

# Mikrostrukturne karakteristike permo-trijaskih mikrobijalnih karbonatnih naslaga

---

**Brković, Luka**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:310336>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-15**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Studij geologije

**MIKROSTRUKTURNE KARAKTERISTIKE PERMO-TRIJASKIH  
MIKROBIJALNIH KARBONATNIH NASLAGA**

Diplomski rad

Luka Brković

G 214

Zagreb, 2017

MIKROSTRUKTURNE KARAKTERISTIKE PERMO-TRIJASKIH MIKROBIJALNIH  
KARBONATNIH NASLAGA

LUKA BRKOVIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološki-naftni fakultet

Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine

Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

SAŽETAK

U radu su istraženi mikrostrukturni elementi vapnenaca na granici perma i trijasa s lokaliteta Idrijca i Masore u Sloveniji koji dokazuju njihovo mikrobijalno porijeklo. Permo-trijaski mikrobijalni vapnenci iz Slovenije uspoređeni su sa sličnim permo-trijaskim naslagama iz Kine i Mađarske jer su sva tri područja bila rubni dijelovi Paleotethysa s taloženjem u okolišima plitkog mora. Nakon permskog masovnog izumiranja dolazi do razvoja mikrobnih zajednica i nastajanja mikrobijalnih karbonatnih taloga uzrokovanih super-saturacijom kalcijevim karbonatom zbog uzdizanja kalcijem bogatih, anoksičnih dubokomorskih voda. U mikrobijalnim talozima Slovenije, Kine i Mađarske zabilježeni su slični mikrostrukturni elementi koji ukazuju na njihovo mikrobijalno porijeklo: **sferični oblici i njihove nakupine, grmoliki agregati mikritnih grudica, izdužene mikrobijalne niti i peloidi**. Sferični oblici su definirani kao ostatci kalcificiranih kokoidnih mikroba. Mikrobijalne niti predstavljaju nitasti oblik mikroba. Grmoliki agregati mikritnih grudica imaju također mikrobijalno porijeklo. Adachi et al. (2004) interpretiraju mikrobijalno porijeklo nekih peloida. Osim navedenih mikrostrukturnih elemenata Kershaw et al. (1999) su u kineskim permotrijaskim naslagama zabilježili pojavu **mikrosfera** - sferičnih karbonatnih detritičnih čestica obavijenih tamnim mikritnim rubom. Iako je po obliku nekih mikrosfera vidljivo da one vuku porijeklo od fosila (ostrakoda), pojave mikrosfera zajedno s izduženim mikrobijalnim nitima u uzorcima iz Idrijce ukazuje da bi njihovo porijeklo barem djelomično moglo biti mikrobijalno.

Ključne riječi: perm, trijas, mikrobijaliti, Idrijca, Masore, mikrosfere, kokoidi, peloidi, PT granica

Diplomski rad sadrži: 41 stranicu, 21 sliku i 10 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Voditelj: Prof. Dr. sc. Dunja Aljinović

Ocjenjivači: Prof. Dr. sc. Dunja Aljinović

Doc Dr. sc. Uroš Barudžija

Prof. Dr. sc. Frankica Kapor

Datum obrane: 19. svibnja 2017.

University of Zagreb

Master's Geology Thesis

Faculty of Mining, Geology

and Petroleum Engineering

LUKA BRKOVIĆ

Thesis completed at : University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Department of Mineralogy, Petrology and Mineral Deposits,

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

Microstructural elements of Permian-Triassic boundary limestones from localities Idrijca and Masore in northwestern Slovenia are investigated. These microstructural elements prove microbial origin of investigated limestones. Permian-Triassic microbial limestones from Slovenia are compared with similar deposits from China and Hungary of the same age. Localities in Slovenia, as well as in Hungary and China, represent marginal parts of Paleotethys with sedimentation on carbonate platforms and ramps. After end-Permian mass extinction, microbial communities dominated and formed carbonate microbial crusts. Microbial carbonate crust precipitation was driven by Ca-bicarbonate rich (sometimes anoxic) waters that upwelled from the deep ocean and enhanced calcium carbonate precipitation in the shallow part of the ocean, on the shelf. In microbial precipitates, microstructural elements that prove that microbial origin are differentiated as: **spheres and sphere clusters, bushy aggregates of micrite clots, prostrate micrite threads and peloids**. Spheres represent remains of calcified coccoidal cyanobacteria. Elongate microstructures are defined as prostrate micrite threads. Bushy aggregates of micrite clots also has microbial origin. Adachi et al. (2004) explained microbial origin of some peloids. Beside those four elements, Kershaw et al. (1999) noted **microspheres** - spherical carbonate depositional objects with dark micrite rim and sparitic nuclei. He interpreted that some microspheres originated from the fossils (mainly ostracods), but in this investigation in some samples from Idrijca it is proved that microspheres are detrital objects and that they can be at least partly formed by microbes.

