Pirit u naslagama dolomita uz granicu Perm-Trijas

Filipović, Ljubica

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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:169:859440

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

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

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij Geologije

Diplomski rad

PIRIT U NASLAGAMA DOLOMITA UZ GRANICU PERM-TRIJAS

Ljubica Filipović
G 149

Zagreb, prosinac 2015.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

PIRIT U NASLAGAMA DOLOMITA UZ GRANICU PERM-TRIJAS

FILIPOVIĆ LJUBICA

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U radu su opisane karakteristike dolomita u dolomitnom litofacijesu profila Plavno nedaleko Knina. Dolomitni litofacijes predstavlja najstariju jedinicu donjega trijasa (grizbahij) što je dokazano prisutnošću konodontnih vrsta *Hindeodus-Isarcicella*. Karakteristike slijeda Plavno interpretirane su uvjetima taloženja prostrane epikontinentalne rampe. Dolomitni litofacijes odgovara najplićem, proksimalnom dijelu rampe. Prisutnost organizama u ovom litofacijesu (ostrakodi, foraminifere, školjke te ooida) ukazuje da je okoliš imao dovoljno kisika. U oksičnom okolišu teško je objasniti prisustvo pirita, naročito sitnog framboidnog pirita (< 20 µm). Uočene su tri vrste pirita: a) pirit kao ispuna ljušturica ostrakoda, b) krupni framboid >20 µm i c) sitni framboid < 20 µm. Pirit prisutan kao ispuna ljušturica ostrakoda svjedoči o lokalno prisutnim reduktivnim uvjetima nastalim truljenjem organske tvari u unutrašnjosti ljušturice. U takvim se uvjetima može pretpostaviti redukcija željeza, nastajanje sumporovodika i konačno postanak pirita. Krupni framboidni pirit >20µm vezan je za ranodijagenetske procese u sedimentu uz samu granicu sediment-voda. Postanak pirita interpretira se lokalno prisutnim anaerobnim uvjetima nastalim uslijed razgradnje organske tvari pri čemu može biti potrošen sav kisik. Plitko ispod neposrednog kontakta sediment-voda (nekoliko centimetara) nema više dostupnog kisika što prisiljava bakterije da počnu trošiti kisik iz sulfatnog iona i nastaje sumporovodik (H_2S). Tako su u sedimentu svega nekoliko centimetara ispod površine mogući anoksični uvjeti u kojima može nastati framboidni pirit dimenzija nekoliko desetaka mikrometara. Prisustvo sitnih framboida pirita < 20µm je najinteresantnija pojava u istraženim uzorcima. Framboidni pirit ovih dimenzija veže se za proces nukleacije u stupcu vode pri anoksičnim uvjetima u samoj vodi. Pri interpretaciji je primijenjen model kako ga predlaže KERSHAW (2015). Moguće je da su u uvjetima taloženja u distalnom dijelu epikontinentalne rampe ispod osnovice valova lijepa vremena, povremeno egzistirali anoksični uvjeti u kojima je bila moguća nukleacija pirita u stupcu vode. Uz pretpostavljeno djelovanje oluja u tom prostoru, sitni framboidi pirita su također mogli biti zahvaćeni i transportirani u najplići, proksimalni dio epikontinentalne rampe, te su očuvani u dolomitnom litofacijesu.

Ključne riječi: pirit, framboidi, granica Perm-Trijas, epeirička rampa u donjem trijasu, Dinaridi, Hrvatska
Diplomski rad sadrži: 39 stranica, 20 slika i 29 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

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

Voditelj: Izv. prof. dr.sc. Dunja Aljinović, RGNF

Ocjenjivači: Izv. prof. dr.sc. Dunja Aljinović, RGNF
Doc. dr.sc. Uroš Barudžija, RGNF
Doc. dr.sc. Marija Horvat, RGNF-HGI

Datum obrane: 11. prosinca 2015.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master Thesis

PYRITE IN DOLOSTONE DEPOSITS NEAR PERM-TRIASSIC BOUNDARY

FILIPOVIĆ LJUBICA

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

Abstract

Significant petrographic characteristics of dolomites from Dolostone lithofacies at the Plavno succession (locality near Knin) have been investigated. Dolostone lithofacies represents the oldest Early Triassic sedimentary rocks, deposited immediately after Permian-Triassic mass extinction. According to the presence of conodont species *Hindeodus-Isarcicella* this interval has been determined as Griesbachian. Sedimentary characteristics of Plavno sections were interpreted as deposited on a broad epeiric ramp. Dolostone lithofacies represents deposits of the most proximal and the shallowest part of the ramp. Fossil remains found in this lithofacies point to the oxygenated environment. Therefore it is difficult to interpret presence of pyrite in this lithofacies. It is especially true for the small pyrite framboids (< 20 μm). Pyrite occurs in the dolomite in following forms: a)pyrite within ostracod shells , b) large framboids >20 μm and c) small framboids (< 20μm). Pyrite that occurred within ostracod shells points to locally present anoxic conditions produced by decay of organic matter after dying of organisms. Therefore, the origin of pyrite is local and diagenetic. Large framboids (>20 μm) occur within the sediment, near the sediment-water interface. Genesis of large framboids can be related to locally present anoxic conditions that occur at the sediment-water interface due to decay of organic matter when all oxygen is used in decay processes. Shallow in the sediment there is no oxygen present and therefore bacteria start to reduce sulfates. In this reaction H_2S is produced. A few centimeters below the surface of the sediment, in the anoxic conditions a large framboids usually occur.The most intriguing is the presence of small pyrite framboids (< 20 μm). This small sized framboids nucleate in the anoxic conditions in the water column. Genesis of small framboids is interpreted according to the model proposed by KERSHAW (2015). There is a possibility that in the distal part of epeiric ramp, bellow fair-weather wave base, anoxic conditions were occasionally present in the water column. As the storms strongly influenced sedimentation in the Early Triassic Plavno section, it is possible to assume that small framboid pyrite particles from distal ramp were caught by storm currents and transported to the shallowest part of the environment and are preserved in the Dolostone lithofacies.

Keywords: pyrite, framboids, Permian-Triassic boundary, Early Triassic epeiric ramp, Dinarides, Croatia
Thesis contains: 39 pages, 20 figures and 29 references
Original in: Croatian

Thesis deposited: in Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineeeing,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Dunja Aljinović, Associate Professor
Reviewers: PhD Dunja Aljinović, Associate Professor
PhD Uroš Barudžija, Assistant Professor
PhD Marija Horvat, Assistant Professor

Date of defense: December 11th, 2015

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. GENEZA PIRITA U SEDIMENTNIM STIJENAMA 3

2.1. FRAMBOIDNI PIRIT…….....5

2.2. ZNAČENJE POJAVE FRAMBOIDNOG PIRITA UZ GRANICU PERM-TRIJAS 7

3. SEDIMENTOLOŠKE KARAKTERISTIKE PROFILA PLAVNO 9

4. METODE ISTRAŽIVANJA.....15

5. REZULTATI 16

6. RASPRAVA I ZAKLJUČAK.....31

6.1. MODEL SEDIMENTACIJE…… 31

6.2. PRISUSTVO PIRITA U DOLOMITU……....…….. 33

7. POPIS LITERATURE 36

POPIS SLIKA

Slika 1-1. Položajna karta istraživanih naslaga profila Plavno. 2
Slika 2-1. Proces nastanka pirita u sedimentu....3
Slika 2-2. Model nastanka i transporta framboidalnih pirita 6
Slika 3-1. Dominantno siliciklastične naslage profila Plavno 9
Slika 3-2. Slijed naslaga Plavno s označenim litofacijesima odnosno neformalnim litostratigrafskim jedinicama....14
Slika 5-1. Geološki stup dolomitnog litofacijesa profila Plavno. 17
Slika 5-2. Pjeskoviti dolomit horizontalne laminacije. 18
Slika 5-3. Oblici dolomitnih kristala. Ljušture ostrakoda....19
Slika 5-4. Mikrostruktura uzorka. 20
Slika 5-5. „Duhovi“ ooida markirani željezovitim pigmentom. 21
Slika 5-6. Makrokristalasta građa uzorka 23
Slika 5-7. Rijetki krupni kristal pirita u pjeskovitom dolomitu 23
Slika 5-8. Framboidni piriti u dedolomitiziranoj stijeni makrokristalaste strukture. 24
Slika 5-9. Nepravilni krupni piritni kristali....25
Slika 5-10. Krupni framboidni piriti u dedolomitu 26
Slika 5-11. Obilje framboidnog pirita u uzorku....27
Slika 5-12. Framboidni pirit u uzorku 28
Slika 5-13. Pirit u unutrašnjosti ostrakoda....29
Slika 5-14. Pirit prisutan u unutrašnjosti ostrakoda 30
Slika 6-1. Taložni model naslaga donjeg trijasa - epikontinentalna rampa 33

1. UVOD

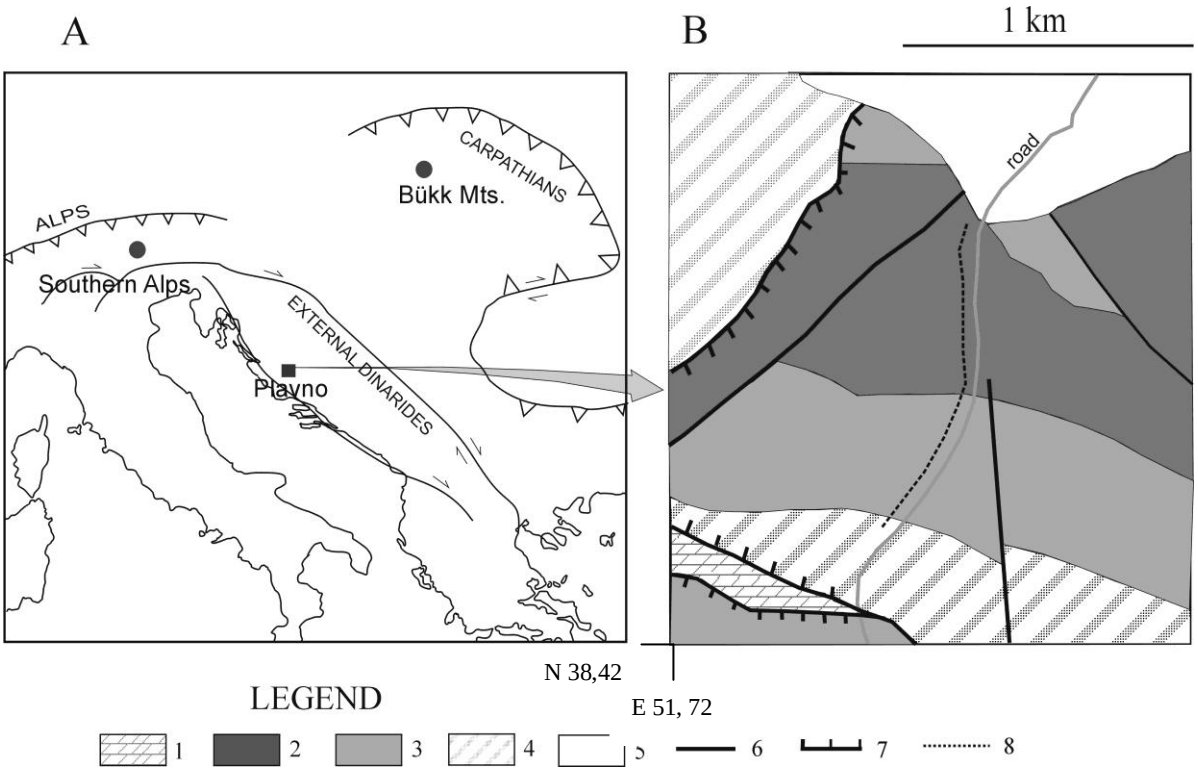
U zasjeku ceste prema mjestu Plavno, koje se nalazi 20-ak kilometara sjeverno od Knina, nalazi se profil naslaga donjega trijasa duljine 950 metara. Profil predstavlja kontinuirani razvoj donjeg trijasa od grizbahija do spatija (slika 1-1.).

Najstarije naslage profila (oko 40 m debljine) pripadaju dolomitnom litofacijesu (neformalnoj jedinici „dolomita“) starosti rani grisbahij, što je potvrđeno biostratigrafski nalazom konodontnih vrsta *Hindeodus parvus, Isarcicella isarcica, I. staeschei.* U podini donjotrijaskih dolomita nalaze se permske naslage – dolomiti s ostacima gipsa i anhidrita.

U donjotrijaskim dolomitima neposredno iznad permo-trijaske granice uočene su pojave pirita kao krupne (>20 µm) ili bitno sitnije (<20 µm) okruglaste forme tzv. **framboidi**. Kao i naslage najmlađega perma, te na njima u kontinuitetu taložene naslage najstarijega trijasa, dolomiti predstavljaju taloge vrlo plitkog mora te oksidativni facijes. Pojava pirita u njima je neočekivana. Kako se za jedan od mogućih uzroka izumiranja na granici perm-trijas (P-T) spominje anoksija oceana, onda bi prisustvo pirita u litofacijesu neposredno uz P-T granicu moglo ukazivati na anoksični događaj. Naročito bi na anoksiju mogle ukazivati vrlo sitne framboidne čestice pirita (<20 µm) jer je poznato da se nukleacija tako sitnih framboida događa u anoksičnom stupcu vode za razliku od krupnijih framboidnih formi koji nastaju procesima dijageneze u sedimentu. Kontradiktorno je to da je sitni framboidni pirit (potencijalni pokazatelj anoksije) prisutan u stijenama koje odražavaju oksičnu taložnu sredinu. Zbog toga su u ovom radu analizirane različite pojave pirita u mikropetrografskim uzorcima najstarijeg litofacijesa donjotrijaskog slijeda (neformalna jedinica „dolomita“) te je načinjena interpretacija njegova porijekla. Analizirano je ukupno 20 mikropetrografskih uzoraka dolomita od kojih je osam odabrano za detaljniju mikropetrografsku analizu i prikaz. U opisanim uzorcima mogu se uočiti različiti strukturni tipovi dolomita kao i različiti morfološki oblici pirita. Na osnovu istraživanja načinjena je interpretacija okoliša kao i model sedimentacije u najstarijem trijasu.

Analize su načinjene na Zavodu za mineralogiju-petrologiju i mineralne sirovine Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta.

Na slici 1-1. je prikazan isječak Osnovne geološke građe istraživanog područja, prema Osnovnoj geološkoj karti SFRJ, list Knin, mjerila 1:100 000 autora GRIMANI i dr. (1972). Uz kartu je korišten i Tumač za list Knin (GRIMANI i dr., 1975).



