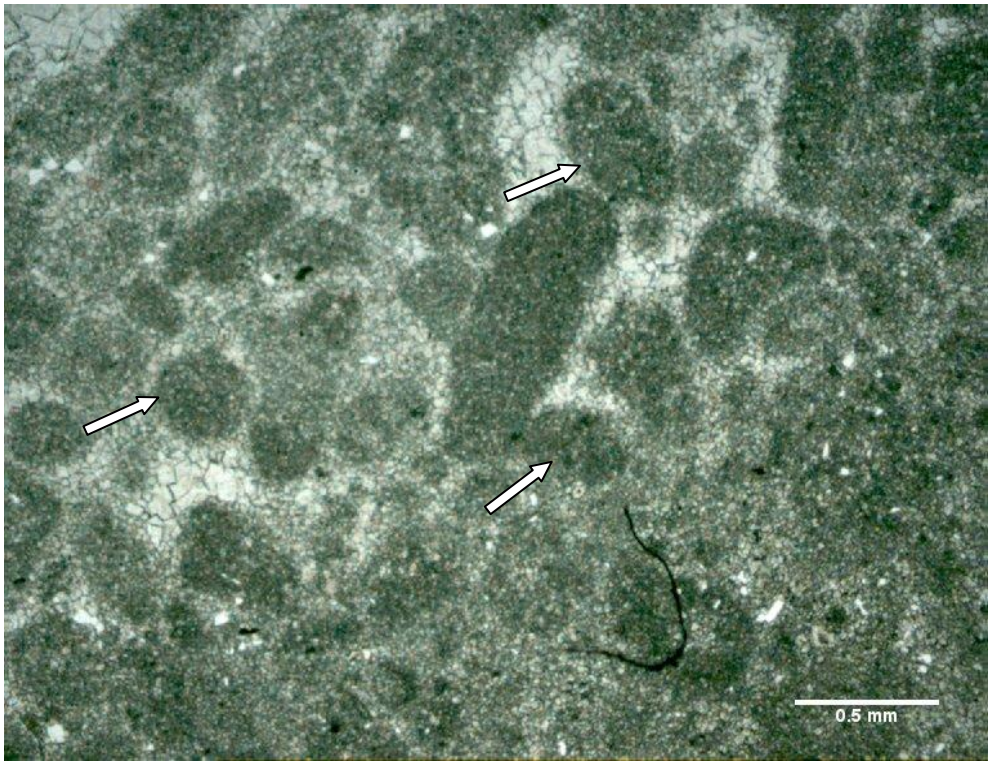
Slika 5.4. Uzorak PTBa. Na slici je vidljiv dominantno sparit u vezivu te permske foraminifere (strelica).

Uzorak PTB b

Uzorak PTB b odgovara dolomitu. U sastavu je vidljiva kristalasta dolomitna struktura te se mogu prepoznati okrugle primarne forme (ooidi ili sferični intraklasti) (Slika 5.5.). Fosila ima vrlo malo, rijetko je vidljiva pokoja foraminifera. Također se u uzorku može uočiti pirit, najčešće vidljiv u obliku heksaedarskih formi.

Stijena je determinirana kao **polimodalni neplanarni dolomit**.

Na osnovi kristalaste dolomitne strukture od ranije prepoznate da određuje trijasku starost, te općenitog odsustva fosila, no prisustva okruglih formi (ooida/sferičnih intraklasta) za ovaj je dolomit utvrđeno da sigurno pripada donjem trijasu.



Slika 5.5. Na slici je vidljiva kristalsta dolomitna struktura, a važno je uočiti prisustvo okruglih formi - ooida ili sferičnih intraklasta (strelica).

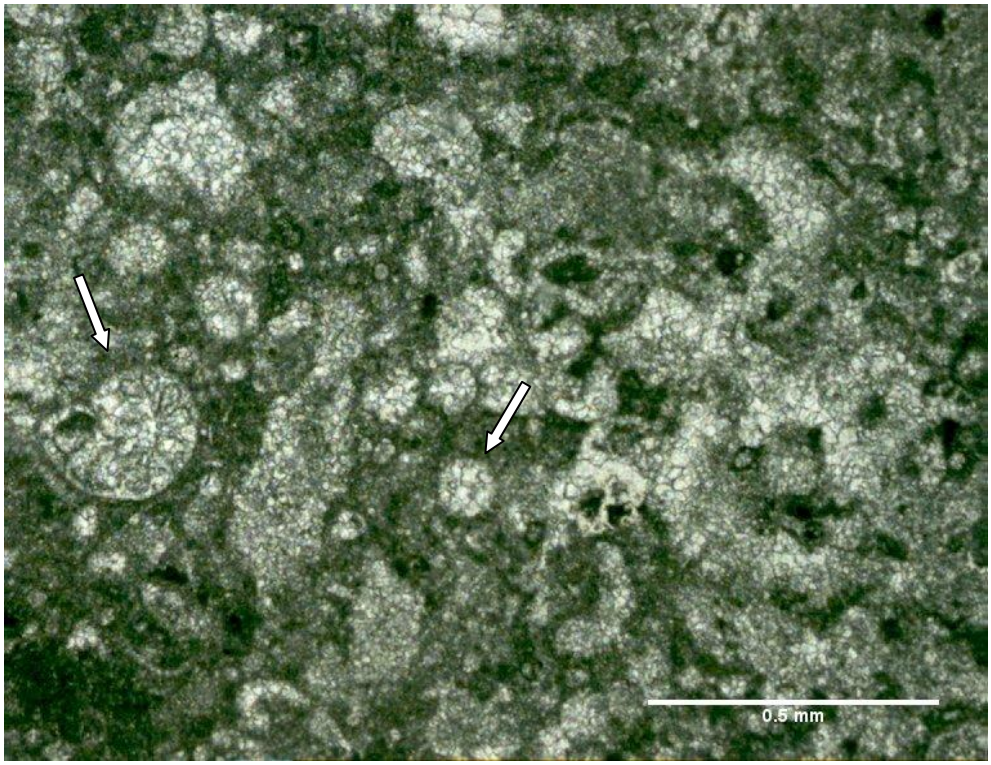
Profil: PT GRANICA; kratki profil PTB II (uzorci: U 13a – U 13b – U 13 -c)

Uzorak: U 13 a

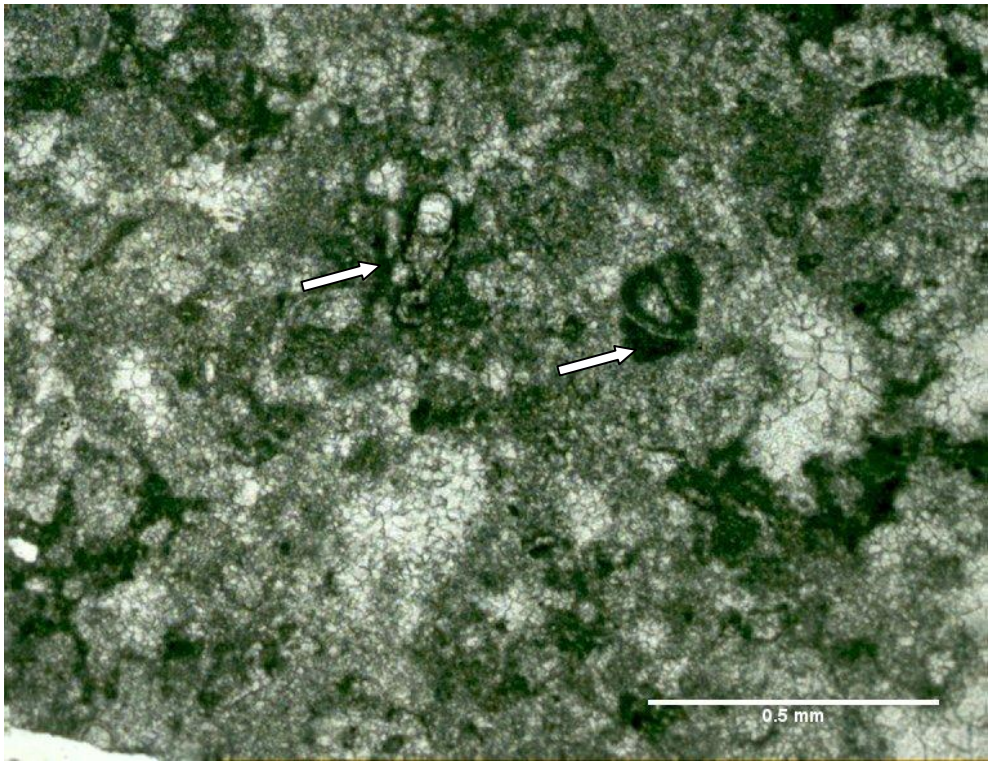
Uzorak reprezentira dolomit. U sastavu se mogu raspoznati rijetki fosili, no među njima su jasno prepoznatljive permske foraminifere (Slika 5.6. i 5.7.), zelene alge te permski gastropodi. Bioklastični detritus je umjereno dobro sortiran. Između bioklasta sačuvano je dolomikritno vezivo. Primarna struktura stijene je uglavnom dobro očuvana zahvaljujući mimikrijskoj dolomitizaciji (Slika 5.6.).

Stijena je determinirana kao **dolobiomikrit / pekston**.

Na osnovi čestih fosila od kojih su foraminifere određene kao permski rodovi (Aljinović, osobna komunikacija) određeno je da stijena pripada permu.