Keywords: Permian, Triassic, Idrijca, Masore, microspheres, coccoids, peloids, PT boundary

Thesis contains: 41 pages, 21 figures, 10 references

Original in: Croatian

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

Supervisor: Full Professor Dunja Aljinović, PhD

Reviewers: Full Professor Dunja Aljinović, PhD

Assistant Professor Uroš Barudžija, PhD

Full Professor Frankica Kapor, PhD

Date of defence: May 19, 2017

## Sadržaj

|  |    |
|--|----|
| 1. UVOD .....  | 1  |
| 2. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....                              | 2  |
| 3. METODE ISTRAŽIVANJA.....  | 6  |
| 4. OSNOVNE KARAKTERISTIKE MIKROBIJALNE SEDIMENTACIJE .....                         | 7  |
| 5. REZULTATI I RASPRAVA MIKROPETROGRAFSKE ANALIZE MIKROBIJALNIH<br>SEDIMENATA..... | 25 |
| 6. ZALJUČAK.....   | 38 |
| 7. LITERATURA .....  | 40 |

## Popis slika

|   |    |
|---|----|
| Slika 2.1 Fotografija istraživanog područja Masore i Idrijca u sjeverozapadnoj Sloveniji.. .....                    | 2  |
| Slika 2.2 Litološki slijed Idrijca na prijelazu iz perma u trijas s odgovarajućim makrofotografijama izdanaka. .... | 3  |
| Slika 2.3 Litološki slijed Masore.....  | 5  |
| Slika 4.1 Litološki stup permo-trijaskih naslaga s planine Bükk u Mađarskoj.....                                    | 9  |
| Slika 4.2 Najstariji sedimenti ranog trijasa iz južne Kine .....  | 16 |
| Slika 4.3 Struktura mikrobijalnih trombolita iz južne Kine. ....  | 18 |
| Slika 4.4 Podjela tipova peloida sačuvanih u mikro okolišima južnokineskih trombolita .....                         | 20 |
| Slika 4.5 Shema nastanka različitih vrsta peloida posredstvom bakterijske razgradnje . ....                         | 22 |
| Slika 4.6 Mikrofotografija sloja sa mikrosferama s lokaliteta Baizhuyuan u Kini . ....                              | 24 |
| Slika 5.1 Mikrofotografija uzorka ID-(-1) .....   | 26 |
| Slika 5.2 Mikrofotografija uzorka ID-3. ....  | 27 |
| Slika 5.3 Mikrofotografija uzorka T 4-9 . ....  | 29 |
| Slika 5.4 Mikrofotografija uzorka T 4-9 .....   | 29 |
| Slika 5.5 .Mikrofotografija uzorka T-1 Masore. ....   | 30 |
| Slika 5.6 Mikrofotografija uzorka ID-6 .....  | 31 |
| Slika 5.7 Mikrofotografija uzorka T 7-2 .....   | 33 |
| Slika 5.8 Mikrofotografija uzorka T 7-1 .....   | 34 |
| Slika 5.9 Mikrofotografija uzorka T 6-1. . ....   | 34 |
| Slika 5.10 Mikrofotografija uzorka ID-4 .....   | 35 |
| Slika 5.11 Mikrofotografija uzorka T 4-10 .....   | 36 |
| Slika 5.12 Mikrofotografija uzorka T 4-10 .....   | 36 |

## 1. UVOD

Rad se bavi proučavanjem mikropetrografskih karakteristika mikrobijalnih vapnenaca – najranijeg facijesa donjeg trijasa s lokaliteta Idrijca i Masore (Slovenija).

Mikrobijalni sedimenti predstavljaju specifični mikrofacijes čije se pojavljivanje interpretira posljedicom izumiranja ostalih vrsta beskralježnjaka krajem perma i smatra ga se tzv. anakronističkim facijesom (Kershaw et al., 1999). Mikrobijalni sedimenti vezani su uz taloženje posredstvom najjednostavnijih organizama – bakterija. Važni su u petrologiji sedimentnih stijena jer mogu biti značajni u nastajanju vapnenaca.