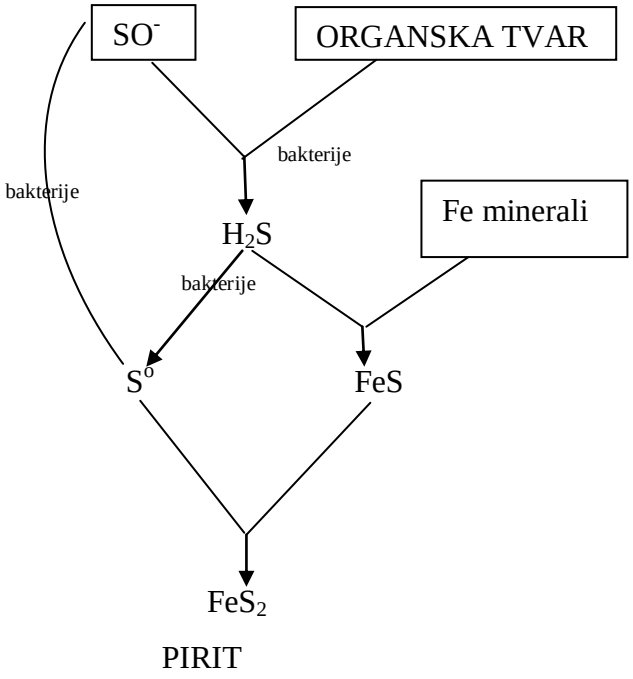
Slika 1-1. Položajna karta istraživanih naslaga profila Plavno.

Legenda istraživanog područja 1 - Permski evaporiti; 2 - Siliciklastični facijes (sajske naslage); 3 - Muljni facijes (kampilske naslage); 4 - Srednjotrijaski karbonati; 5 - Kvartarne naslage; 6 - Normalni rasjed; 7 - Reversni rasjed; 8 - Trasa profila (ALJINOVIĆ et al., 2011).

2. GENEZA PIRITA U SEDIMENTNIM STIJENAMA

Pirit - željezni sulfid (FeS_2), u sedimentnim je stijenama česti akcesorni mineral. Sastojak je mnogih željezom bogatih, ali i nekih drugih sedimenata no rijetko čini glavni dio sedimenta. On i njegove metastabilne preteče nastaju u estuarijima i na plimnim ravnicama bogatim organskom tvari, a danas se izlučuju i u uvjetima anoksičnog dubljeg dijela Crnoga mora (TUCKER, 2008).

Pirit u sedimentima nastaje tijekom procesa zalijeganja kao dijagenetski mineral i to u uvjetima plitkog zalijeganja. Tada se događa reakcija detritičnih željeznih minerala sa sumporovodikom (H_2S). Prema BERNERU (1983), sumporovodik nastaje kao produkt redukcije otopljenih sulfata životnom aktivnošću bakterija. Produkt reakcije organske tvari i sulfata nije međutim pirit, već niz metastabilnih željeznih sulfida koji se tijekom ranodijagenetskih procesa transformiraju u pirit (slika 2-1.). Važno je naglasiti da su glavni faktori koji kontroliraju koliko će pirita nastati količina organske tvari, reaktivni željezni minerali u samom sedimentu i raspoloživi otopljeni sulfatni ioni.



Slika 2-1. Proces nastanka pirita u sedimentu prema BERNER (1983).

Redukcija sulfatnoga iona događa se jedino u nedostatku raspoloživog kisika ili u tzv. anoksičnim uvjetima. Na granici sediment-voda sav kisik može biti potrošen prilikom razgradnje organske tvari bakterijama kojom se organska tvar pretvara u CO_2. Ta reakcija ne prodire duboko u sediment, već je ograničena plitko ispod granice sediment-voda. Kako se u primarnoj bakterijskoj reakciji oksidacije organske tvari potroši sav kisik, plitko ispod neposrednog kontakta sediment-voda (nekoliko centimetara) nema više dostupnog kisika što prisiljava bakterije na trošenje kisika iz sulfata pri čemu nastaje sumporovodik (H_2S). Iz toga se može zaključiti da su u sedimentu svega nekoliko centimetara ispod površine mogući anoksični uvjeti u kojima može nastati pirit (BERNER, 1983).

Anoksični uvjeti mogu biti prisutni i u stupcu vode. Danas se takvi okoliši vežu najčešće za duboke dijelove Crnoga mora (KERSHAW et al., 2015) ili za Framvaren Fjord (BERNER, 1983). Tada pirit može nastati i u stupcu vode koja je anoksična. Prema BERNER (1983), radi se o amorfnom FeS koji se još zove mackinawit i greigit. Forme FeS koje nastaju u stupcu vode mogu se opisati gotovo isključivo kao **FRAMBOIDI**. Bez obzira koji je ishodišni FeS mineral prisutan, dijagenezom će se transformirati u pirit. Framboidni pirit koji nastaje taloženjem iz stupca vode u anoksičnim uvjetima je manjih dimenzija nego pirit koji nastaje u sedimentu. Prema SUDAR et al., (2014, i u radu pridruženim referencama) framboidni pirit iz vodenog stupca je dimenzija < 6 μm te je izravni pokazatelj reduktivnih uvjeta u okolišu i sedimentu. Framboidi većih dimenzija kao i veći raspon dimenzija framboida ukazuje na postanak u sedimentu i na lokalno prisutne anoksične uvjete ispod kontakta sediment-voda.

Kako se u mnogim radovima (pregled u WIGNAL & HALLAM, 1992) uzima kao granica framboidnog pirita koji nastaje **u stupcu vode** dimenzija od <20 μm, tako se i u ovom radu interpretira da framboidnom piritu istog porijekla odgovaraju te dimenzije.

2.1. FRAMBOIDNI PIRIT

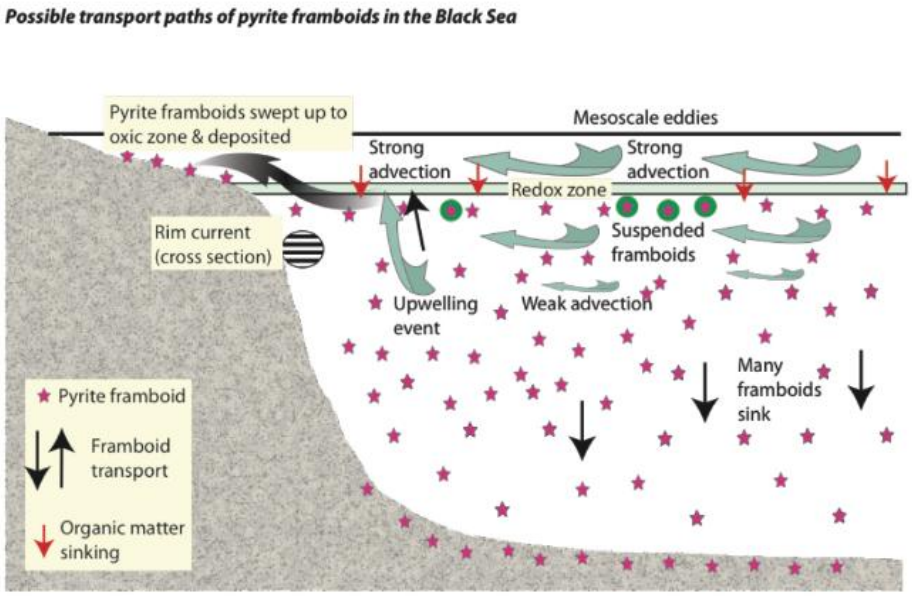
Porijeklo naziva framboidni pirit potječe od francuskog naziva za malinu. On, dakle, predstavlja specifičnu formu pirita malinaste građe i jasno je definiran, što ga razlikuje od drugih formi pirita. Framboidni pirit predstavlja mikroskopske sferoidalne do subsferoidalne nakupine ekvidimenzionalnih i ekvimorfnih mikrokristala. Njihovo zanimljivo svojstvo je način njihove sposobnosti samoorganizacije. U prirodi se nalaze framboidi različitih dimenzija u rasponu od 1 μm do 250 μm u promjeru, ali najčešće su veličine 10 μm. Unutrašnjost framboida nije homogeni pirit, nego su to gusto pakirani mikrokristali. Dakle, framboidni **piriti** ili kraće **framboidi** su mikroskopski agregati sferoidnog oblika i karakteristične mikrokristalaste unutarnje građe. Framboidi predstavljaju najčešću formu pirita u recentnim marinskim i slatkovodnim sedimentima.

Prva istraživanja framboidnih pirita bila su usmjerena na pronalaženje njihove povezanosti s biološkim procesima i pretpostavljalo se da su te teksture fosilizirani mikroorganizmi ili bakterijske kolonije. Ta ideja je odbačena kada je otkriveno kako se framboidi pojavljuju u uvjetima u kojima mikroorganizmi ne opstaju, tj. u visoko temperaturnim sustavima vulkanskih stijena i hidrotermalnim uvjetima. Jedina uvjerljiva veza kako su framboidi mikrobiološkog postanka bio je pronalazak pirita i sumpora u sedimentima, što je interpretirano prokariotskom (bakterijskom) aktivnošću redukcije sulfata.

Međutim, na takav način nastaju brojne piritne forme, a ne samo framboidne. Do preokreta u istraživanju dolazi 1969. godine kada BERNER uspijeva sintetizirati framboide anorganskim procesima. Sintetizirani su u laboratorijima još od 1960-ih, u blago kiselim do neutralnim pH uvjetima i rasponima temperature od 25 °C do 350 °C. Glavno pitanje vezano uz framboidne pirite jest njihovo podrijetlo. Nejasno je zašto se pirit neravnomjerno stvara u sedimentu u formi framboida.

Pregledom dosadašnjih istraživanja framboidnih pirita povezanih s naslagama na granici perm-trijas prema KERSHAW (2015), prikazan je model nastanka framboidnih pirita prema kojem se oni mogu naći i u oksičnim okolišima. Uzet je primjer njihovog prisustva u sedimentima šelfa Crnog mora. Talozi šelfa Crnog mora obiluju ostacima puževa i školjaka koji obitavaju u oksičnim okolišima. Ipak, u takvom je sedimentu pronađeno puno framboidnog pirita koji generalno ukazuje na anoksičnu sredinu (KERSHAW, 2015). Danas se smatra da je Crno more primjer anoksičnog okoliša u kojem se zbog zatvorenosti miješa samo prvih 150-200 metara površinske vode, dok su dublji dijelovi mora, ispod reduktivnog sloja, anoksični.

Framboidni pirit nastaje nukleacijom u stupcu vode (u suspenziji) ispod reduktivne zone (slika 2-2.). Tu se formiraju vrlo sitni kristali koji tonu prema dnu te se konačno akumuliraju u sedimentu. Promjer tako nastalih piritnih framboida je <20 μm. Povremeni događaji jačeg miješanja oksidativnog i anoksičnog sloja vode (vjerojatno uslijed olujnih strujanja) mogu zahvatiti dio framboida koji još nije potonuo na dno te oni mogu biti odnošeni u plići dio taložnog bazena – na plitki šelf. U takvim će uvjetima, na šelfu, koji predstavlja tipičnu oksidativnu sredinu, biti prisutni framboidi pirita u sedimentu koji odražava obilje kisika što se vidi po prisustvu velikog broja marinskih organizama. Na šelf naneseni framboidi pirita moraju biti brzo prekriveni novim sedimentom jer se jedino u tim uvjetima on može očuvati, a da ne dođe do oksidacije.



Slika 2-2. Model nastanka i transporta framboidalnih pirita prema KERSHAW (2015).

2.2. ZNAČENJE POJAVE FRAMBOIDNOG PIRITA UZ GRANICU PERM-TRIJAS

Izumiranje na granici perm-trijas u povijesti živog svijeta naše planete predstavlja najstresnije razdoblje. Ovo razdoblje geološke povijesti se smatra vrlo dramatičnim i prouzrokovalo je znakovite promjene u ekosustavima na Zemlji. Najveće je masovno izumiranje u fanerozoiku, u kojem je izumrlo više od 96% vrsta, 83% rodova te 55% porodica (SEPKOSKI, 1990; RAUP, 1991), a istovremeno je nestalo i približno pola živućeg svijeta na kopnu. Proces postupnog izumiranja marinskih organizama započeo je tijekom perma (ALJINOVIĆ et al., 2008; ISOZAKI & ALJINOVIĆ, 2009) da bi bio konačno dovršen na granici perm-trijas (YIN et al., 2007).

Usprkos opće prihvaćenoj činjenici da je došlo do najvećeg izumiranja u povijesti života na Zemlji, još uvijek nije postignuto jedinstveno mišljenje o uzroku/uzrocima toga izumiranja. Prema mnogim autorima (pregled u TWITCHETT, 2006) postoje razna tumačenja uzroka izumiranja. Jednu skupinu uzročnika čine klimatske promjene, ali njihova interpretacija kreće od globalnog zatopljenja do globalnog zahladnjenja.

Drugu skupinu čine paleoekološke promjene. Pritom, dio autora smatra da je presudnu ulogu u izumiranju odigralo globalno sniženje morske razine, dok neki smatraju da je uzročnik bila globalna transgresija na P-T granici, dakle podizanje nivoa mora. U uzročnike okolišnih promjena svakako spada i tumačenje o udaru meteorita, ali i o izrazito snažnom vulkanizmu u Sibiru u to vrijeme.

Jedan dio autora navodi kao uzročnik izumiranja anoksiju oceana. Na šelfovima današnjih mora, povremeni anoksični (ili hipoksični) događaji imaju utjecaj na bentičku zajednicu organizama, što može trajati nekoliko godina. U geološkoj prošlosti, broj anoksičnih događaja u oceanima je bio značajan i neki znanstvenici takve događaje smatraju potencijalno odgovornim za većinu izumiranja na Zemlji (TWITCHETT, 2006 i pridružene reference). Ovu tvrdnju snažno podupire interpretacija promjena u facijesima i paleookolišu u razdoblju permo-trijaskog izumiranja. Dokazi anoksije su također uočeni na granici trijas-jura (TWITCHETT, 2006 i pridružene reference).

U početku, interpretacija anoksičnih uvjeta na granici perm-trijas temeljila se na sedimentološkim i paleoekološkim dokazima tj. prisustvu laminiranih, sitnozrnatih sedimentima bez prisustva bioturbacije i epifaune. Smatralo se da je odsutnost epifaune izravan dokaz anoksičnih uvjeta (TWITCHETT, 2006 i pridružene reference). Kasnije, ova je interpretacija pobijena te se smatra da su promjene facijesa bile jednostavno prirodna posljedica izumiranja (TWITCHETT, 2006 i pridružene reference). Naime, taloženje laminiranog sitnozrnatog sedimenta i nedostatak organizama naprosto ukazuje na činjenicu da je većina organizama izumrla odnosno, prema mnogim autorima (TWITCHETT, 2006 i pridružene reference) to nije bio dokaz da je anoksija ujedno i uzrok izumiranja. Iako nova sofisticiranija istraživanja i podaci, što geokemijski, što biomarkerski, dalje ukazuju na anoksiju kao potencijalni uzrok izumiranja, nema konkretnog dokaza da je izumiranje uzrokovano anoksijom oceana. Bitno je usporediti relativni početak izumiranja i pretpostavljeni početak anoksije.