Slika 5.6. Permske foraminifere (strelica) prisutne u uzorku U 13a.



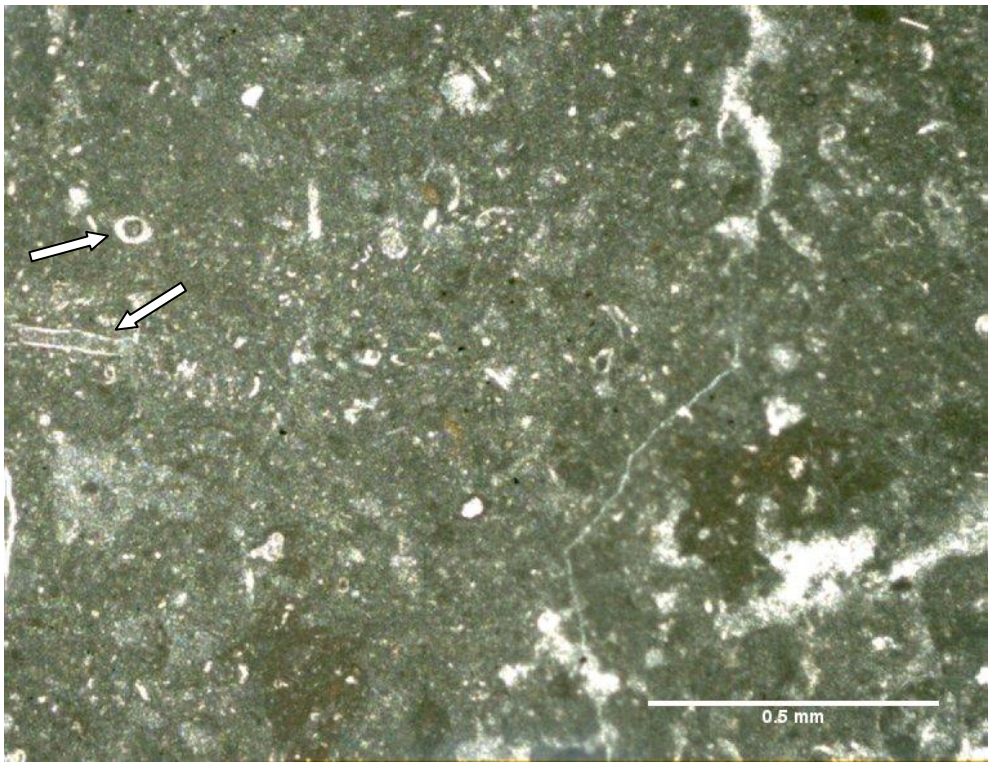
Slika 5.7. Foraminifere (strelica) prisutne u uzorku U 13a.

Uzorak: U 13b

U mikropetrografskom sastavu ove stijene dominira mikrit u osnovi u kojem se nalazi obilje sitnih fosila (uglavnom fragmentiranih algi ili njihovih spora) (Slika 5.8.). Stijena odgovara **dolobiomikritu / vekstonu**.

Prisustvo mikrita u ovoj stijeni te prisustvo algi i njihovih spora ukazuje na taloženje u potplimnoj (subtajdalnoj) zoni.

Na osnovi obilnog prisustva spora algi, što je već prije (na profilu Brušane Sy) utvrđeno kao mikrofacijes koji sigurno odgovara permu, ovaj je uzorak determiniran kao subtajdalni permski dolomit.



Slika 5.8. Dolomikrit vekston tipa (uzorak U 13b). U mikritnoj osnovi se nalazi obilje fosila (alge i njove spore te foraminifere).

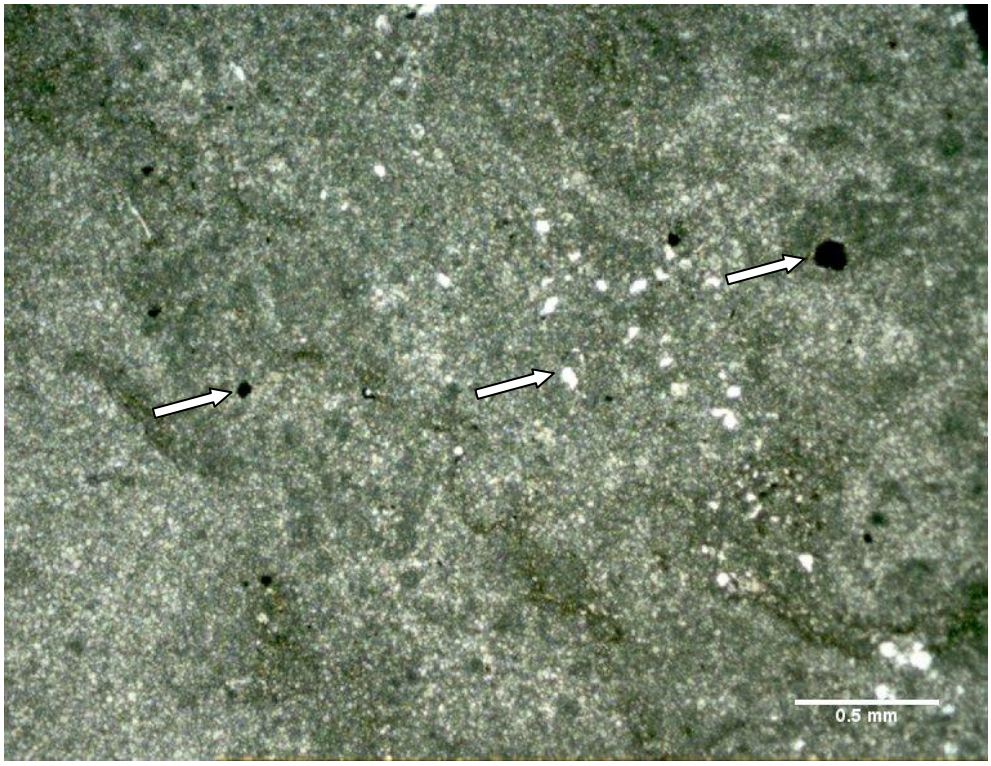
Uzorak U 13 c

Uzorak U 13c odgovara dolomitu te je mikropetrografski sličan uzorku PTB b koji je prethodno opisan. Mikropetrografski uočava se mikrokristalasta dolomitna struktura u kojoj se mogu prepoznati loše očuvane okrugle primarne čestice - ooidi ili sferični intraklasti (Slika 5.9. i 5.10.). U kristalastoj dolomitnoj osnovi rijetko su prisutne foraminifere *Earlandiae?* (Aljinović osobna komunikacija) (Slika 5.11.). Osim rijetkih foraminifera stijena ne sadrži druge fosile. Primarna vapnenačka

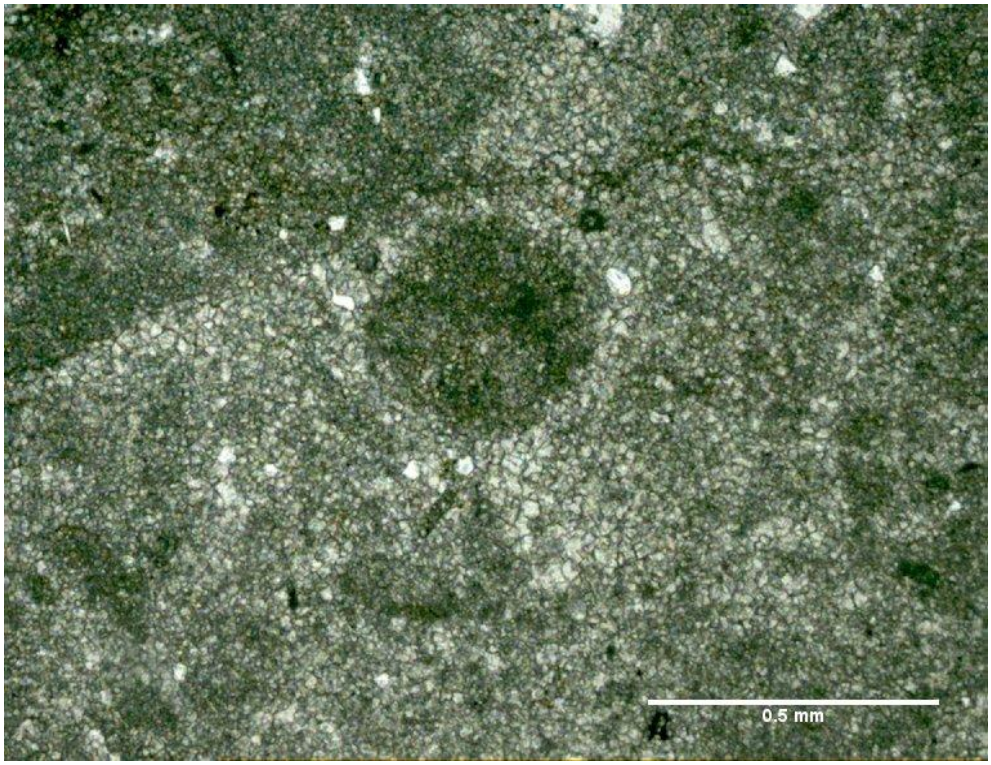
sturuktura, osim ooida/sferičnih intraklasta, loše je očuvana odnosno uništena tijekom dolomitizacije (Slika 5.10.). U strukturi dolomita može se uočiti i nešto siliciklastičnog detritusa zastupljenog uglavnom kvarcom čiji je udio procijenjen na < 5% (Slika 5.9.). U stijeni je prisutan i kristalasti pirit, najčešće vidljiv kao heksaedarske forme (Slika 5.9.). Stijena je **neplanarni polimodalni dolomit**.