Mikrobijalno porijeklo taloga prepoznaje se po posebnim i specifičnim mikrostrukturnim osobinama. U literaturi su mikrostrukturne osobine ili oblici poznati i detaljno opisani u radovima Hips i Haas (2006), Adachi et al., (2011), Ezaki et al., Kershaw et al. (1999; 2002; 2012). Opisi mikrostrukturnih elemenata iz navedenih radova poslužili su za prepoznavanje mikrobijalnih sturuktura na primjerima donjotrijaskih mikrobijalnih naslaga (neposredno uz granicu perm-trijas) s lokaliteta Idrijca i Masore u Sloveniji.

Granica perm-trijas predstavlja u geološkoj povijesti dramatični vremenski interval kada je izumrlo 97% svih živih vrsta (Sepkoski, 1990).

Primjeri mikrostrukturnih elemenata kojima se dokazuje mikrobijalno porijeklo taloga detaljno su istraženi na prijelazu perma u trijas na lokalitetima Bükk u Mađarskoj (Hips & Haas, 2006.) te lokalitetima iste stratigrafske starosti u južnoj Kini (Adachi et al., 2004).

U nastavku teksta biti će navedene osnovne karakteristike mikrobijalita iz radova Hips i Haas (2006), Adachi et al.(2004.) i Kershaw et al. (2012).

## 2. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Mikrobijalni vapnenci su istraženi na lokalitetima Idrijca i Masore u Sloveniji (slika 2.1). Oba lokaliteta pripadaju tektonskoj jedinici Vanjskih Dinarida (slika 2.1).



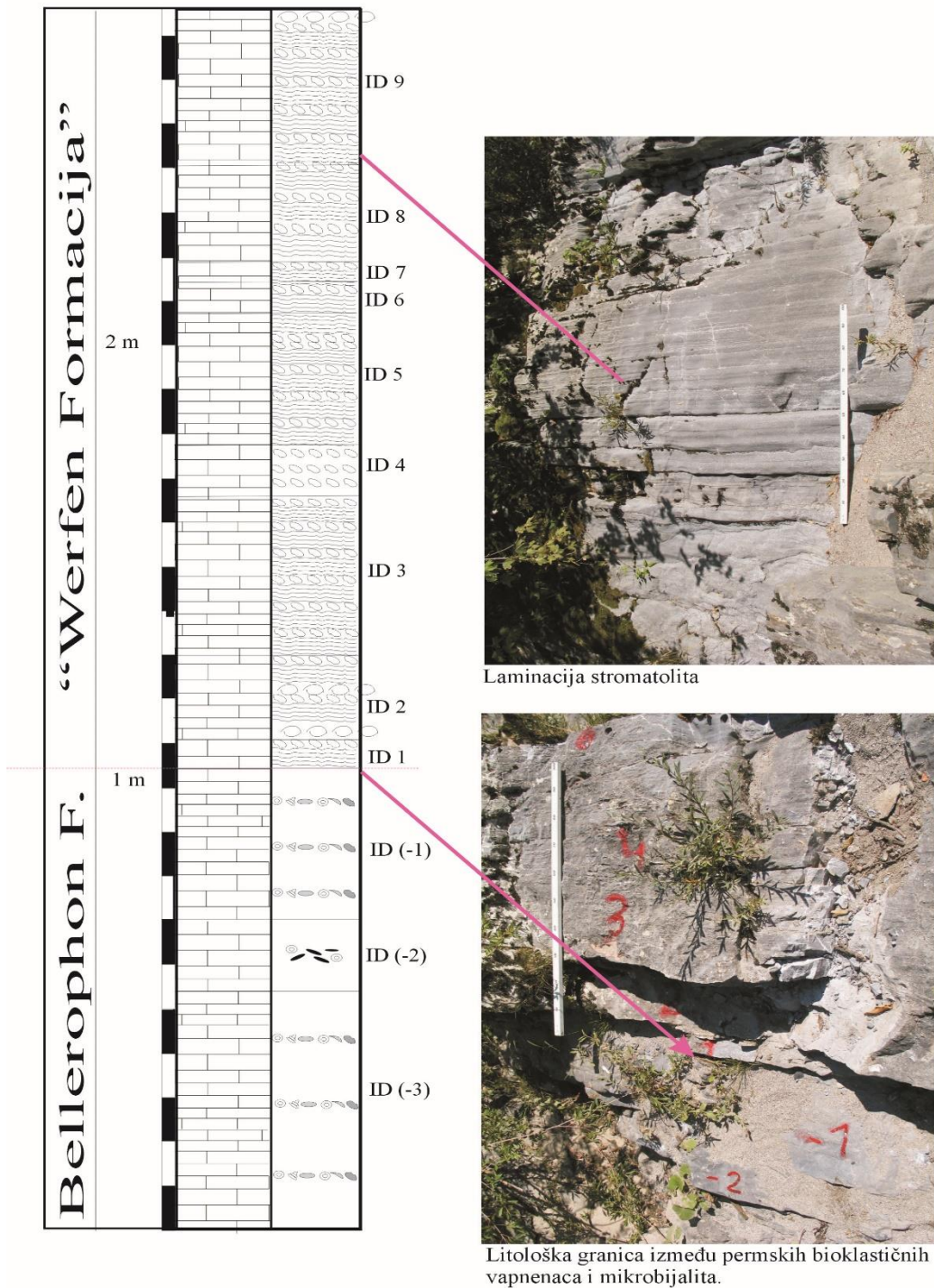
Slika 2.1 Fotografija istraživanog područja Masore i Idrijca u sjeverozapadnoj Sloveniji. Izvor Google Earth.