Tijekom razdoblja perm-trijas, pojava anoksije nije istovremena na cijeloj Zemlji. Plitkomorska područja Neothetysa ostaju dobro opskrbljena kisikom (dakle oksična) sve do ranog donjeg trijasa. Ako je anoksija mehanizam koji je izravno utjecao na izumiranje, a ono je u cijelom svijetu nastupilo istovremeno, onda bi se i anoksija oceana trebala poklapati s tim događajem (TWITCHETT, 2006 i pridružene reference). Pretpostavke o anoksiji kao uzroku izumiranja su doživjele kritiku, no usprkos tome, taj se potencijalni uzročnik i dalje propituje i istražuje te i dalje predstavlja temu otvorenu za diskusiju. Čini se da se samo izumiranje ne poklapa uvijek s znakovima anoksije. Također postoje dokazi o prisutnosti tzv. post-anoksije do koje je došlo nakon izumiranja, a koja je, vjerojatno u s vezi s globalnim zagrijavanjem. Tako su globalno zagrijavanje i post-anoksični uvjeti u okolišu znatno utjecali na oporavak ekološkog sustava u oceanima te kao takvi predstavljaju zanimljivu temu istraživanja (TWITCHETT, 2006 i pridružene reference).

3. SEDIMENTOLOŠKE KARAKTERISTIKE PROFILA PLAVNO

Kontinuirani slijed naslaga donjega trijasa Plavno smješten je u zasjeku lokalne ceste Knin – Plavno koja velikim dijelom prati tok potoka Radljevac. Slojevi su u vertikalnom, subvertikalnom ili prebačenom položaju. Mjereno pružanje slojeva varira od 90 – 270 do 125-305 (slika 3-1.).

Slika 3-1. Dominantno siliciklastične naslage profila Plavno. Nalazimo ih u prebačenom položaju. Stratigrafski mlađi slojevi su lijevo.

Izdvojena su tri litofacijesa koji ujedno čine tri neformalne litostratigrafske jedinice (slika 3-2.). To su: **dolomitni i siliciklastični litofacijes** koji odgovara sajskim naslagama te **muljni litofacijes** koji čini kampilske naslage. Podjela na sajske naslage koje odgovaraju donjem dijelu ranoga trijasa (T_1^1) te kampilske naslage koje odgovaraju gornjem dijelu ranoga trijasa (T_1^2) su preuzete iz tumača OGK SFRJ 1:100 000 za list Knin (GRIMANI et al., 1975).

Prema GRIMANI et al. (1985) u podini donjotrijaskog slijeda nalaze se permo-trijaski gipsevi i vrlo je moguće da su neki dijagenetski procesi koji se mogu vidjeti u dolomitnom litofacijesu (dedolomitizacija) vezani za uvjete otapanja dolomita uslijed trošenja gipseva i formiranja jakih kiselina.

Sedimentne stijene istražene u ovom radu pripadaju najstarijoj jedinici tj. **dolomitnom litofacijesu** čija ukupna debljina iznosi oko 40 metara. Ovaj dio slijeda prikazan je na slici 3-3. Makroskopski dolomiti su svijetlo žuti, masivne teksture. Uglavnom se radi o debelim slojevima. Ponegdje se može uočiti laminacija koja je uglavnom loše vidljiva. Stratigrafski, ova jedinica pripada ranom grizbahiju što je utvrđeno nalazom konodonata *Hindeodus* sp., *Hindeodus* cf. *Parvus, Isarcicella staechei* i *Isarcicella isarcica* (ALJINOVIĆ et. al, u pripremi za tisak).

Interpretacija uvjeta taloženja dolomitnog litofacijesa

U **dolomitnom litofacijesu** osim dolomita, prisutni su i dedolomiti bogati ostrakodima. Prisustvo ostrakoda ukazuje na plitki marinski oksični okoliš. Iako su dolomiti svijetli i ukazuju na oksidativne uvjete taloženja u njima je uočena pojava pirita u formi sitnih ili krupnih framboidnih pirita. Stoga je cilj ovog istraživanja razmotriti genezu pirita koji se nalaze u litofacijesu dolomita. Osim pirita u dolomitima je uočeno prisustvo detritične siliciklastične komponente u bazi slijeda što ukazuje da je detritus vjerojatno nastao trošenjem zaleđa. Detritus je bio najprije akumuliran u malim deltama da bi zatim bio pretaložen u plitkom moru (ŽIVKOVIĆ, 2011).

Na dolomitni litofacijes se u kontinuitetu taloži **siliciklastični litofacijes**. Njegova stratigrafska pozicija određena je mikro i makrofosilima, te mu je određen raspon koji odgovara gornjem grizbahiju – gornjem smitiju. Siliciklastični litofacijes čini izmjena naslaga šejlova, siltita i pješenjaka. Pojave dolomita, te bioklastičnih i oolitičnih/onkolitičnih kalkarenita su rijetke, no u vršnom dijelu ovog litofacijesa njihova pojava je učestala. U tom su dijelu uočeni ooidni grejnstoni u formi debljih slojeva uglavnom u izmjeni s pješčenjacima (slika 3-2.).

Šejlovi siliciklastičnog litofacijesa uglavnom sadrže ilitični materijal, a u siltovima prevladavaju kvarc, feldspati te glinoviti minerali, zajedno s kalcitnim cementom. Pješčenjaci su sitno do srednjezrnati, a u sastavu prevladavaju vrlo dobro sortirana zrna kvarca. Feldspata ima manje od 20% ukupnog sastava. Zbog prisutnosti kalcitnog cementa pješčenjaci su klasificirani kao arkoze do subarkozni areniti. U kalkarenitima, bioklasti su predstavljeni puževima i školjkama, kao i rijetkim ooidnim/onkoidnim zrnima pomiješanim sa siliciklastičnim detritusom.

Prema debljini slojeva kao i teksturnim karakteristikama, siliciklastični litofacijes je podijeljen na donji, srednji i gornji interval (ALJINOVIĆ et. al, u pripremi za tisak).

Donji interval (52m – 130m) (slika 3-2.)

U donjem intervalu prevladavaju slojevi debljine od 3 cm do 10 cm. Izmjenjuju se šejlovi, siltiti i pješčenjaci. Boja naslaga je siva ili žuta. Vidljiv je kontinuirani prijelaz iz krupnozrnatih u sitnije sedimente, a horizontalna laminacija je najčešća tekstura koja se pojavljuje u siltovima i pješčenjacima i to u bazi slojeva, a koja naviše prelazi u kosu laminaciju riplova. Osim laminacije može se uočiti i deformacijsko povijanje lamina - konvolucija koja je nastala kao posljedica utkiskivanja. Riplovi koji se pojavljuju na gornjem dijelu ovog intervala su simetrični u presjeku te su determinirani kao valni.

Središnji interval (130 m – 395 m) (slika 3-2.)

Prisutnost školjke *Claraia clarai* na početku ovog intervala odgovara starosti ranog dinerija. Dominira izmjena crvenih pješčenjaka, siltita i šejlova kao i u donjem intervalu, ali sa sve većim prirastom udjela šejla. Također raste i debljina slojeva (10-30 cm). Boja sedimenata se mijenja iz sive u tamno crvenu. Mineralni sastav pješčenjaka, siltita i šejlova je skoro isti kao i u donjem intervalu. Rijetko se pojavljuju kalkareniti, dolomiti i vapnenci s puževima, ooidima, onkoidima koji sadrže i stanoviti udio siliciklastične komponente. Oni formiraju slojeve debljine i do 30 cm. Najčešća tekstura u pješčenjacima je horizontalna i kosa laminacija.

Gornji interval (395 m – 468 m) (slika 3-2.)

Debeloslojeviti pješčenjaci i oolitični grejnstoni su tipični za ovaj interval. Prevladavaju sitno do srednje zrnati pješčenjaci, siltovi i krupnozrnati oolitični grejnstoni. Udio šejla je vrlo mali. Mineralni sastav pješčenjaka, siltita i šejlova je isti kao i u prethodna dva intervala, a grejnstoni sadrže ooide, krupnozrnate bioklaste kao što su puževi i školjke te mali udio zrna siliciklastičnog materijala dimenzije pijeska. Ooidi su uglavnom formirani oko fragmenata školjki ili puževa, ali i oko makrokristala kalcita i dolomita.

Interpretacija uvjeta taloženja siliciklastičnog litofacijesa

Taloženje dominantno siliciklastičnih sedimentnih stijena ukazuje na promjenu uvjeta sedimentacije u odnosu na taloženje u dolomitnom litofacijesu, što se očituje u sve većem donosu terigenog detritusa. Mjestimično postoje, međutim, i pogodni uvjeti za taloženje karbonata što rezultira miješanjem siliciklastične i karbonatne komponente te nastankom kalkarenita.

Taloženje pijeska je najčešće brzo, a rate sedimenta su velike zbog čega dolazi do čestog utiskivanja pješčanih sedimenata u podinske pelite. Izmjene intervala u siliciklastičnom facijesu ukazuju na promjene uvjeta u kojima prevladava donos materijala s kopna, te uvjetima u kojima nastaju karbonati ooidnog sastava, posebice u gornjem intervalu. Teksture i strukture kao što su oštra donja slojna ploha, krupne forme utiskivanja, kontinuirani prijelaz iz srednjezrnatih pješčenjaka u sitnozrnatije ukazuju na brzo taloženje ogromne količine materijala, te potom, slabljenje energije okoliša. Također humčasta kosa laminacija ukazuje na važan mehanizam u taloženju ovog litofacijesa, a to su oluje.

Muljni litofacijes

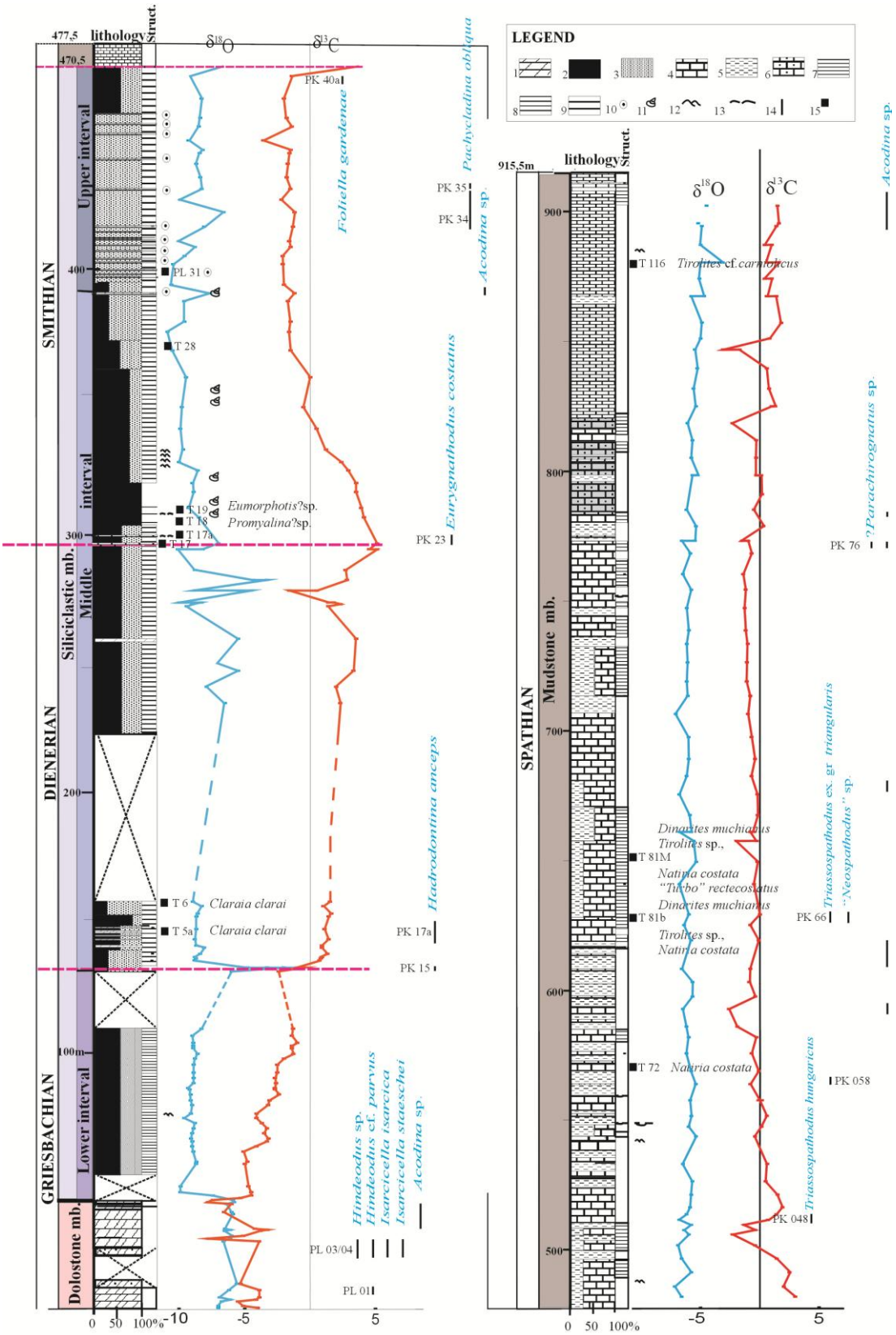
Prelazeći iz siliciklastičnog litofacijesa u muljni, stijene sadrže sve više karbonatne komponente, a boja se mijenja od dominantno crvene u sivu, te prestaje taloženje crvenih šejlova i pješčenjaka.

Vrlo debeli intervali su laminirani ili su prisutni debeli intervali s tankim slojevima u kojima se izmjenjuju karbonatni madstoni, lapori i siltozni lapori. Ova litologija predstavlja glavnu karateristiku ovog litofacijesa. Povremeno se pojavljuju skeletni lagovi sastavljeni od krupnozrnatog materijala i karbonatni siltiti. U siltitima se primjećuje humčasta ili valovita laminacija te graduirana slojevitost. U bazi takvih slojeva često se opaža pojava erozijskih žljebova, odnosno „gutter cast“ tekstura(opisano u ALJINOVIĆ, D. i VRKLJAN M., 2002). Pojave ihnofosila i bioturbacija uzrok su destrukcije lamina u laporima i madstonima. Fosili koji se nalaze u cijelom litofacijesu su dobro očuvani.

U sastavu lapora prednjači kalcijev karbonat (65%-75%) i glinovita komponenta. Karbonatna komponenta u madstonu predstavlja rekristaliziranu matriksnu osnovu.

Interpretacija uvjeta taloženja muljnog litofacijesa

Muljni facijes ukazuje na taloženje u distalnom, dubljem otvorenom moru. Na to prvenstveno ukazuje prisutnost amonita. Olujni su događaji prisutni međutim i u ovim dubljim sredinama što izravno govori o taloženju iznad osnovice valova olujna vremena. Tijekom oluja prethodno istaloženi karbonatni mulj i skeletni fragmenti bivaju s morskoga dna podignuti u suspenziju, nakon čega se krupni skeletni fragmenti talože prvi te ostaju zatrpani sitnozrnatim sedimentom tijekom jenjavanja oluje. U vremenu odsutnosti oluja, formiraju se debeli, karbonatni (madstonski) intervali između dvaju olujnih događaja. „Gutter cast“ tekstura odraz je olujnih događaja. Siltiti se najčešće sastoje od karbonatnog skeletnog materijala siltnih dimenzija koji predstavlja distalni odraz olujnih događaja, ali i iznenadnog donosa velike količine materijala iz plićih, obalnih dijelova i taloženju u dubljim dijelovima taložnog prostora. Prema analizi konodonata, ovaj facijes odgovara starosti spatija. (ALJINOVIĆ et al., 2011).