Prisustvo ooida/intraklasta te rijetke foraminifere ukazuju na taloženje primarne stijene u potplimnoj marinskoj zoni.

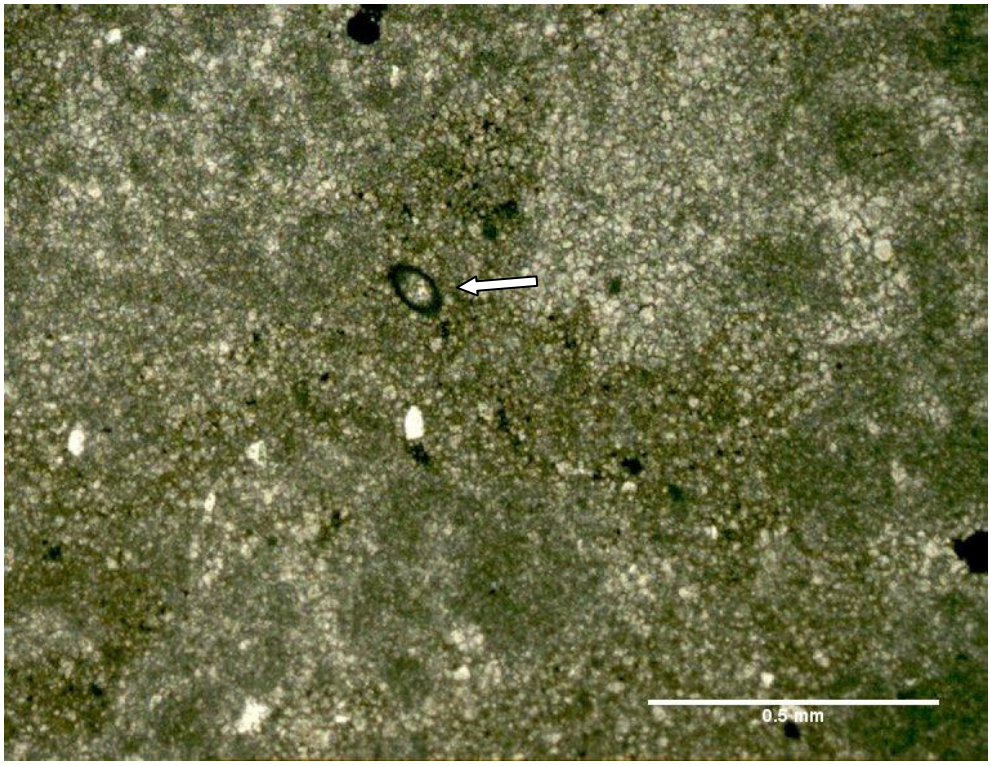
Na osnovi generalnog odsustva fosila (algi i tipičnih permskih foraminifera te gastropoda), osim rijetkih foraminifera *Earlandiae?* (Aljinović osobna komunikacija), kao i na osnovi utvrđenih okruglih čestica koje bi mogle odgovarati ooidima, te općenito na osnovi dolomitne strukture koja se razlikuje od mimikrijske dolomitizacije karakterističnе za perm, za ovaj uzorak je određeno da pripada donjem trijasu.



Slika 5.9. Uzorak trijaskog dolomita (U13c). Na slici je vidljivo da je u kristalastoj dolomitnoj strukturi prisutan i pirit u obliku heksaedarskih formi (strelica) te siliciklastični detritus koji je zastupljen uglavnom kvarcom, a ima ga manje od 5 % (strelica).



Slika 5.10. Mikrokristalasta dolomitna struktura (uzorak U13c) u kojoj se mogu prepoznati loše očuvane okrugle forme (ooidi ili sferični intraklasti).



Slika 5.11. Strelica prikazuje foraminiferu (*Earlandiae?* Aljinović, usmena komunikacija) u kristalastoj dolomitnoj osnovi.

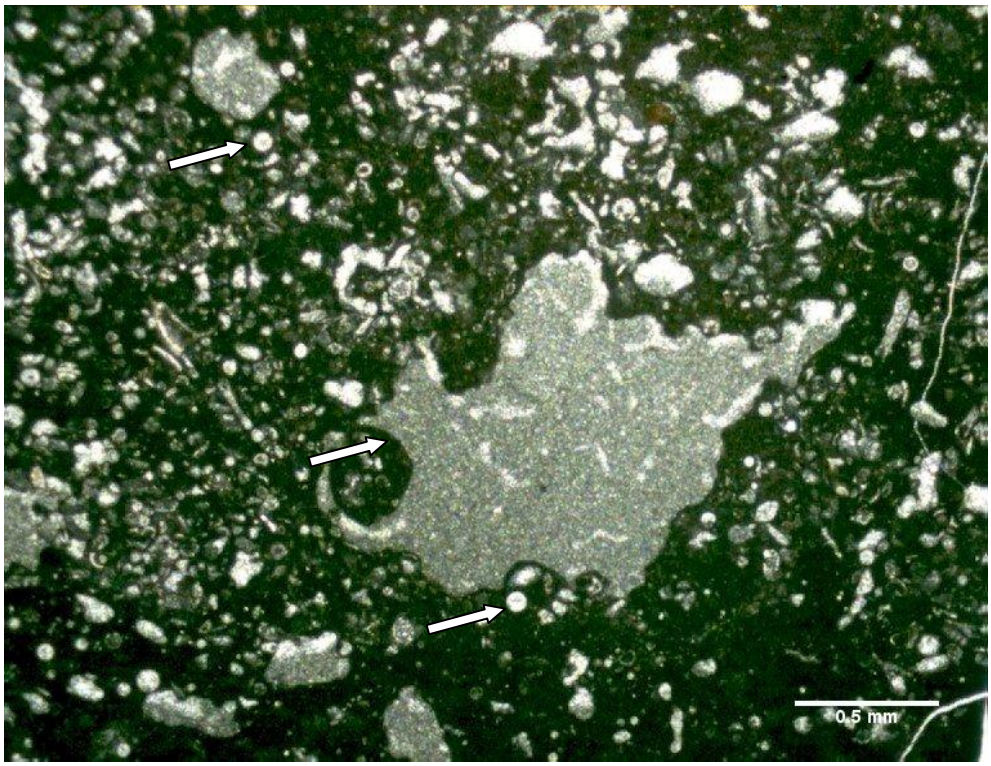
Profil: PT GRANICA; kratki profil PTB III (uzorci: PTB 14a i PTB 14b)

Uzorak: PTB 14a

Uzorak PTB 14a predstavlja dolomit u čijem sastavu dominiraju fosili. Vidljiv je bioklastični detritus zastupljen algalnim sporama (Slika 5.12.), algama, foraminiferama, i gastropodima. Vezivo je mikritno. Jasno se prepoznaju izdužene šupljine otapanja koje su sve duljom osi orjentirane u istom smjeru. Šupljine se prepoznaju po nakupljenom kristalnom siltu u donjem dijelu te sparitnoj ispuni u gornjem dijelu. Stijena je determinirana kao **dolobiomikrit/pekston**.

Mikritno vezivo kao i prisutnost algalnih spora ukazuju na taloženje u mirnim uvjetima, u potplimnoj zoni. To potvrđuje i nalaz drugih fosila – foraminifera i gastropoda. Šupljine otapanja ukazuju na izronjavanje taloga u plimnu ili natplimnu zonu.

Kao i u prethodno definiranim uzorcima te na profilu Brušane Sy obilje algalnih spora u mikritom bogatom sedimentu ukazuje na permsku starost ove sedimentne stijene. Pokazalo se da i šupljine otapanja ukazuju također na permsku starost odnosno da su se talozi permskog mora povremeno nalazili u uvjetima plimno - natplimne zone gdje su bili izloženi vadoznim dijagenetskim promjenama.



Slika 5.12. Uzorak PTB 14a. Na slici je prikazan bioklastični detritus zastupljen algalnim sporama (strelice), algama i foraminiferama u mikritnoj osnovi. Također su vidljive šupljine otapanja koje su ispunjene kristalnim siltom (sredina).