Na oba lokaliteta je utvrđeno kontinuirano taloženje na prelasku iz kasnog perma u rani trijas, te se zbog toga mikrobijalni vapnenci Idrijce i Masora mogu smatrati prijelaznim permotrijaskim naslagama.

U vrijeme taloženja, na prelasku iz perma u trijas, taložni okoliš je bio smješten na zapadnom rubu nekadašnjeg Paleothetysa.



## SLIJED IDRIJCA



Slika 2.2 Litološki slijed Idrijca na prijelazu iz perma u trijas sa odgovarajućim makrofotografijama izdanaka. Na gornjoj fotografiji se vide trijaski laminirani mikrobijaliti. Moguće je uočiti izmjenu tamnih i svijetlih lamina unutar stromatolita. Na donjoj fotografiji se vidi litološka granica između permskih bioklastičnih vapnenaca i mikrobijalita. Slojevi permskih bioklastičnih vapnenaca su označeni brojevima sa prefiksom (-)

Na lokalitetima **Masore i Idrijca** u Sloveniji na granici perma i trijasa zabilježene su pojave mikrobijalnih facijesa. Kod lokaliteta Lukač, gdje je također određena granica perma i trijasa, nema zabilježene mikrobijalne sedimentacije, nego tamo nalazimo plitke subtajdalne dolomite nastale u evaporitizacijskim uvjetima. Granica perma i trijasa na svim lokalitetima je utvrđena pojavom konodontne vrste *Hindeodus parvus* (Kolar-Jurkovšek et al., 2011, 2015. Nestel et al., 2011).

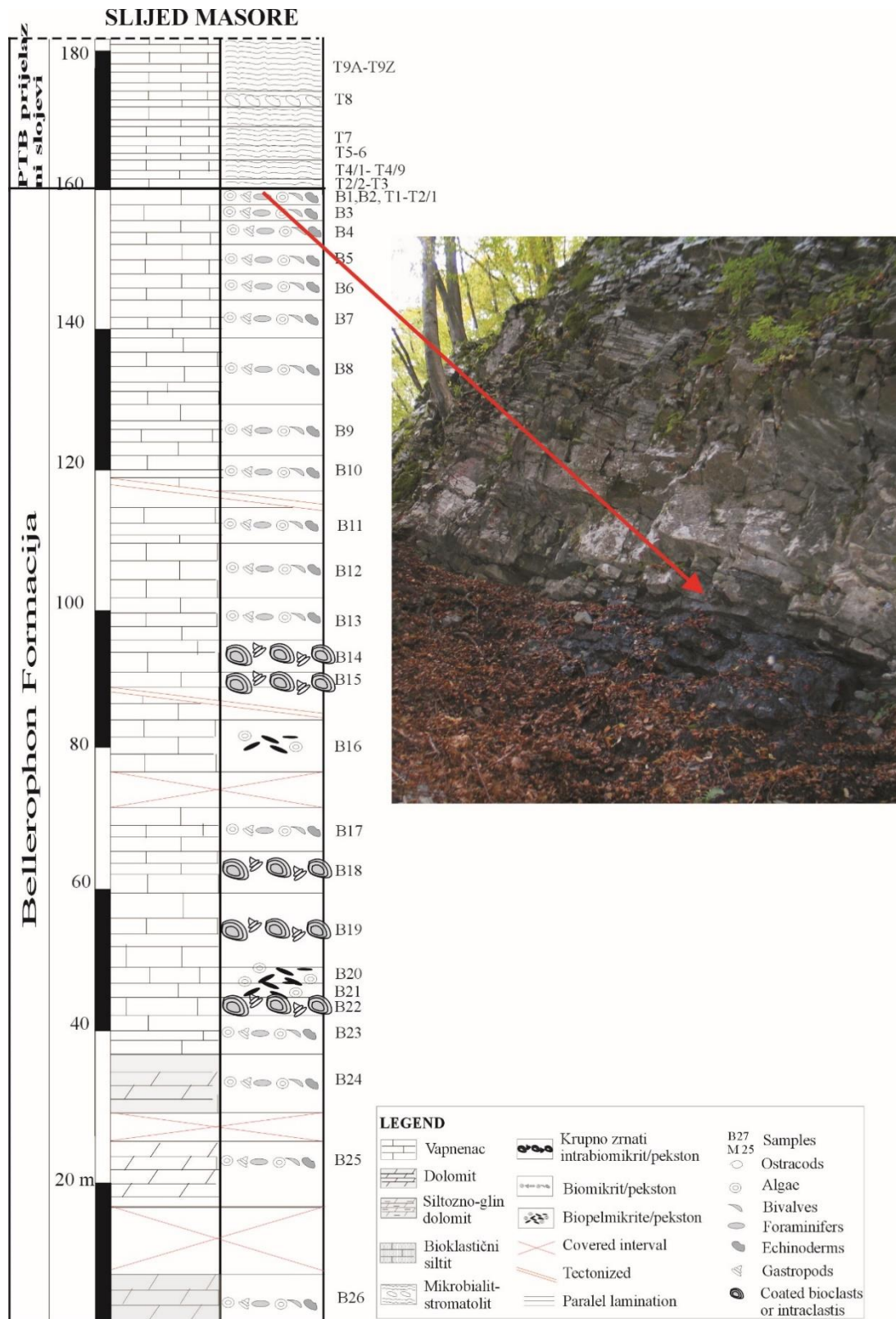
Mikrobijalni sedimenti na granici perma i trijasa lokaliteta **Masore i Idrijca** mogu biti opisani kao sivi tanko laminirani **stromatoliti** (slika 2.2 i 2.3). Mikrobijalni interval pripada formaciji Werfen taloženoj u ranom trijasu (slika 2.2). Glavna mikroteksturalna karakteristika mikrobijalnih vapnenaca je izmjena svijetlih i tamnih lamina. Za mikrobijalne vapnence se smatra se da su taloženi u srednjem dijelu karbonatne rampe.