Slika 3-2. Slijed naslaga Plavno s označenim litofacijesima odnosno neformalnim litostratigrafskim jedinicama. Dolomitni litofacijes je najstarija jedinica slijeda (iz ALJINOVIĆ et al., u tisku).

LEGENDA: 1- dolomit; 2 – šejl; 3 – pješčenjak/siltit; 4 – vapnenenac; 5 – lapor; 6 – kalksilitit; 7 –tanki slojevi ; 8 – srednje debeli slojevi; 9 – debeli slojevi slojeviti; 10 – ooidi; 11 – puževi; 12 – humčasta slojevitost; 13 – bioklastični lag; 14 – uzorak konodonta za analizu; 15 – položaj važnih paleontoloških uzoraka

4. METODE ISTRAŽIVANJA

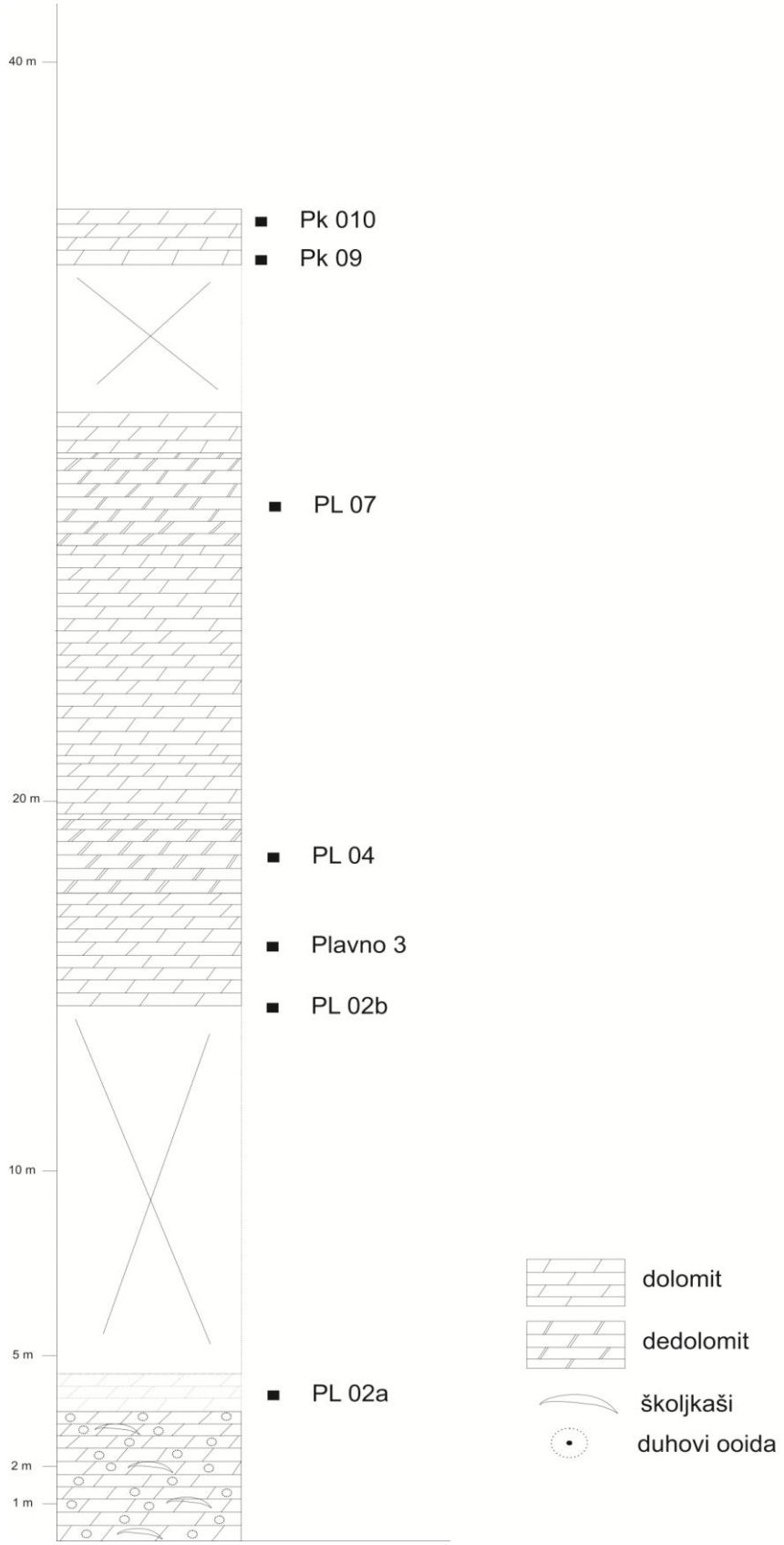
Uzorci koji su uzeti s izdanka lokaliteta Plavno su mineraloško-petrografski i sedimentološki analizirani na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Ukupno osam uzoraka je nakon rezanja pomoću kanadskog balzama prilijepljeno na objektno stakalce te stanjivano do debljine od 0,03 mm. Kako bi se razlikovao dolomit od ostatka stijena, uzorci su neposredno prije pokrivanja bojeni standardnim postupkom za bojanje karbonata pomoću K-fericijanida i Alizarina crvenog S.

Dolomit je ostao neobojen, a kalcit je obojen u crveno.

Pripremljeni izbrusci stijena su analizirani polarizacijskim mikroskopom, te fotografirani. Analiza se radila pri povećanjima od 5, 10 i 20 puta, sa i bez analizatora, uz mogućnost kontroliranja jačine svijetla.

5. REZULTATI

Na profilu Plavno, odnosno u njegovom najstarijem dijelu (prvih 40 metara), istražen je dolomitni litofacijes te prikazan u geološkom stupu (slika 5-1.). Dolomitni litofacijes je donjogrizbahijske starosti koji je određen prema analizi konodonata, sastoji se od blijedo žutih dolomita i znatno manje zastupljenih pjeskovitih/siltoznih dolomita i dedolomita. Iz ukupno osam uzoraka opisane su strukture i teksture unutar dolomita, te pojave biogenih ostataka i pirita. Uzorci se sastoje uglavnom od anhedralnih do subhedralnih makrokristala dolomita. Strukture primarne stijene su potpuno uništene procesima dolomitizacije i povremeno dedolomitizacije. Rijetko se uočavaju „duhovi“ ostrakoda i rijetkih sferičnih formi (ooida ili mikrosfera). Očuvanost fosilnog sadržaja je izrazito slaba, a mjestimično se mogu prepoznati foraminifere *Earlandia* i *Cornuspira*. Rijetki slojevi dedolomita su homogeni i sastoje se od kristala kalcita.

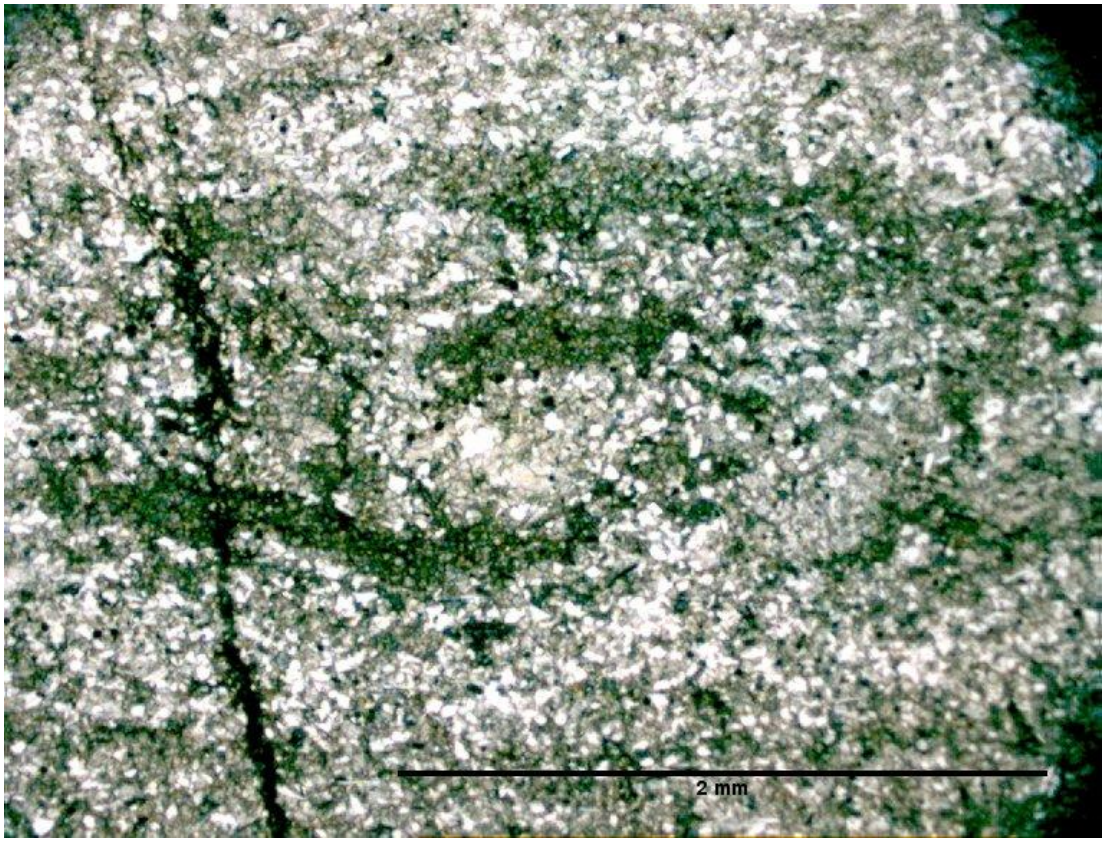


Slika 5-1. Geološki stup dolomitnog litofacijesa profila Plavno.

UZORAK PL 2a

U mikropetrografskom izbrusku PL 2a (slika 5-2.) je utvrđena horizontalna laminacija. Mikrostruktura stijene sastoji se od dolomitnih kristala i siliciklastičnog detritusa. Laminacija u ovom uzorku se očituje prisutnošću tamnijeg, smećkastog, vjerojatno željezovitog pigmenta. Ponegdje su te lamine bogatije dolomitom. U uzorku je dolomit prisutan u obliku krupnih kristala alotriomorfnog oblika. Udio siliciklastičnih zrna je prema TERRY & CHILINGAR (1965) procijenjen na 20-30 %. Siliciklastična zrna nemaju međusobnu potporu, nepravilna su oblika, nezaobljena, no dobro sortirana. U sastavu siliciklastičnog detritusa dominira kvarc, a manje prisutni su tinjci (i to muskovit), te feldspati zastupljeni uglavnom plagioklasima. Listići tinjaca su tek mjestimično jednoliko orijentirani. Pirit je u čitavom uzorku prisutan u formi koja odgovara framboidnom piritu, međutim ima vrlo malo sitnih diseminiranih čestica pirita. Nepravilno su raspoređeni i često akumulirani u nekim kristalima dolomita. Kuglasti framboidni pirit varira od 0,005 mm do 0,01 mm. Svi framboidi su ravnomjerno raspoređeni u uzorku tj. stijeni.

Ovaj uzorak je determiniram kao **pjeskoviti dolomit.** Njegova struktura ukazuje na taloženje dolomitne i siliciklastične komponente te slijeganje u mirnim uvjetima iz suspenzije ili u uvjetima više strujnog režima.



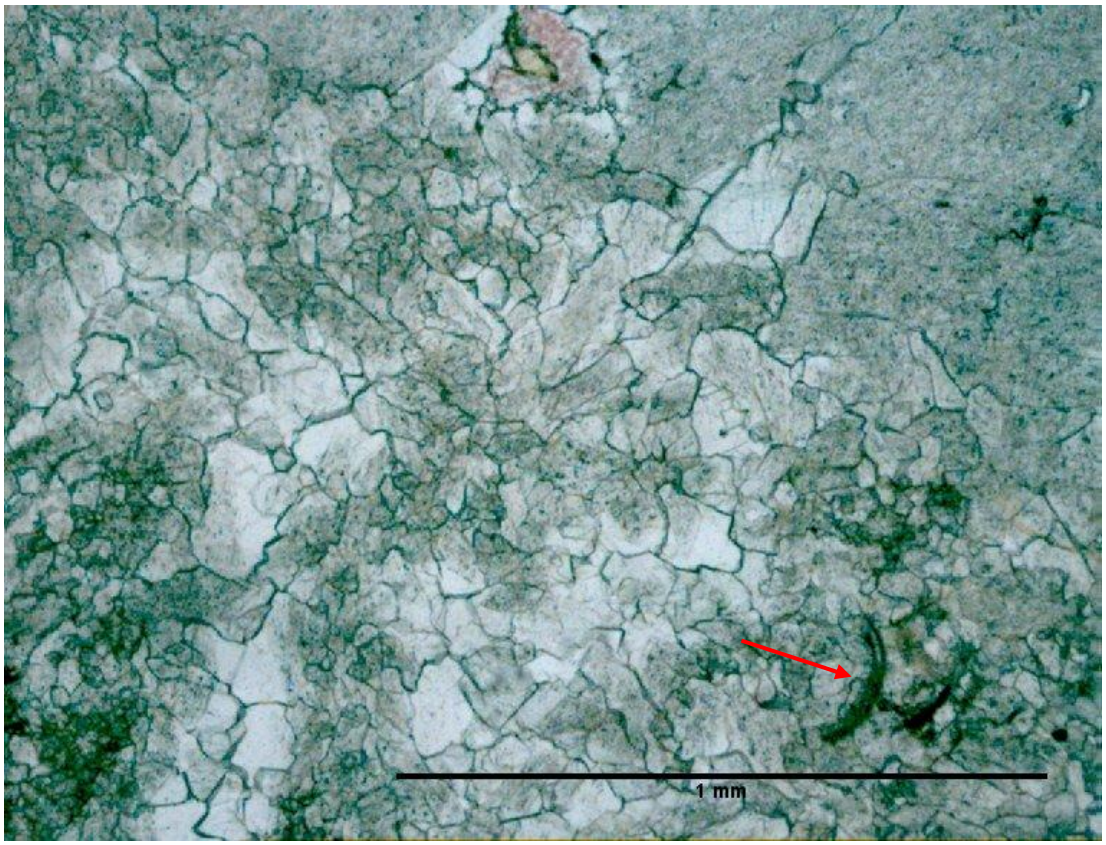
Slika 5-2. PL 2a. Pjeskoviti dolomit horizontalne laminacije.