Uzorak: PTB 14b

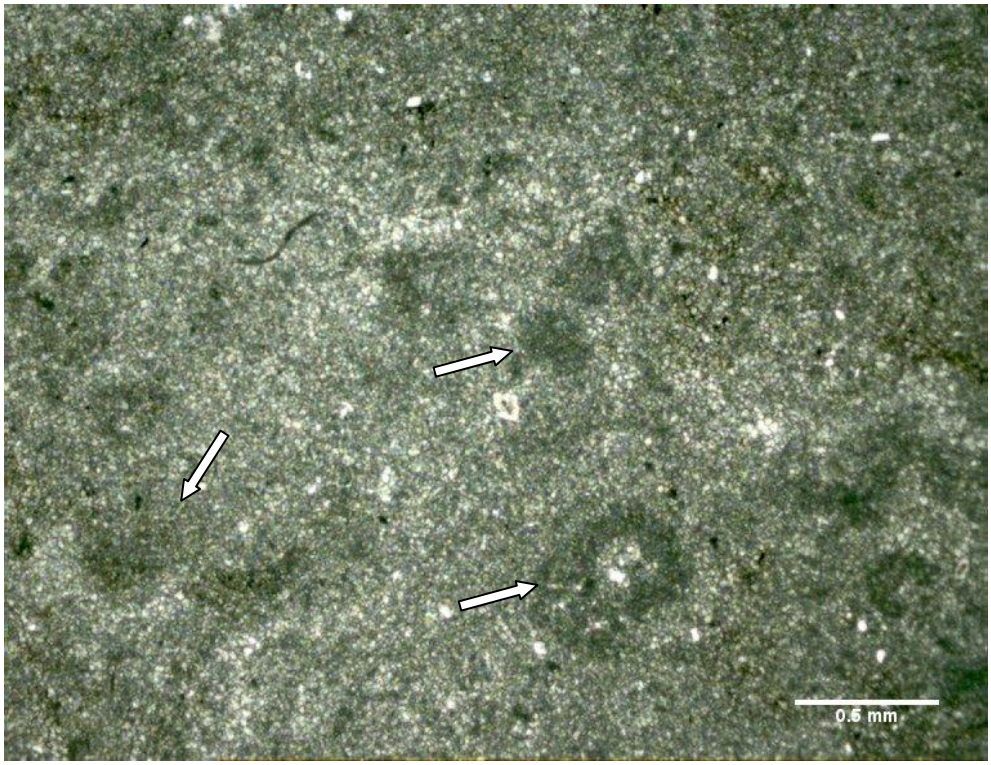
Uzorak PTB 14b odgovara kristalastom dolomitu. U njemu je rijetko uočljiva foraminifera *Earlandia?* (Aljinović, osobna komunikacija) (Slika 5.14., strelica). Primarni sastojci su nejasno sačuvani i odgovaraju nejasno vidljivim ooidima ili sferičnim intraklastima (Slika 5.13., strelica). Vidljivo je i vrlo malo sliciklastičnog detritusa (< 1%). Osim sferičnih intraklasta te pokoje foraminifere, stijena ne sadrži druge fosile.

Primarna struktura ove stijene je vrlo loše očuvana odnosno uništena je zbog dolomitizacije.

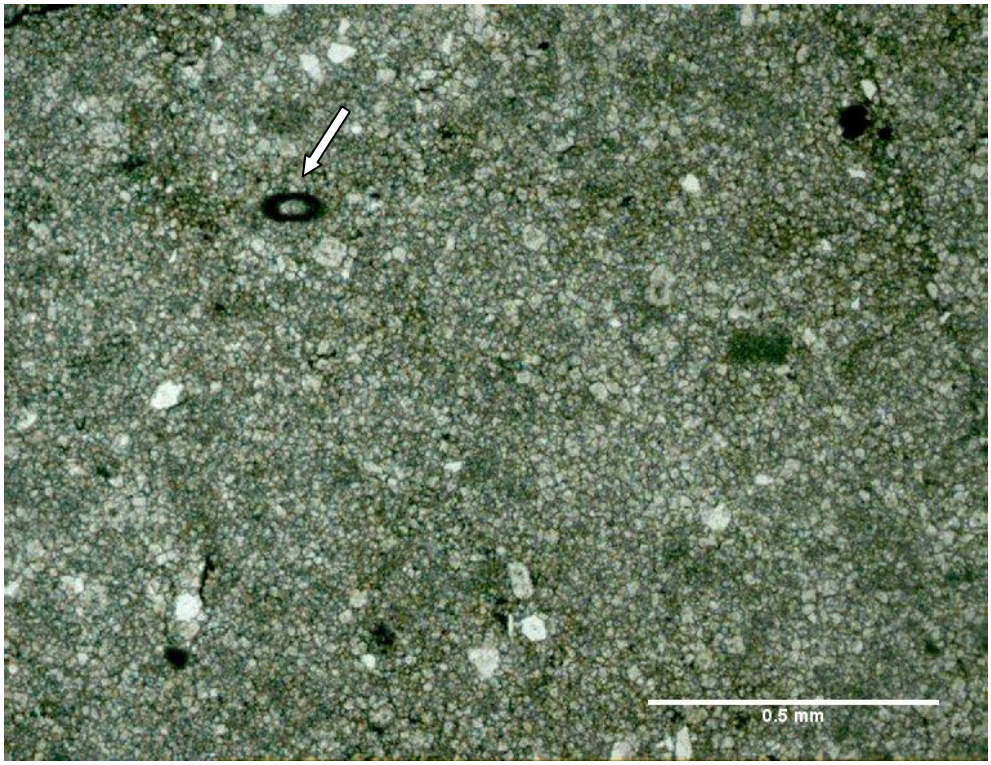
Zbog prisustva okruglih formi (ooida ili sferičnih intraklasta) kao i rijetko pokoje foraminifere *Earlandiae?*, može se zaključiti da je primarna stijena taložena u potplimnoj (subtajdalnoj) zoni.

U prethodnom je uzorku već utvrđeno da kristalasta dolomitna struktura određuje trijasku starost, kao i izostanak fosila te prisustvo ooida ili sferičnih intraklasta, pa se prema tome za ovaj dolomit može reći da sigurno pripada donjem trijasu.

Stijena je determinirana kao **mikrokristalasti dolomit**.



Slika 5.13. Struktura mikrokristalastog dolomita (uzorak PTB 14b). Primarni sastojci stijene su nejasno sačuvani i odgovaraju nejasno vidljivim ooidima ili sferičnim intraklastima (strelica). Moguće je uočiti i vrlo malo sliciklastičnog detritusa koji je uglavnom zastupljen kvarcom.



Slika 5.14. Mikrokristalasta struktura (uzorak PTB 14b) u kojoj su prisutne foraminifere (*Earlandia?*) (strelica).

Profil: PT GRANICA; kratki profil IV (uzorci: 17a, 17b i 17c)

Uzorak: 17a

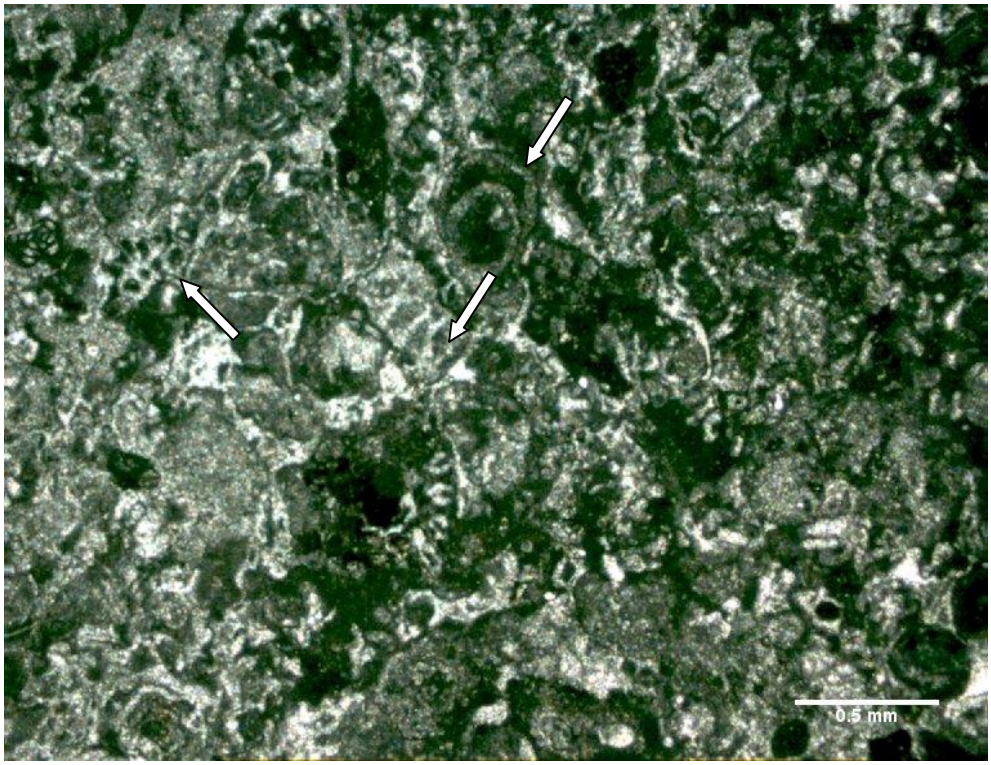
Uzorak 17a predstavlja dolomit u čijem sastavu dominiraju fosili. Jasno se prepoznaju permske foraminifere (Slika 5.16., strelica), spore zelenih algi kao i gastropodi (Slika 5.15. i 5.16.)

Vezivo odgovara uglavnom mikritu, no dolomitizacijom je primarni karakter veziva uništen (Slika 5.16.).