UZORAK PL 02a

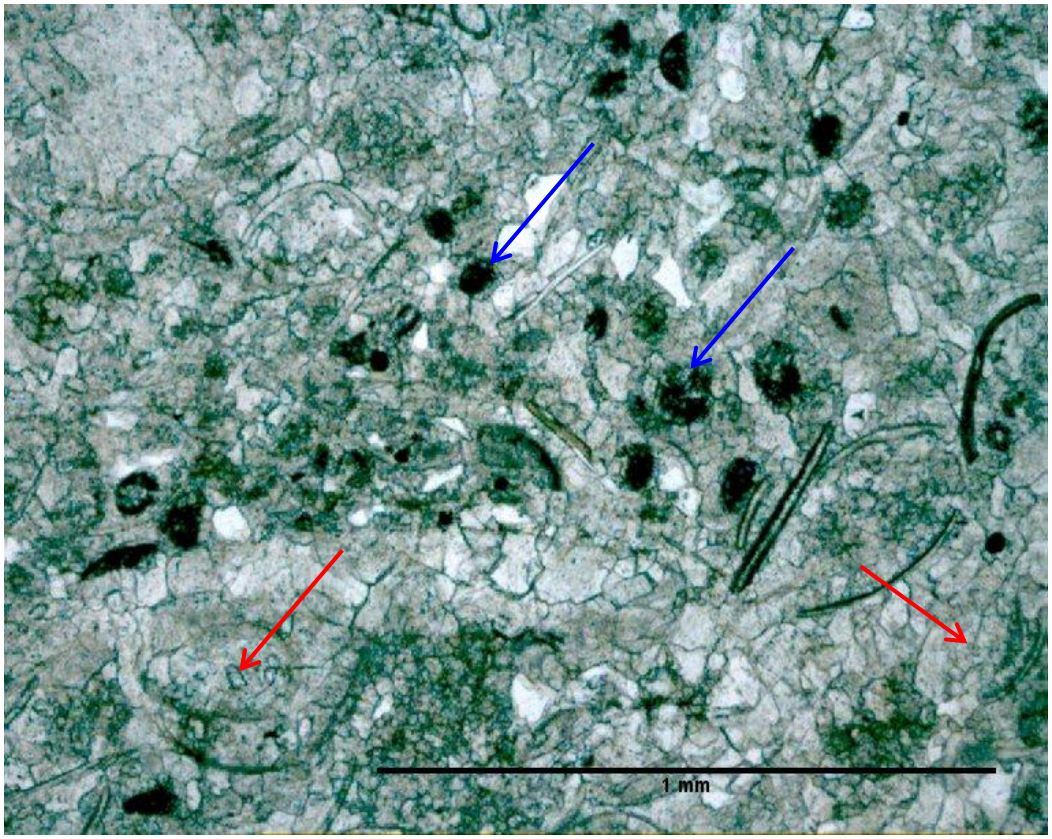
Mikropetrografske karakteristike uzorka PL 02a su slijedeće: u mikropetrografskoj strukturi vide se krupni dolomitni kristali alotriomorfnih oblika te nešto siliciklastičnog detritusa (slika 5-3.). Također se vrlo loše vide obrisi fosila (ljušture ostrakoda i školjkaša) kojima uslijed dolomitizacije nije sačuvana primarna građa. Vrlo su često ljušturice ostrakoda tijekom dolomitizacije sačuvani kao „duhovi“ (slika 5-4.).

Od siliciklastatičnih zrna prisutan je kvarc, a podređeno muskovit i feldspati. Siliciklastični detritus je neravnomjerno raspoređen u uzorku. Osim navedenog u strukturi su vidljive su tamne piritne forme nejasnog porijekla. Te forme bi mogle odgovarati piritnoj ispuni ostrakoda ili piritiziranim ljušturicama foraminifera, a moguće i piritiziranoj unutrašnjosti ooida (slika 5-4).

Uzorak je determiniran kao **makrokristalasti dolomit s ostrakodima.**



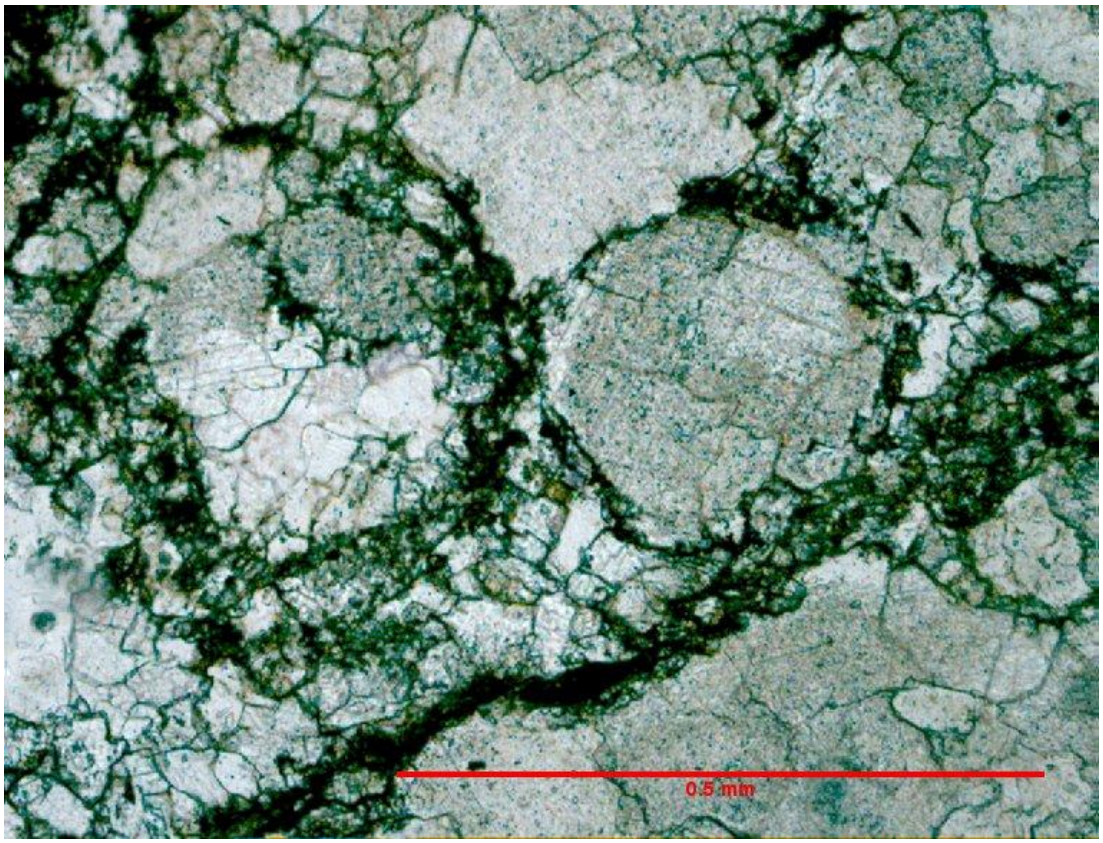
Slika 5-3. PL 02a Oblici dolomitnih kristala. Ljuštura ostrakoda u desnom donjem uglu.



Slika 5-4. Mikrostruktura uzorka PL 02a. Vide se „duhovi“ ostrakoda (crvene strelice). U strukturi su vidljive piritne forme nejasnog porijekla, moguće ispune ljušturica ostrakoda, piritizirane ljušturice foraminifera ili piritizirana unutrašnjost ooida (plave strelice).

UZORAK PL 2b

Uzorak PL 2b (slika 5-5.) makroskopski je potpuno homogen. Mikropetrografski stijena odgovara makrokristalastom subidiotopnom dolomitu. U uzorku je nepravilno raspoređena željezovita komponenta koja vjerojatno odgovara željeznim oksidima/ hidrooksidima. U sastavu su nejasno vidljivi i teško uočljivi - ostaci ooida („duhovi“).
Uzorak je determiniran kao **makrokristalasti dolomit s „duhovima“ ooida**.



Slika 5-5. „Duhovi“ ooida u sastavu uzorka PL 2b markirani željezovitim pigmentom.

UZORAK PLAVNO 3

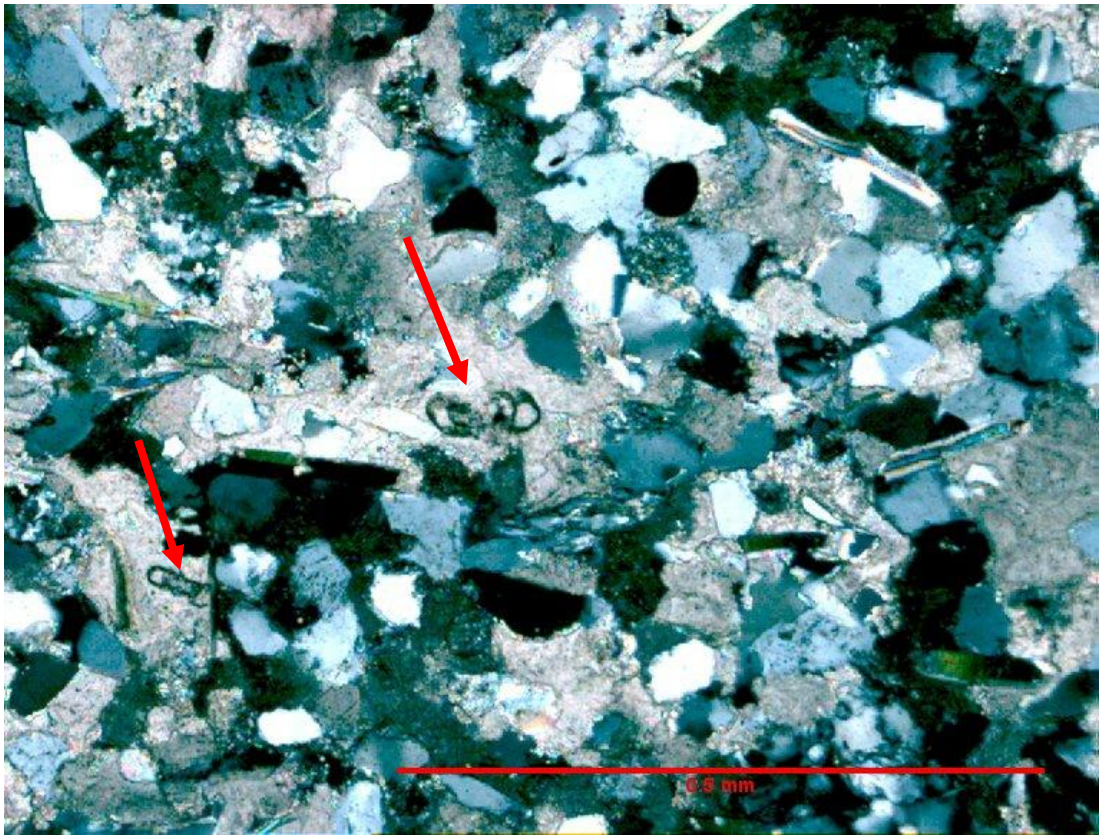
Pregledom uzorka PLAVNO 3 mikropetrografski se uočavaju krupni kristali dolomita te siliciklastični detritus pješčanih i siltoznih dimenzija u kojem je najviše zastupljen kvarc, dok trošnih feldspata (-mikroklina) ima bitno manje u odnosu na čestice kvarca. Udio tinjčastih minerala je znatan, a prisutni su muskovit, biotit i manje klorit. Također su u uzorku vidljive ljušturice foraminifera (*Cornuspirae?)* koje su „zarobljene“ unutar monokristala dolomita (slika 5-6.).

Mjestimično su prisutni i piriti u formi većih kristala veličine 0,08 mm i rijetki krupni framboidi pirita (> 20 μm) (slika 5-7.). Pravog framboidnog pirita malih dimenzija (< 20 μm) nema.

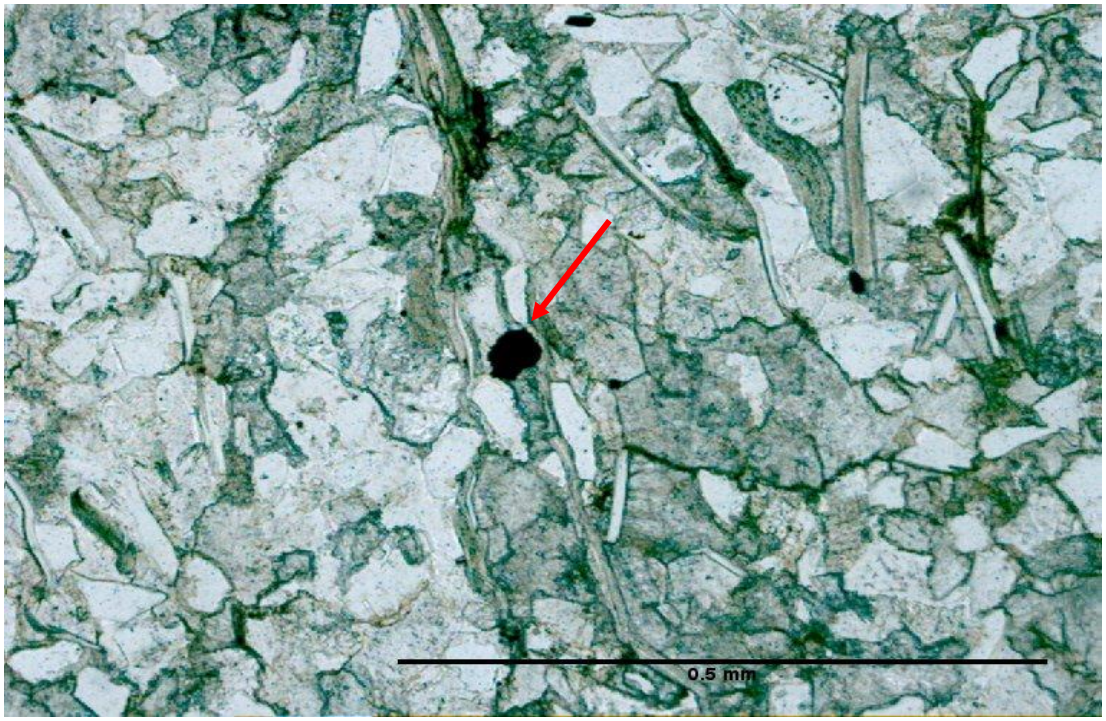
Ovaj uzorak je determiniran kao **pjeskoviti dolomit**.

Njegova makrokristalasta struktura ukazuje na kasnodijagenetsku dolomitizaciju stijene. Prisustvo obilja siliciklastičnog detritusa koji se miješa s karbonatima ukazuje na njegov donos u taložni prostor, a time i prisustvo struja. Na osnovu toga zaključujemo da se radi o okolišu umjerene energije, ujedno i oksidativnom okolišu.

Ovu pretpostavku potvrđuje mali udio pirita u stijeni, za koji se smatra da je nastao uslijed lokalno prisutnih reduktivnih uvjeta.



Slika 5-6. Makrokristalasta građa uzorka PLAVNO 3 koji sadrži i dosta siliciklastične komponente te ljušturice foraminifera „zarobljene“ unutar dolomita. Ukriženi nikoli.



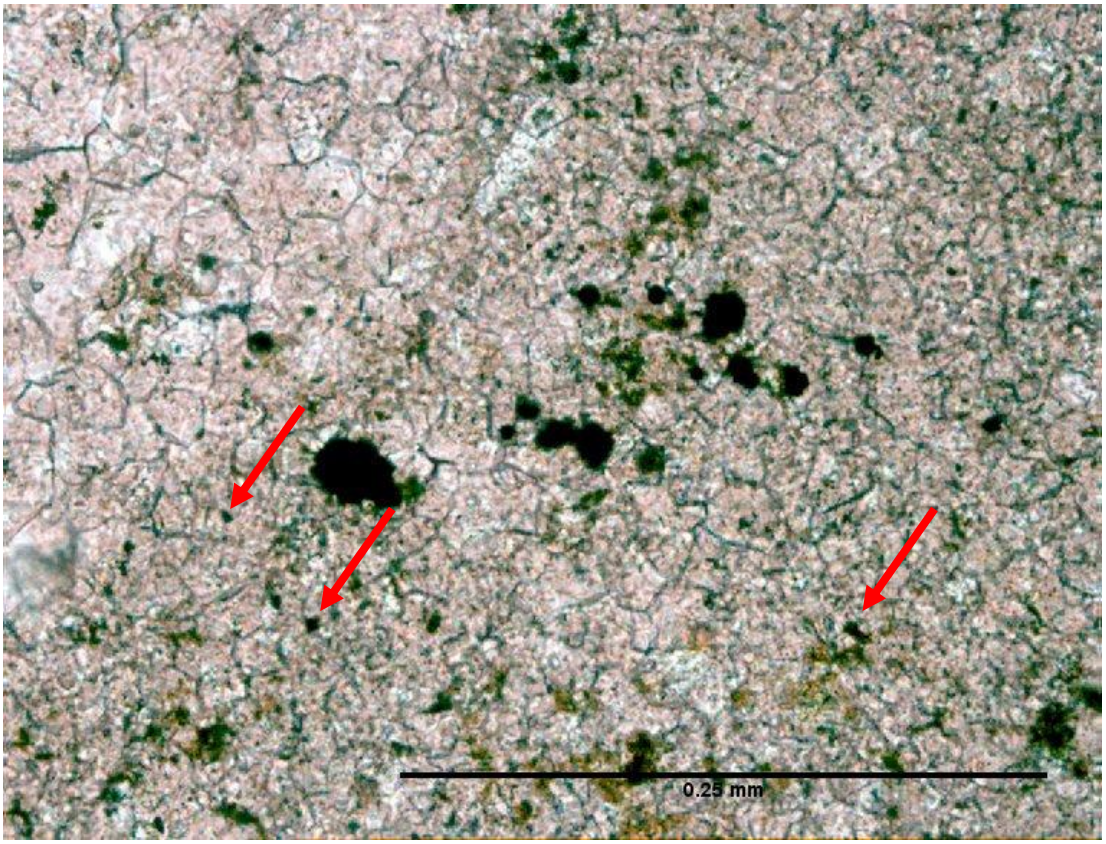
Slika 5-7. Rijetki krupni kristal pirita u pjeskovitom dolomitu (uzorak PLAVNO 3).

UZORAK PL 4

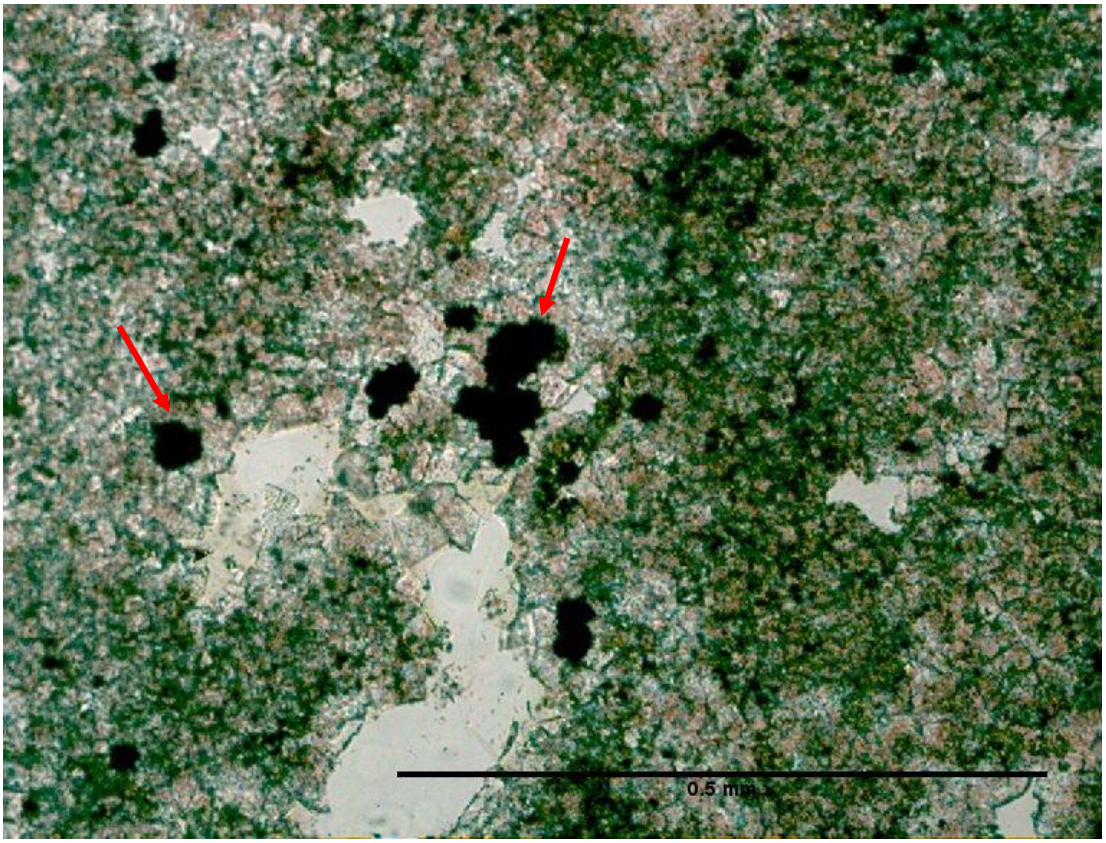
Mikropetrografski uzorak PL 4 (slika 5-8.) ima homogenu strukturu. Pregledom mikropetrografskih značajki uočavamo kristaliće kalcita dimenzija 0,04 - 0,06 mm. U uzorku se nalazi vrlo mala količina siliciklastičnog detritusa.

Stijena je bogata krupnim nepravilnim kristalima pirita dimenzija od 0,01 mm do 0,1 mm koji se javljaju u nakupinama (slika 5-9.), ali i sitnim framboidnim piritom (1-10 µm). Primarna struktura vapnenca nije sačuvana, vrlo se rijetko uočavaju kristali romboedarskog oblika koji su kalcitni te se na osnovi ove karakteristike može zaključiti na proces dolomitizacije, te naknadne dedolomitizacije.

Stijena je determinirana kao **dedolomit**.



Slika 5-8. Framboidni piriti u dedolomitiziranoj stijeni makrokristalaste strukture.

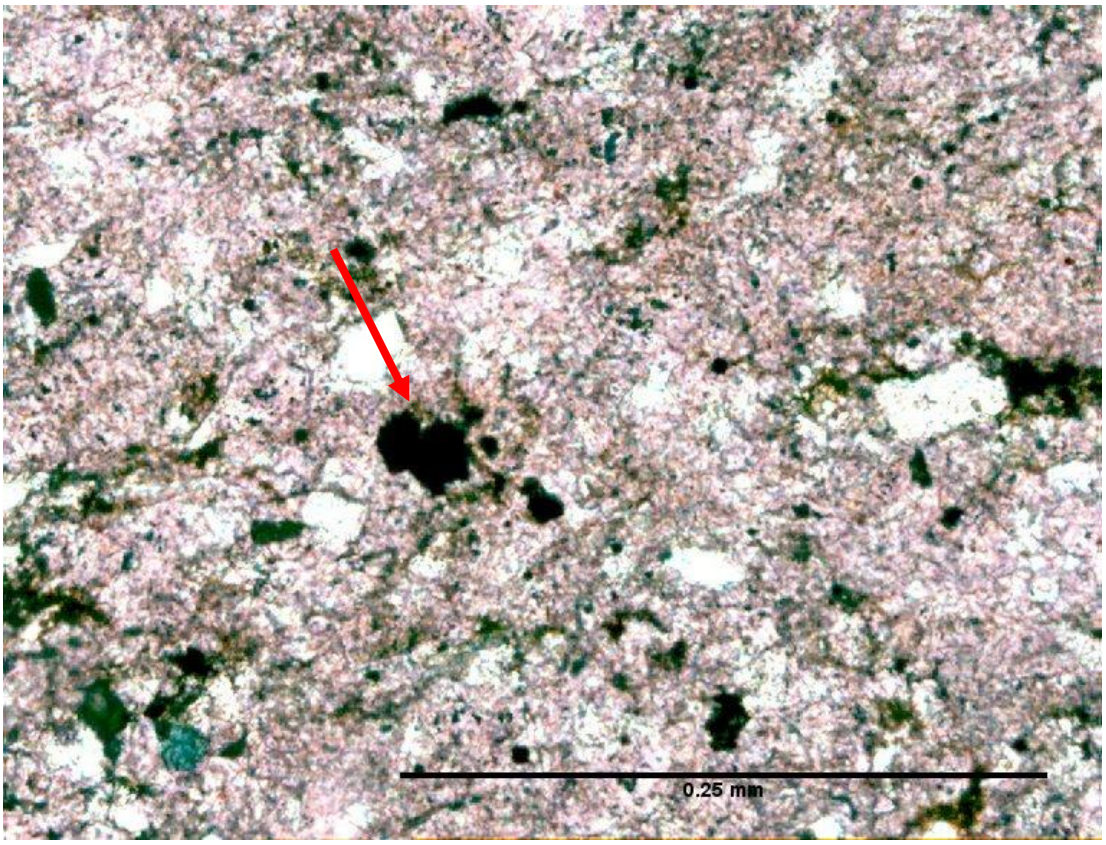


Slika 5-9. Nepravilni krupni piritni kristali (strelice); uzorka PL 04.

UZORAK PL 7

U uzorku PL 7 (Slika 5-10.) prisutni su kristali kalcita i siliciklastična zrna pješčanih dimenzija zastupljeni kvarcom i tinjcima. Stijena je prošla kroz proces dedolomitizacije. U stijeni je prisutan pirit i to u dvije znakovite forme: sitni framboidi (slika 5-10.) veličina su oko 20 μm ili manjih, te krupni framboidni piriti dimenzija od 0,01 mm do 0,08 mm. Mjestimično stijena sadrži obojenje željezovitim pigmentom.

Stijena je determinirana kao **dedolomit.**

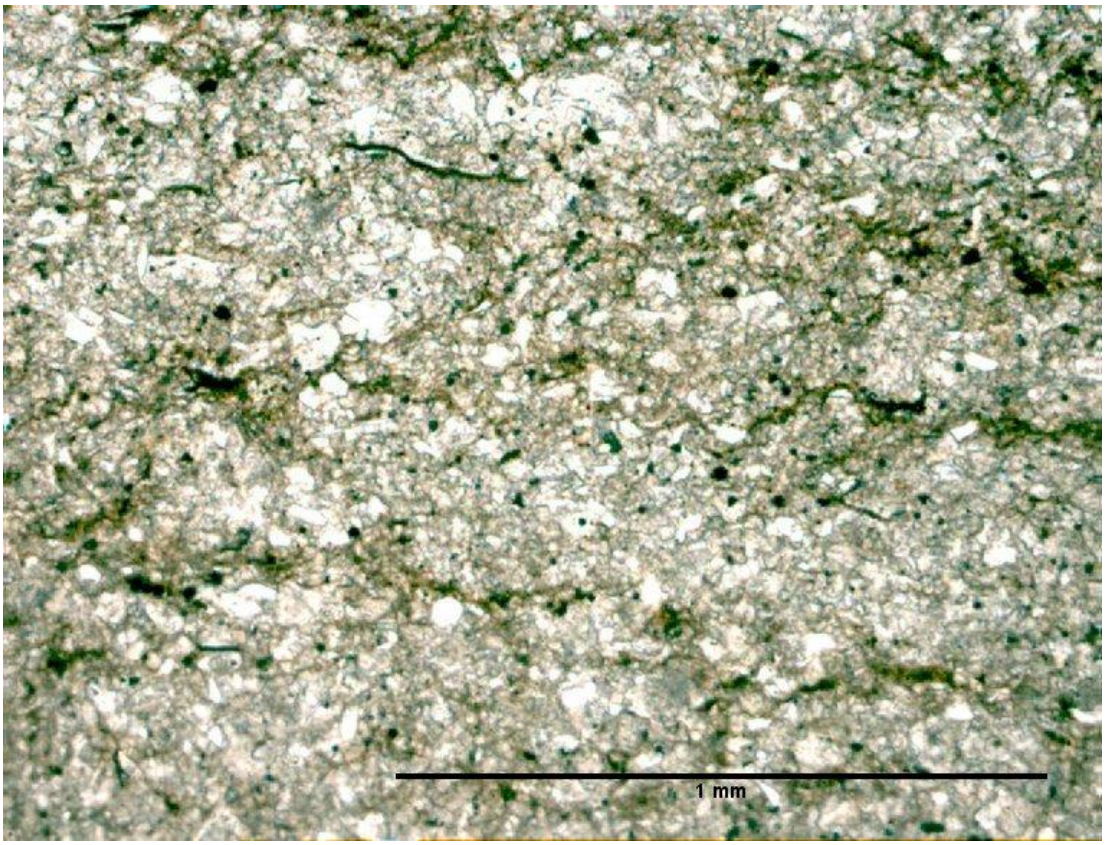


Slika 5-10. Krupni framboidni piriti u dedolomitu (uzorak PL 7).