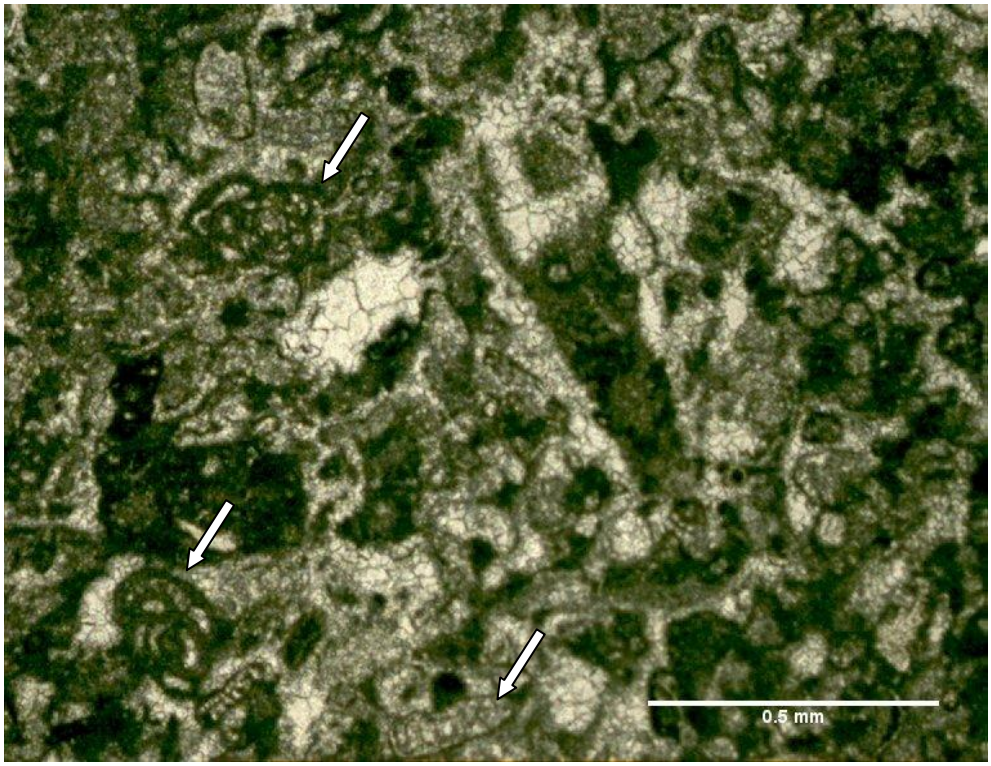
Prisustvo obilja fosila poput foraminifera i algi te mikritno vezivo upućuju na taloženje u mirnijim uvjetima, u potplimnoj (subtajdalnoj) zoni.

Mikritno vezivo koje sadrži mnoštvo fosila jasno ukazuje na permsku starost stijene.

Stijena je determinirana kao **dolobiomikrit / pekston**.



Slika 5.15. Dolobiomikrit / pekston (uzorak 17a). U mikritnom je vezivo prisutno obilje fosila (strelica) (permske foraminifere te zelene alge).



Slika 5.16. Dolobiomikrit / pekston (uzorak 17a). Vidljivo mnoštvo fosila, uglavnom permske foraminifere (strelica).

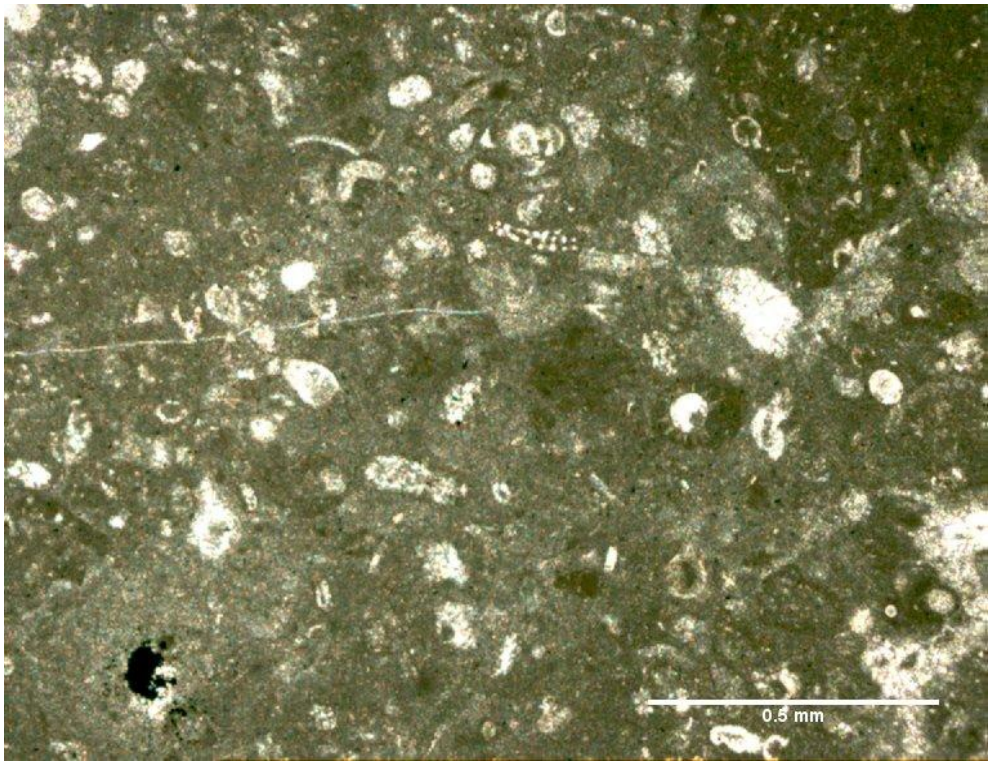
Uzorak: 17b

Uzorak 17b prikazuje dolomit permske starosti. Promatrajući mikropetrografski sastav, može se uočiti da u uzorku dominira mikritna osnova u kojoj se nalazi obilje fosila (razni oblici foraminifera kao i fragmenti algi ili njihove spore).

Prisustvom mikritnog veziva u ovoj stijeni te prisutstvom algi i njihovih spora (Slika 5.17., strelica) može se zaključiti da se radi o taloženju primarne stijene u potplimnoj (subtajdalnoj) zoni.

Ovaj je uzorak sličan uzorku U 13b, te ga se kao i spomenuti uzorak, na temelju obilnog prisustva spora algi, što je već prije određeno kao mikrofacijes koji sigurno odgovara permu, može determinirati kao subtajdalni permski dolomit.

Stijena je determinirana kao **dolobiomikrit / vekston**.



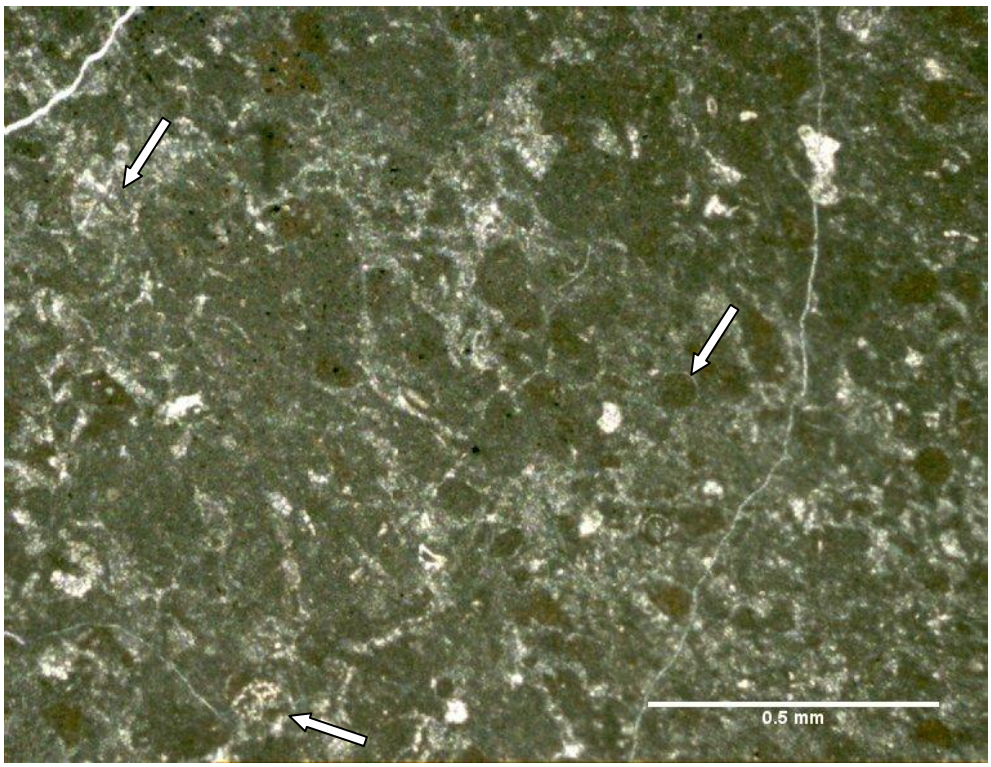
Slika 5.17. Slika prikazuje permski uzorak dolobiomikrit / vekston (17b) koji se sastoji od mikritne osnove u kojoj je prisutno obilje fosila, uglavnom različitih vrsta permski foraminifera, algi te njihovih spora.

Uzorak: 17c

Uzorak 17c predstavlja dolomit permske starosti. U odnosu na prethodni uzorak, vidljivo je da je prisutnost fosila manja, ali ih se još uvijek može uočiti. U mikropetrografskom sastavu ove stijene prevladava mikritna osnova u kojoj se nalaze uglavnom fragmentirane alge i njihove spore (Slika 5.18.) te pokoja foraminifera, što potvrđuje da uzorak pripada permu. Stijena je determinirana kao **dolobiomikrit / vekston**.

Prisustvo mikrita u ovoj stijeni te prisustvo algi i njihovih spora ukazuje na taloženje u potplimnoj (subtajdalnoj) zoni.

Na osnovi obilnog prisustva spora algi ovaj je uzorak determiniran kao subtajdalni permski dolomit.