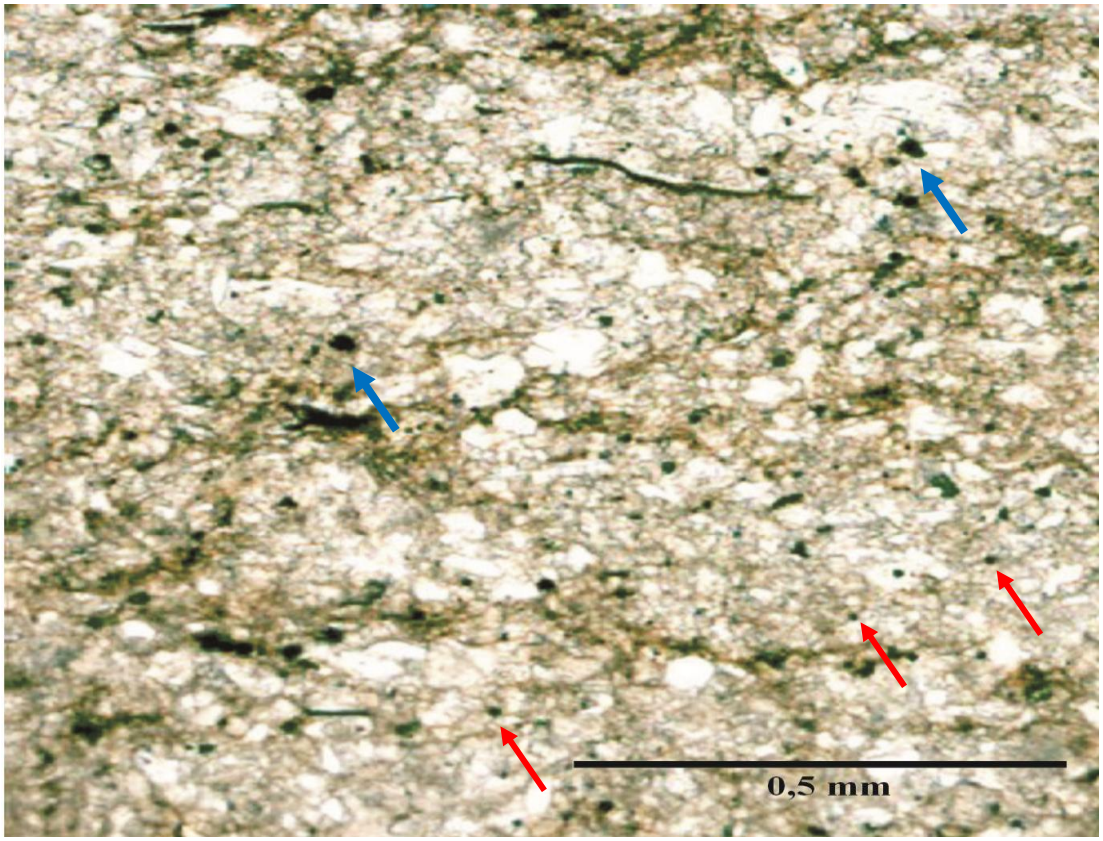
UZORAK Pk 09

U uzorku Pk 09 su prisutni sitni kristalići anhedralnog dolomita te zrna siliciklastičnog detritusa, (tinjci i kvarc). Siliciklastična komponenta sastoji se od zrna koja su nezaobljena i umjereno sortirana. Stijena je determinirana kao **pjeskoviti dolomit.**

U ovom se uzorku nalazi obilje framboidnog pirita, a raspon veličina framboidnih čestica iznosi 5 µm – 20 µm. U uzorku postoje i krupni framboidi (slika 5-11. i slika 5-12.).



Slika 5-11. Obilje framboidnog pirita u uzorku. Neki od njih su malih dimenzija (pravi framboidni pirit), a neki većih dimenzija.

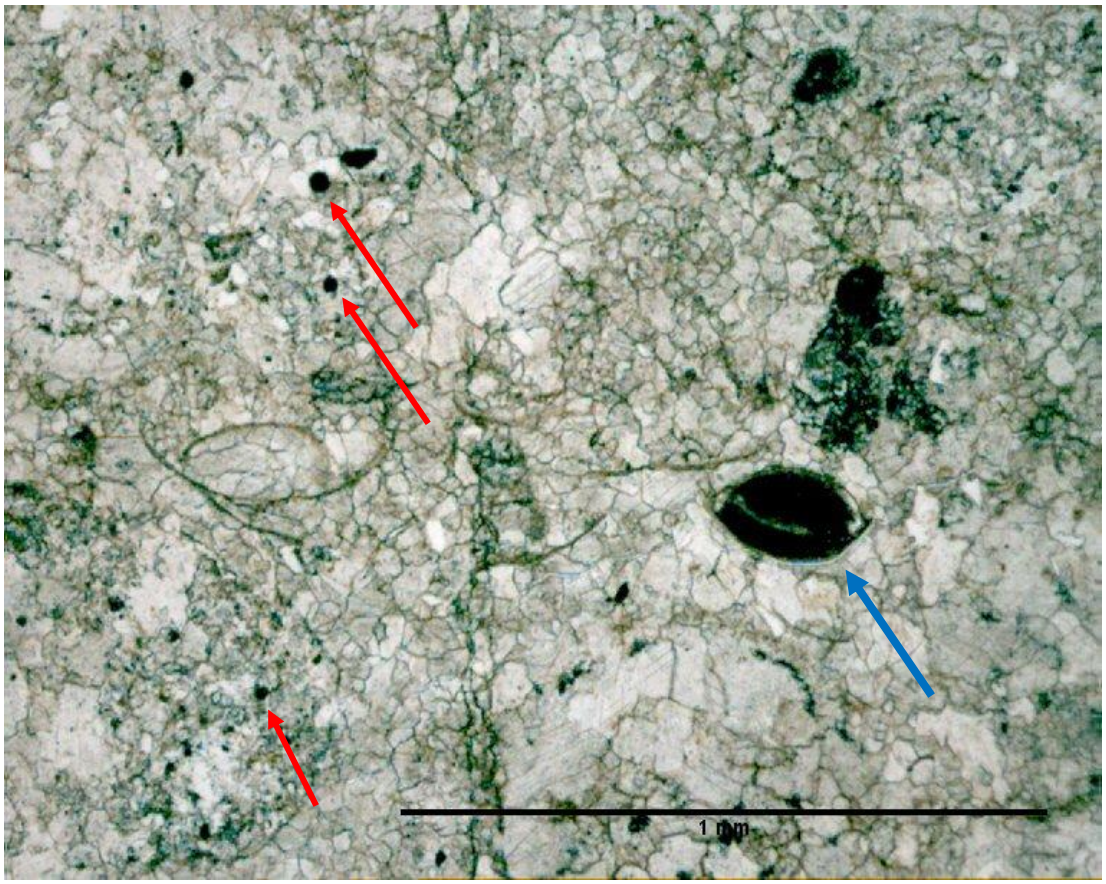


Slika 5-12. Framboidni pirit u uzorku Pk 09. Pravi framboidni pirit malih dimenzija označen je crvenim strelicama, a framboidni pirit većih dimenzija plavim.

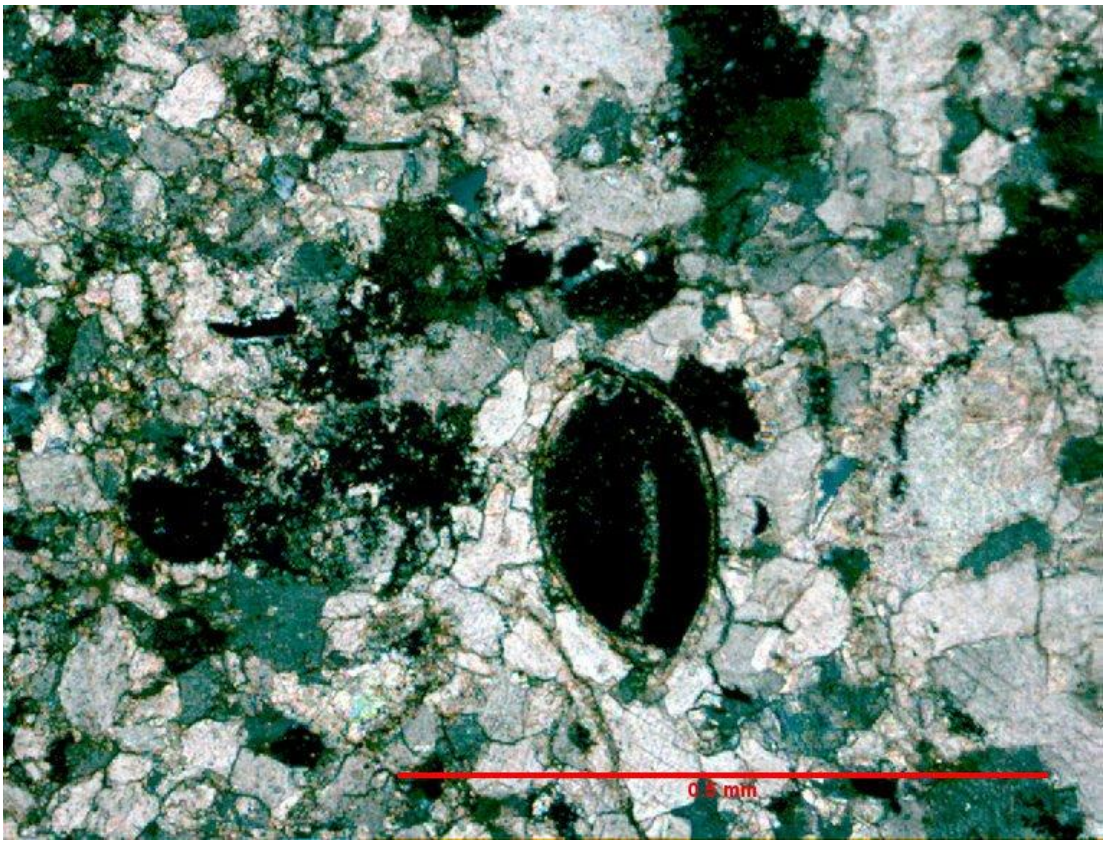
UZORAK Pk 010

Uzorak Pk 010 makroskopski je homogen. Struktura se sastoji od makrokristalastog subhedralnog dolomita i 1-3% siliciklastičnog detritusa (uglavnom zastupljenog kvarcom). Vrlo dobro uočavaju se ostrakodi te pirit u unutrašnjosti njihovih ljušturica (slika 5-13 i 5-14.) Pirit je prisutan i kao krupni framboidni pirit nepravilno raspoređen u uzorku te kao sitni (pravi framboidi) (slika 5-13.).

Uzorak je determiniran kao **makrokristalasti dolomit s ostrakodima** (slika 5-13.).



Slika 5-13. Pirit u unutrašnjosti ostrakoda (plava strelica) te krupni framboidni pirit (crvene strelice).



Slika 5-14. Pirit prisutan u unutrašnjosti ostrakoda. Ukriženi nikoli.

6. RASPRAVA I ZAKLJUČAK

6.1. MODEL SEDIMENTACIJE

Za interpretaciju istraženog slijeda Plavno predložen je model epikontinentalne rampe (ALJINOVIĆ et al., pripremljeno za tisak). Taj model je definiran prema BURCHETTE I WRIGHT (1992), i LUKASIK et al., (2000) kao homoklinalna rampa s vrlo blagom padinom, dubokom nekoliko desetina metara. Širina takve epikontinentalne rampe zahvaća stotine kilometara. Osnovna facijesna obilježja koja dozvoljavaju takvu interpretaciju su: a) izostanak tipičnih facijesa obalnog lica i b) olujni sedimenti, koji su uočeni duž čitavog slijeda naslaga, ukazuju da su taložni procesi bili tijekom čitavog donjeg trijasa pod utjecajem oluja, te da se sedimentacija događala iznad osnovice valova olujna vremena. To ujedno znači da se plitko prostrano područje epikontinentalne rampe čitavo nalazi iznad osnovice valova olujna vremena (Slika 6-1.). Prema ALJINOVIĆ et al., (pripremljeno za tisak) vertikalni slijed facijesa pretpostavlja marinsku transgresiju koja je nastupila već u najstarijem dijelu donjega trijasa. Na epikontinentalnoj rampi proksimalna i distalna zona se razlikuju po litofacijesima. Podijeljene su obzirom na osnovicu valova lijepa vremena, pri čemu se iznad te osnovice nalazi proksimalni dio epikontinentalne rampe, a ispod distalni dio. Tamo gdje valovi dodiruju morsko dno za lijepa vremena nalazi se uska zona s visokom energijom vode gdje nastaju i talože se oolitični grejstoni. Najplići dio rampe odgovara uvjetima taloženja dolomitnog litofacijesa čije su karakteristike opisane u ovom radu.

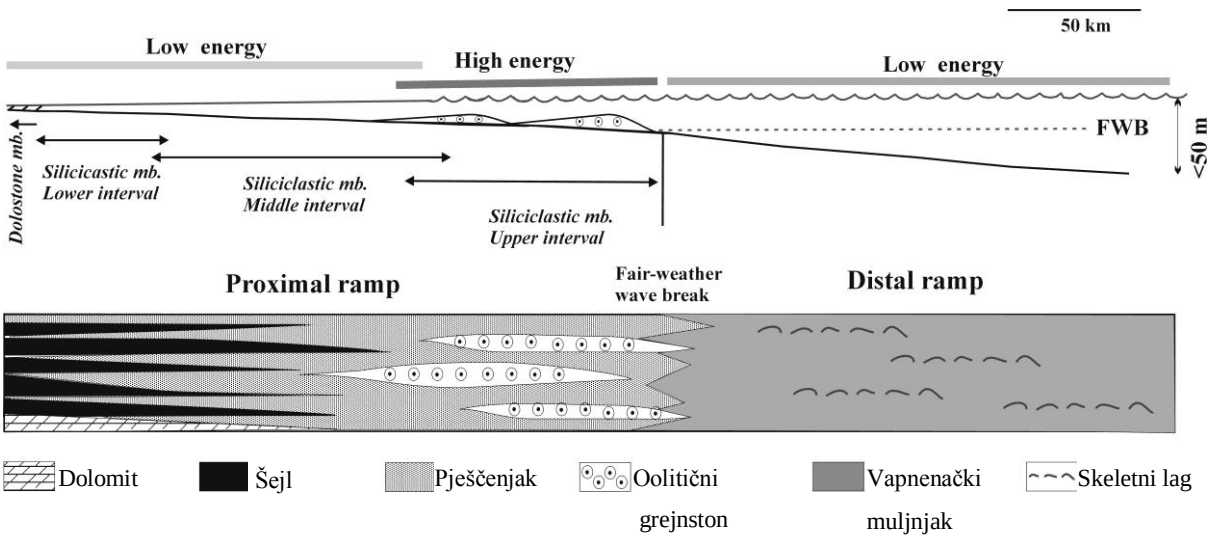
Najmlađe permske naslage evaporita ukazuju na taloženje u plićim dijelovima mora i na supratajdalu, primjerice sabkha okolišima (HERAK et al., 1973; TIŠLJAR, 1992). Tragovi halitnih kristala (ŠĆAVNIČAR, 1973) također ukazuju na taloženje u plićim dijelovima hipersalinih laguna. Moguće je kako se taložni okoliš ranog trijasa u Dinaridima razvijao iz supratajdalnih ravnih priobalnih laguna u epikontinentalnu rampu.

Dolomitni litofacijes profila Plavno starosti je ranog grisbahija i vjerojatno naliježe na permske evaporite. Prema TIŠLJAR (1992) dolomiti su taloženi nakon početne transgresije kada su ostvareni uvjeti za taloženje u plićnim dijelovima. Konodonti *Hindeodus-Isarcicella* ukazuju na taloženje u subtajdalnom okolišu, vjerojatno u proksimalnom, odnosno unutrašnjem dijelu rampe. Rijetki primjerci vrsta *Earlandia* i *Cornuspira* su dokaz preživljavanja stresnih uvjeta na kraju perma.