Slika 5.18. Na slici je vidljiv uzorak permskog dolobiomikrita / vekstona u kojem prevladava mikrit (uzorak 17c) te rijetki fosili (strelica).

Profil: PT GRANICA; kratki profil V (uzorci: 19 i 20c)

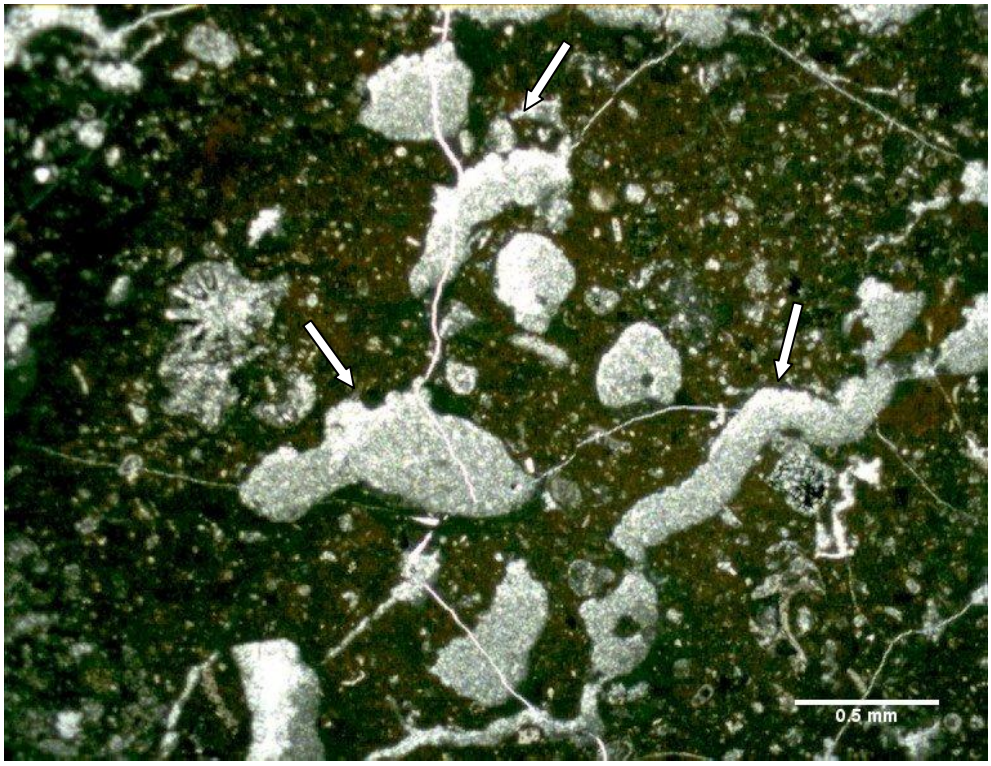
Uzorak: 19

Uzorak 19 pripada permskom dolomitu. Može se uočiti mnoštvo fosila (razni oblici foraminifera, gastropoda, algi te ježinaca) (Slika 5.19. i 5.20.) koji se nalaze u mikritnoj osnovi koja dominira u uzorku.

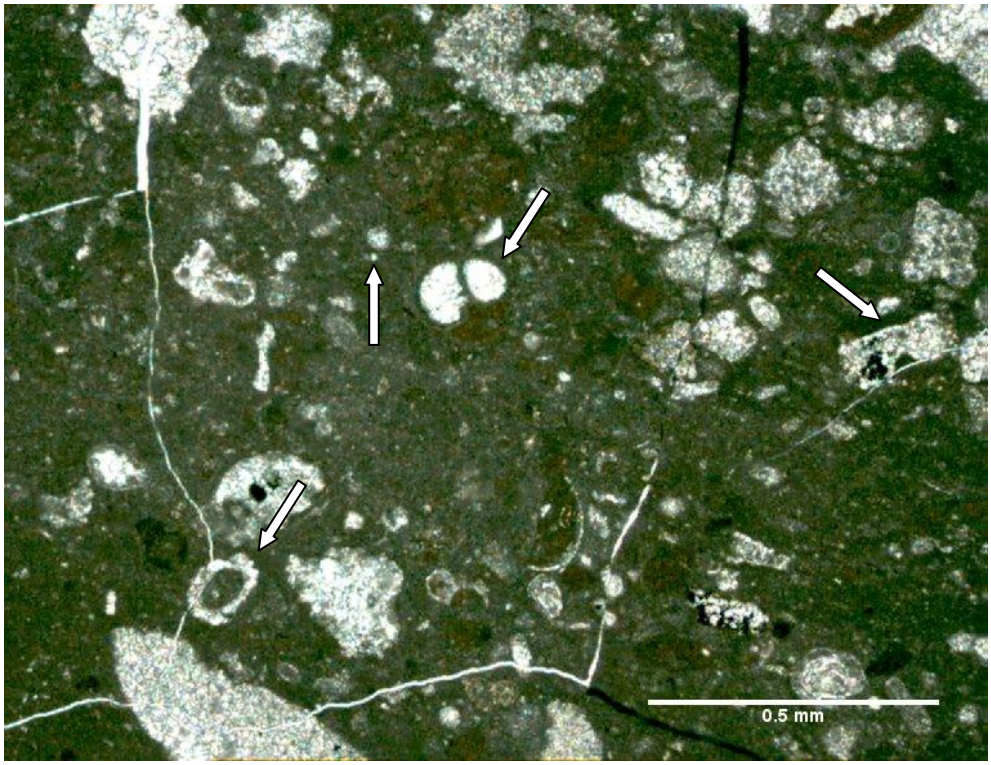
Također se jasno prepoznaju izdužene šupljine otapanja (strelica) koje su sve duljom osi orjentirane u istom smjeru.

Prisustvo mikrita u ovoj stijeni te prisustvo brojnih očuvanih fosila ukazuje na taloženje u potplimnoj (subtajdalnoj) zoni uz vjerojatno povremena izranjanja taloga u plimnu ili natplimnu zonu, na koja ukazuju šupljine otapanja.

Ovaj uzorak je determiniran kao subtajdalni permski dolomit, a stijena je **dolobiomikrit / vekston**.



Slika 5.19. Na slici je vidljiv uzorak permskog dolobiomikrita vekstona (uzorak 19) u kojem prevladava mikritna osnova u kojoj su prisutni fosili kao i šupljine otapanja koje su sve dužom osi orjentirane u istom smjeru (strelice).



Slika 5.20. Uzorak 19. U mikritnoj osnovi mogu se uočiti foraminifere kao i spore algi (strelice).

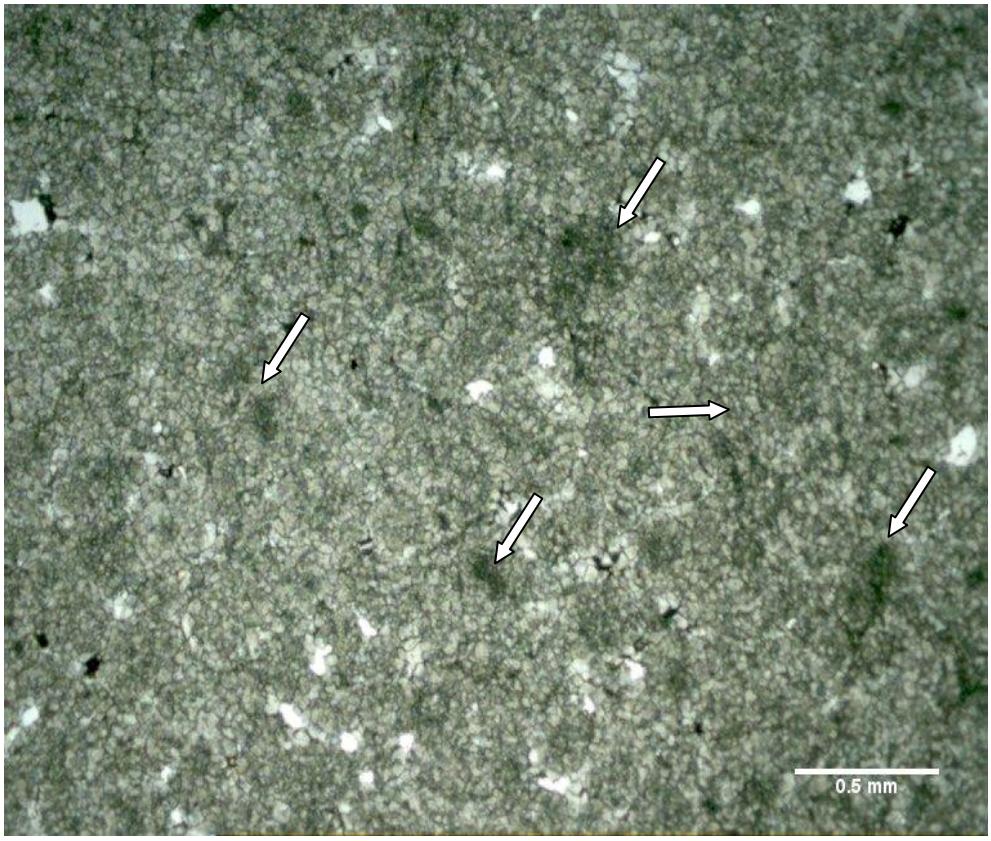
Uzorak: 20c

Uzorak 20c pripada dolomitu. U uzorku nema fosila ali je zanimljiva pojava okruglih formi tzv. duhova ooida (Slika 5.21.) koji se jasno mogu prepoznati u cijelom uzorku. Također, mogu se uočiti okrugle forme u obliku sferičnih intraklasta (slika 5.21., strelica).