Prisustvo ostrakoda, foraminifera, školjkaša u ovom litofacijesu može ukazivati na taloženje u plitkom subtajdalnom okolišu koji ima dovoljno kisika potrebnih za život organizama. Također su lokalno u dolomitu sačuvani ooidi. Njihovo prisustvo ukazuje na visokoenergetski okoliš kakav je potreban za postanak ooida (TIŠLJAR, 2001). Takav je okoliš morao biti dobro aeriran tj. količina kisika u njemu je bila visoka. Obzirom na pojavu organizama, kao i na pretpostavljenu visoku energiju vode, prisustvo framboidnog pirita, bilo u formi mikro- ili makrokristala predstavlja neočekivanu pojavu. Sa stanovišta veličine framboida (pri čemu se za mikrokristalasti framboidni pirit dimenzija do 20μm smatra da nastaje nukleacijom u anoksičnom stupcu vode) i njihovog smještaja u sedimentu nastojalo se razjasniti prisustvo pirita u ovom oksičnom litofacijesu.

Dolomiti opisani u radu imaju karakteristike sekundarnih (kasnodijagenetskih dolomita). Primarna dolomitizacija mogla je prethoditi sekundarnoj, no dokazi o tome nisu sačuvani u uzorcima dolomitnog litofacijesa. Primarna dolomitizacija se mogla događati u vrlo plitkim dijelovima proksimalne epikontinentalne rampe ili na rubovima laguna (slika 6-1.). Osobito ako su hipersalini uvjeti održani i nakon perma do donjeg grizbahija. Moguće je pretpostaviti da se procesi dedolomitizacije mogu korelirati s otapanjem permskih evaporita.

U dolomitnom litofacijesu profila Plavno mikrofosili (ostrakodi, foraminifere i konodonti) i makrofosili (školjke) su rijetki. Iako su primarni karbonatni talozi prošli kroz intenzivne dijagenetske procese (dolomitizacija i dedolomitizacija) što onemogućuje detaljnu sedimentološku analizu, moguće je zaključiti da je zastupljenost organizama s karbonatnim skeletom bila niska. Nagli pad prisutnosti karobnatnih skeleta na granici perm-trijas i neposredno nakon granice, ide u prilog pretpostavci o pojačanoj abiotičkoj karbonatnoj precipitaciji u periodu nakon permo-trijaskog izumiranja (PAYNE et al., 2006; KERSHAW et al., 1999, 2002). Na lokalitetu Plavno nisu pronađeni mikrobijalni sedimenti obično u prisutni uz P-T granicu (TWITCHETT, 2006).



Slika 6-1. Taložni model naslaga donjeg trijasa - epikontinentalna rampa (ALJINOVIĆ et al., pripremljeno za tisak).

6.2. PRISUSTVO PIRITA U DOLOMITU

Prisutnost framboidnog pirita u dolomitnom litofacijesu profila Plavno nije iznimka za najdonji dio grizbahija, odnosno za uvjete taloženja koji su nastupili neposredno nakon izumiranja na granici perm-trijas (KERSHAW, 2015; WIGNALL & HALLAM, 1992; WIGNALL & TWITCHET, 2002). Prisutnost ovakvih piritnih formi često je interpretirana kao dokaz disoksičnih ili potpuno anoksičnih uvjeta. Disoksični okoliši ne podržavaju, ili barem umanjuju mogućnost nastanka i održavanja života živih organizama. Obzirom da je vrijeme nakon permo-trijaskog izumiranja bilo izrazito "beživotno" moguće je pretpostaviti da je do izumiranja došlo zbog anoksije u morima.

Međutim, u dolomitnom litofacijesu profila Plavno ipak je zabilježena prisutnost organizama (ostrakodi, foraminifere, školjke). Njihovi ostaci su rijetki no mora se pretpostaviti da je dio njih uništen tijekom intenzivne dijageneze. Iako nije ustanovljena izrazito brojna fosilna zajednica ipak, prisustvo fosilnih ostataka ukazuje da je okoliš gdje su živjeli imao dovoljno kisika. O dovoljnoj aeriranosti okoliša svjedoči i prisutnost ooida koji nastaju u uvjetima pokretljive vode. U oksičnom okolišu teško je objasniti tako često prisustvo pirita, naročito sitnog framboidnog pirita (< 20 μm).

Morfološke karakteristike pirita opisane u uzorcima dolomitnog litofacijesa profila Plavno su različite. Prisutan je pirit u formi a) kao ispuna ljušturica ostrakoda, b) krupnih framboida >20 µm i c) sitnih framboida <20 µm .

Pirit prisutan kao ispuna ljušturica ostrakoda svjedoči o lokalno prisutnim reduktivnim uvjetima nastalim truljenjem organske tvari u unutrašnjosti ljušturice. U takvim se uvjetima može pretpostaviti redukcija željeza, postanak H_2S i konačno postanak pirita (TIŠLJAR, 2001).

Krupni framboidni pirit >20 µm vezan je za ranodijagenetske procese u sedimentu na samoj granici sediment-voda. Na granici sediment-voda sav kisik može biti potrošen prilikom razgradnje organske tvari bakterijama kojom se organska tvar pretvara u CO_2. U primarnoj bakterijskoj reakciji oksidacije organske tvari potroši se sav kisik pa plitko ispod neposrednog kontakta sediment-voda (nekoliko centimetara) nema više dostupnog kisika. To prisiljava bakterije da počnu trošiti kisik iz sulfatnog iona i nastaje sumporovodik (H_2S). Tako su u sedimentu svega nekoliko centimetara ispod površine mogući anoksični uvjeti u kojima može nastati pirit (BERNER, 1983). Piriti u sedimentu mogu odgovarati formi framboidnog pirita, ali su njihove dimenzije obično nekoliko desetaka mikrometara. Prema tome, krupni pirit opisan u dolomitu može se objasniti genezom u sedimentu i ne nužno postojanjem anoksičnih uvjeta. Za ovakav postanak pirita potrebna je organska tvar, odnosno njezina razgradnja, pa se pretpostavlja da su u okolišu ipak bili prisutni organizmi čije je tkivo po ugibanju bilo razgrađivano.

Prisutnost sitnih framboida pirita <20 µm je najinteresantnija pojava u istraženim uzorcima. Framboidni pirit ovih dimenzija veže se za proces nukleacije u stupcu vode pri anoksičnim uvjetima okoliša. Njegova pojava u dolomitima je problematična ako se zna da su u dolomitu pronađeni i ostaci organizama te ooidi koji ukazuju na oksične uvjete plitke epikontinentalne rampe.

Najvjerojatniji mehanizam nastanka framboidnog pirita malih dimenzija i njegovog pronalaska u plitkomorskim okolišima dolomitnog litofacijesa može se poistovjetiti s modelom koji je predložio KERSHAW (2015) – slika 2-2. Autor prikazuje nastanak sitnih framboidnih pirita u recentnom okolišu Crnog mora, gdje zbog ograničenog vertikalnog miješanja morske vode dolazi do stvaranja anoksičnih uvjeta u dubljim dijelovima. Samo gornji sloj morske vode je dobro opskrbljen kisikom i pogodan za održavanje života organizama, dok se u donjem dijelu, ispod određene dubine mogu stvarati framboidni piriti u anoksičnim uvjetima.

Sitni nukleusi pirita mogu se tu ponekad vezati i za čestice organske tvari te postupno padaju na dno. Akumuliraju su u formi framboidnih čestica < 20 µm na površini sedimenta.

Prisutnost tako sitnih framboida u oksičnim facijesima šelfa, KERSHAW (2015) tumači procesima horizontalnog strujanja uslijed oluja. Nakon nastanka framboida, a prije njihova zalijeganja na dno dubokog mora, oni mogu biti olujnim strujama odneseni na šelf. Pojava sitnih framboida u facijesima plitkih dijelovima šelfa može biti i rezultat povremenog uzdizanja anoksične vode (*upwelling*) dubljeg dijela mora/oceana čime mogu biti zahvaćeni i sitni framboidi koji su onda ponovno „naplavljeni“ u plitki šelf olujnim procesima. U slučaju da je rata sedimentacije dovoljno velika i da framboidi budu dovoljno brzo zatrpani, moguća je njihova očuvanost nakon što su doneseni u oksične sredine plitkog šelfa. Prisustvo sitnih framboida pirita u plitkom okolišu dolomitnog litofacijesa profila Plavno mogao bi biti tumačeno upravo na opisani način (KERSHAW, 2015).

U primjeni ove koncepcije pri interpretaciji prisustva sitnog framboidnog pirita u dolomitnim litofacijesu profila Plavno nije, međutim, jasno gdje postoji anoksičan morski prostor za nukleaciju sitnih framboida pirita. U Crnom moru gdje postoji jasna stratifikacija vodenog stupca, to je potpuno jasno. Moguće je da u uvjetima taloženja u distalnom dijelu epikontinentalne rampe ispod osnovice valova lijepa vremena, povremeno egzistiraju anoksični uvjeti u kojima bi bila moguća nukleacija pirita. Uz pretpostavljeno djelovanje oluja u tom prostoru, sitni framboidi pirita su također mogli biti transportirani u najplići, proksimalni dio epikontinentalne rampe, te su očuvani u dolomitnom litofacijesu.

7. POPIS LITERATURE

ALJINOVIĆ, D.; HORACEK, M.; KRYSTYN, L.; RICHOZ, S.; KOLAR-JURKOVŠEK , T.; SMIRČIĆ, D.; JURKOVŠEK, B. (pripremljeno za tisak): Early Triassic epeiric ramp setting in the central Dinarides (Croatia).

ALJINOVIĆ, D., ISOZAKI, Y. & SREMAC, J. (2008): The occurrence of giant bivalve Alatoconchidae from the Yabeina zone (Upper Guadalupian, Permian) in European Tethys. *Gondwana Research* 13; 275-287.

ALJINOVIĆ, D. & VRKLJAN, M. (2002): "Gutter cast" tekstura kao mogući korelacijski marker – primjer donjotrijaskih sedimenata profila Plavno i Strmica (Hrvatska i Bosna i Hercegovina) *Zbornik Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta*. Vol 14, str 1-10.

BERNER, R. A. (1983): Sedimentary pyrite formation: An update*
Geochimica et Cosmochimica Acta Vol. 48. p. 605-615.

BURCHETTE, T.P. & WRIGHT, V.P. (1992): Carbonate ramps depositional systems. *Sedimentary Geology,* Vol. 79, p. 3-57.

ERWIN, D.H., (1993.): The Great Paleozoic Crisis: Life and Death in the Permian. *Columbia University Press, New York.*

GRIMANI, I., ŠIKIĆ, K.; ŠIMUNIĆ, An. (1972): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000 list Knin, *Savezni geol. zavod Beograd.*

GRIMANI, I., JURIŠA, K., ŠIKIĆ, K.; ŠIMUNIĆ, An. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000 Tumač za list Knin, *Savezni geol. zavod Beograd,* 61 str.

HERAK, M. (1973): Some tectonical problems of the evaporitic area in the Dinarides of Croatia. *Geol vjesnik,* 26, 29-40.

IRWIN, M.L. (1965): General theory of epeiric clear water sedimentation. *AAPG Bull.,* 49, 445-459.

ISOZAKI, Y., & ALJINOVIĆ, D., (2009): End-Guadalupian extinction of the Permian gigantic bivalve Alatoconchidae: End of gigantism in tropical seas by cooling. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*. 284, 1-2; 11-21.

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, 1-4, 1-18.

KERSHAW, S.,GUO, L., SWIFT, A. & FAN, J. (2002): Microbialites in the Permian-Triassic boundary interval in central China: Structure, age and distribution. *Facies,*47, 83-89.

KERSHAW, S. (2015): Modern Black Sea oceanography applied to the end-permian extinction event. *Journal od Paleogeography 4(1), 000-000 Biopaleogeography and paleoecology.*

LUKASIK, J.J., JAMES, N.P., McGOWRAN, B. & BONE, Y., (2000): An epeiric ramp: low-energy, cool-water carbonate facies in a Tertiary inland sea, Murray Basin, South Australia. *Sedimentology* 47 (4), 851-881.

PAYNE, J.L., LEHRMANN, D.J., WEI, J., & KNOLL, A.H., (2006): The pattern and timing of biotic recovery from the end-Permian extinction on the Great Bank of Guizhou, Guizhou Province, China: PALAIOS, V. 21, p. 63–85.

RAUP, D.M., 1991. Extinction; Bad Genes or Bad Luck? W.W. Norton and Co, New York.

SEPKOSKI, J.J.Jr., (1990): The taxonomic structure of periodic extinction. In : SHARPTON, V.L. & WARD, P.D., (eds.), Global catastrophes in Earth History. *Geological Society of America Special paper* V.247, p.33-44.

SCHOONEN, M.A.A., (2004): Mechanisms of sedimentary pyrite formation, *Geological Society of America, Special Paper* 379.

SUDAR, M., CHEN, Y., KOLAR-JURKOVŠEK, T., JURKOVŠEK, B., JOVANOVIĆ, D., FOREL, M.-B. (2014): Lower Triassic (Olenekian) microfauna from Jadar Block (Gučevo Mt., NW Serbia), *Geološki anali Balkanskog poluostrva,* 75, 1-15.

ŠĆAVNIČAR, B. (1973): Casts of salt crystals in clastic rocks in the environs of Vrlika and Knin (Dalmatia). *Geol. vjesnik,* 26, 155-157, Zagreb.

TERRY, R.D. & CHILINGAR, G.U. (1965): Summary of "Concerning some additional aids in studying sedimentary formations". U: SHVETSOV, M.S. (ed.): *Journal of Sediment. Petrol.,* 25, 229-234.

TIŠLJAR, J. (1992): Origin and depositional environments of the cvaporite and carbonate complex (Upper Permian) from the central part of the Dinarides (Southern Croatia and Western Bosnia), *Geol. Croatica,* 45, 115-127 str.

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

TUCKER, M. E. (2008): Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks, *Blackwell Publishing company, Blackwell science,* p. 251.

TWITCHETT, R.J. (2006): The palaeoclimatology, palaeoecology and palaeoenvironmental analysis of mass extinction events, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* 232, 190-213.

WIGNALL, P.B. & HALLAM, A., (1992): Anoxia as a cause of the Permian-Triassic mass extinction: facies evidence from northern Italy and the western United States. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology,* 93, 21-46.

WIGNALL, P.B. & TWITCHETT R.J., (2002): Extent, duration and nature od the Permian-Triassi superanoxic event. In Koeberl, C., MacLeod, K.G. (Eds), *Catastrophic Events Mass Extinctions: Impacts and Beyond, GSA Special Paper,* Vol. 356, pp. 395-413.

YIN, H., FENG, Q., LAI, X., BAUD A. & TONG J., (2007): The protracted Permo-Triassic crisis and multi-episode extinction around the Permian–Triassic boundary. *Global and Planetary Change* 55 (1-3), 1-20.

ŽIVKOVIĆ D. (2011): Sedimentološke karakteristike slijeda naslaga donjeg Trijasa na lokalitetu Plavno/Diplomski rad, Zagreb*:Rudarsko-geološko-naftni fakultet* 24.11.2011. 37 str.