Vezivo je mikritno, a zrna su dobro do vrlo dobro sortirana.

Na temelju prisutstva okruglih formi (duhova ooida i sferičnih intraklasta) kao i odsustva fosila moguće je zaključiti da ovaj uzorak sigurno pripada donjem trijasu.

Mikropetrografski, struktura ovog dolomita je mikrokristalasta te je stijena determinirana kao **mikrokristalasti dolomit**.



Slika 5.21. Slika prikazuje mikrokristalastu strukturu dolomita (uzorak 20c) u kojoj su vidljivi duhovi dobro sortiranih ooida. (strelice).

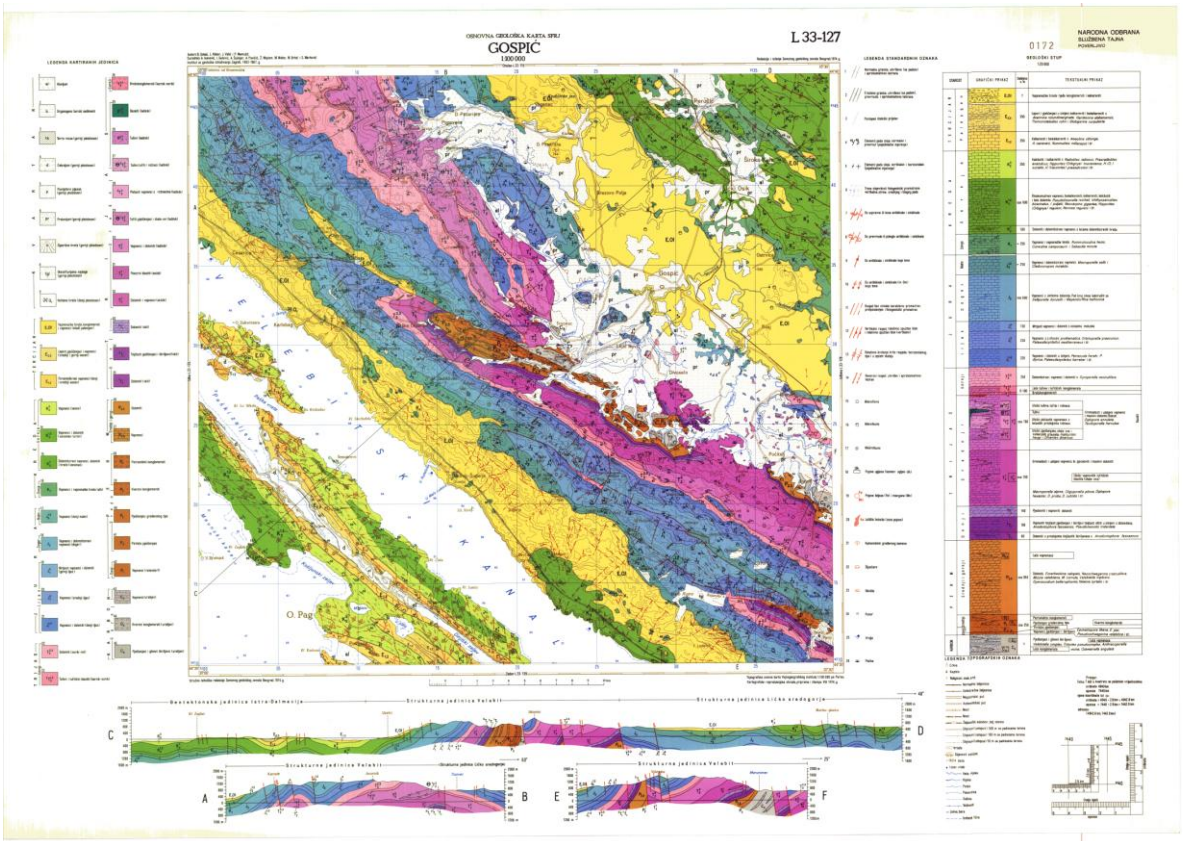
5. 2. GEOLOŠKA KARTA

Slojeve gornjega perma i donjega trijasa te njihove osnovne petrografske karakteristike kao i pružanje granice uočili su Sokač et al., (1974, 1976) te prikazali na Osnovnoj geološkoj karti 1: 100 000, list Gospić. – Slika 5.22.

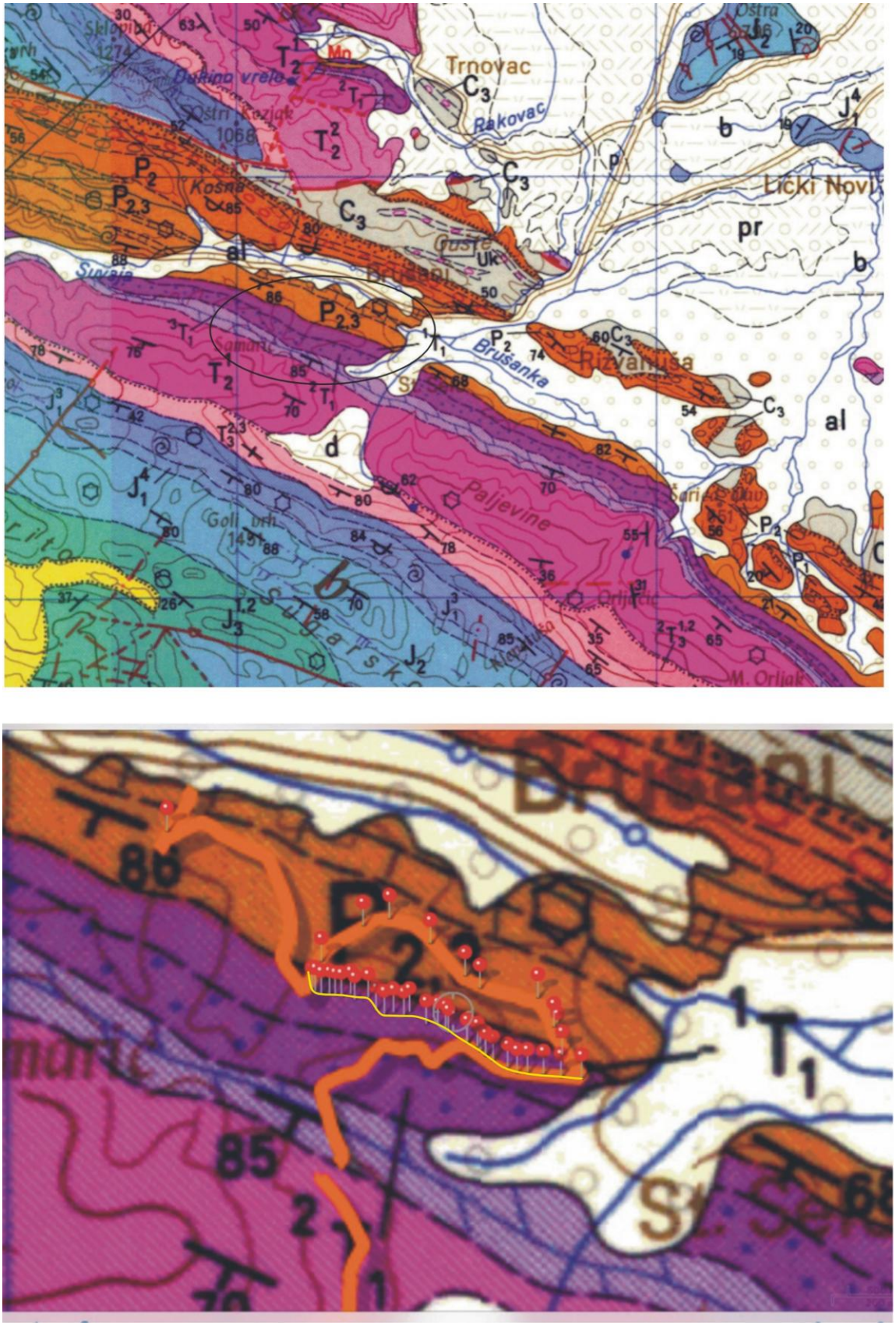
U dijelu gdje su provedena istraživanja prikazana na karti, isti su autori naglasili kontinuirano taloženje i naznačili konkordantnu granicu između perma i trijasa.

U ovom je radu praćeno pružanje PT granice kroz prekriveni teren s rijetkim izdancima stijena.

Korišten je tablet uređaj (iPad) na kojem su se na georeferenciranu kartu unosile koordinate točaka gdje su prikupljani uzorci na spomenutim izdancima. Karta je georeferencirana u programu ArcGis na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu. Uz pomoć spomenutih dobivenih koordinata dobivena je trasa granice (slika 5.1.) koja odgovara novoj pretpostavljenoj PT granici koja je pomaknuta malo južnije u odnosu na granicu na karti OGK 1:100 000, list Gospić.



Slika 5.22. OGK list Gospić 1: 100 000 (Sokač et. al, 1974)



Slika 5.23. Na prvoj slici elipsom je prikazano istraživano područje južno od Brušana. Druga slika prikazuje GPS koordinate točaka postavljenih na georeferenciranu kartu na tabletu (nova PT granica označena žutom crtom koja je pomaknuta južnije nu odnosu na ranije uspostavljenu PT granicu).

6. ZAKLJUČAK

Istraživanjima u ovom radu utvrđene su mikropetrografske karakteristike uzoraka gornjeg perma i donjeg trijasa što je omogućilo da se pretpostavi permo-trijaska (PT) granica u okolici Brušana (Velebit). S ciljem definiranja permskih i trijaskih naslaga te same granice, proučen je profil Brušane Sy. Također je praćeno pružanje te iste granice kroz prekriveni teren s rijetkim izdancima stijena.

Slojeve gornjega perma i donjega trijasa te njihove osnovne petrografske karakteristike kao i pružanje granice uočili su Sokač et al., (1974, 1976) te prikazali na Osnovnoj geološkoj karti 1: 100 000, list Gospić. U dijelu gdje su provedena istraživanja prikazana na karti, isti su autori naglasili kontinuirano taloženje i naznačili konkordantnu granicu između perma i trijasa.

U ovom je radu utvrđeno, na temelju položaja slojeva i nedostatka erozije, da se PT granica također može smatrati kontinuiranom.

Karakteristike sedimentnih stijena proučene na profilu Brušane Sy mogu se uspoređivati, zbog pojave određenih sličnosti, i s profilom Rizvanuša (Fio et al., 2010) kao i s drugim relevantnim profilima PT intervala u svijetu.

PT granicu je bilo moguće prepoznati po slijedećim mikropetrografskim karakteristikama sedimentnih stijena:

a) brojnosti permskih fosila – algi, spora algi i foraminifera u uzorcima dolomita ispod granice što izravno ukazuje na permsku starost. Većina uzoraka je bogata mikritom, a taloženje se događalo u mirnom okolišu potplimne zone (u laguni).

b) po prisutnosti šupljina otapanja koje ukazuju da su permski talozi povremeno izronjavali u plimno/natplimnu zonu

c) po tipu dolomitizacije koja je mikrokristalasta mimikrijska i vjerojatno odgovara rano dijagenetskoj dolomitizaciji.

Suprotno od navedenog, vršnim je slojevima profila ~4 m (iznad pretpostavljene granice) prema mikropetrografskim karakteristikama određena donjotrijaska starost. Pripadnost donjem trijasu određena je po:

a) odsutnosti fosila u slojevima iznad pretpostavljene PT granice (slojevi 37 i 38, odnosno uzorci Sy 37 i Sy 38).

b) pojavi ooida u slojevima/uzorcima (slojevi 37 i 38, uzorci Sy 37 i Sy 38)

c) po tipu dolomitizacije koja je u slojevima 37 i 38 drugačija nego u permskim dolomitima.

Radi se o makrokristalastoj dolomitnoj strukturi stijena gdje su primarni sastojci loše očuvani, osim duhova ooida ili sferičnih intraklasta.

Sigurna pripadnost ovog dijela slijeda trijaskim slojevima dokazana je i prisutnošću fosila *Hindeodus parvus* u sloju 38 (uzorak Sy 38).

Na osnovi razlike u mikropetrografskim osobinama pretpostavljena je PT granica između slojeva 36 i 37.

Analiza izotopa $\delta^{13}C_{carb}$ u sedimentnim stijenama profila Brušane Sy ne pokazuje na pretpostavljenoj PT granici pomak prema negativnim vrijednostima kako je poznato iz profila graničnog PT intervala u svijetu (pregled u Korte i Kozur, 2005). Negativne vrijednosti uočili su na PT granici i Fio et al. (2010) nedaleko Brušana na profilu Rizvanuša. Nedostatak negativnog otklona ugljikovih izotopa u sedimentnim stijenama profila Brušane Sy moguće je povezati s izraženom vadoznom dijagenezom odnosno povremenim izronjavanjem sedimentnog taloga u plimno/natplimnu zonu uslijed čega se izotopni sastav mora toga vremena izmijenio (Korte i Kozur, 2005).

Pojava ooida u prvim slojevima donjega trijasa, iako loše očuvanih, izravno ukazuju na trijas i mogli bi se usporediti s ooidnim grejnstonima u profilu Tesero (Južne Alpe, Italija).

Često prisutni facijes mikrobijalita neposredno iznad PT granice također izostaje na profilu Brušane Sy.

Elementi na osnovi kojih je pretpostavljena PT granica u profilu, prepoznati su i prilikom praćenja/kartiranja te iste granice. Time je potvrđen kontinuitet taloženja duž čitavog pružanja granice. Provjera je obavljena prema mikropetrografskim karakteristikama na 5 kratkih profila poprečno na pružanje granice. Utvrđeno je da je njen sadašnji položaj, precizno mjeren GPS uređajem, nešto drugačiji u odnosu na podatke iz OGK list Gospić (Sokač et al., 1974, 1976).

7. LITERATURA

Aljinović, D., Kolar-Jurkovšek, T., Jurkovšek, B. (2006): The Lower Triassic Shallow Marine Succession in Gorski Kotar Region (External Dinarides, Croatia): Lithofacies and Conodont Dating. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 112, 35-53.

Bahun, S. (1993): Geološko kartiranje. Školska knjiga, 92-93.

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. Chemical Geology 278 (2010) 38–57.

Wardlaw, B.R., Davydov, V., Gradstein, F.M., (2004): The Permian Period. U: Gradstein, F.M., Ogg, J., Smith, A., (ur.): A Geological Time Scale. The press syndicate of the University of Cambridge, 249-270.

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., Crasquin, S., Li, Y., Collin, P.Y., Forel, M.B., Mu, X., Baud, A., Wang, Y., Xie, S., Maurer, F., Guo, L. (2012): Microbialites and global environmental change across the Permian-Triassic boundary: a synthesis. Blackwell Publishing Ltd. Geobiology (2012), 10, 25-47.

Kochansky-Devidé, V., (1965): Die fusuliniden Foraminiferen aus dem Karbon und Perm in Velebit und in der Lika (Kroatien) Mittleres und Oberes Perm. Acta Geol. 5 (Bull. Sci. Yugosl., 35), 101–148, (in Croatian with German abstract).

Kochansky-Devidé, V., Ramovš, A., (1979): Paleozoic in Slovenia and Croatia. 16th European micropaleontological colloquium, 13-16, Ljubljana.

Kochansky-Devidé, V., (1982): Gornji paleozoik Velebita. In: Sremac, J. (Ed.), IGCP Project No. 5, Yugoslav working group field meeting, Field guide to Velebit Mt., pp. 8–16 (in Croatian with English summary).

Kolar-Jurkovšek, T., Jurkovšek, B., Aljinović, D. (2011): Conodont biostratigraphy and lithostratigraphy across the Permian-Triassic boundary at the Lukač section in Western Slovenia. *Rivista italiana di paleontologia e stratigrafia*, 117, 115-133.

Korte, C., Kozur, H.W., Joachimski, M.M., Strauss, H., Veizer, J. and Schwark, L. (2004): Carbon, sulfur, oxygen and strontium isotope records, organic geochemistry and biostratigrapfy across the Permian/Triassic boundary in Abadeh, Iran. Intern. J. Earth. Sci., 93: 565-581 (Geol. Rundsch.).

Kozur, H. (1994): The Pemian/Triassic boundary and possible causes of the faunal change near the P/T boundary. *Permophiles,* 24: 51-54.

Kozur H. et al. (1996): The Conodonts Hindeodus, Isarcicella and Sweetehindeodus in the uppermost Permian and lowermost Triassic. Geol. Croat. 49(1):81-115

Nestell, G., Kolar-Jurkovšek, T., Jurkovšek, B., Aljinović, D. (2011): Foraminifera from the Permian-Triassic transition in western Slovenia. *Micropaleontology*, 57, 197-222.

Perri, M.C. (1991): Conodont biostratigraphy of the Werfen Formation (Lower Triassic), Southern Alps, Italy. Boll. Soc. Paleont. It., 30, 23-46.

Salopek, M. (1948): O gornjem paleozoiku sjeveroistočnog podnožja Velebita i Like. Prirodoslovno istraživanje. JAZU, 24, 1-75, Zagreb.

Sepkopski, J.J.JR., (1990). The taxonomic structure of periodic extinction. U: Sharpton, V.L. & Ward P.D., (eds.), Global catastrophes in Earth History, Geological Society of America Special paper V.247, p.33-44.

Sibley, D.F., Gregg, J.M. (1987): Classification of dolomite rock texture. Journal of Sedimentary petorlogy, 57, 967-975.

Sokač, B., Nikler, L., Velić, J., Mamužić, P. (1974): Osnovna geološka karta SFRJ, 1: 100 000, za list Gospić. Savezni geološki zavod Beograd.

Sokač, B., Nikler, L., Velić, I., Mamužić, P. (1976): Tumač Osnovne geološke karte SFRJ, 1: 100 000, za list Gospić. Savezni geološki zavod Beograd, 53 str.

Twichett, R.J., (2006): The palaeoclimatology, paleoecology and paleoenviromental analiysis of mass extinction events. Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 232, str. 190 – 213.

Zheng, Q.F., Cao, C.Q. and Zhang, M.Y. (2012): Sedimentary features of the Permian-Triassic boundary sequence of the Meishan section in Changxing, County, Zhejiang Province. State Key Labortory of Palontology and Stratigraphy, Nanjing Institute of Geology and Paleontology, Chinese Academy of Scinces, Nanjing 210008, China.