Na lokalitetu **Idrijca** sivi mikrobijalni vapnenci leže na tamnim vapnencima Bellerophon formacije koji su taloženi u kasnom permu (slika 2.2). To su bioklastični vapnenci s bogatim sadržajem različitih vrsta algi, foraminifera, spužvi, školjkaša, briozoa, gastropoda, ostrakoda i konodonata.

Na lokalitetu **Masore** je gotovo identična stratigrafska situacija kao i na lokalitetu Idrijca: kasnopermske naslage su predstavljene vapnencima Bellerophon formacije. Osim vapnenaca unutar formacije nalazimo dolomite, bioklastične siltite i siltozno-glinovite dolomite (slika 2.3). Dolomiti su vjerojatno nastali evaporitizacijom za vrijeme suših razdoblja. Vapnenci su uglavnom pekstoni/biomikriti, no ima i biopelmikritnih pekstona, te pekstona s krupnim intraklastima (biomikritnog sastava slika 2.3). Neki vapnenci sadrže obavijene intraklaste i bioklaste. Od fosila u Bellerophon formaciji nalaze se alge, foraminifere, školjkaši, ježinci, ostrakodi i gastropod (slika 2.3). Neki dijelovi permskih naslaga na lokalitetu Masore su tektonizirani (slika 2.3). Na permske vapnence Bellerophon formacije naliježe permotrijaski prijelazni slojevi – tanko laminirani mikrobijalni stromatoliti (slika 2.3). Ukupna debljina prijelaznog intervala je oko 20 m.

Permotrijaske naslage s lokaliteta u Sloveniji mogu se usporediti s onima istraženim u Mađarskoj na području planine Bükk jer su na oba područja za vrijeme kasnog perma i ranog trijasa bili uspostavljeni okolišni uvjeti plitke rampe. Vapnenci Bellerophon formacije mogu se korelirati s vapnencima Nagyvisnyo formacije taloženim u kasnom permu na području planine Bükk koji su opisani kasnije u ovom radu. Vapnenci Werfen formacije odgovaraju donjotrijaskim vapnencima Gerennavar formacije koji su taloženi na vapnence Nagyvisnyo formacije na području planine Bükk. Najveća razlika u taloženju između sedimenata planine

Bükk i izdanaka Idrijca i Masore predstavlja pojava siltozno-laporovitog sloja debljine 1 m na početku taloženja Gerennavar vapnenaca, na samom prijelazu iz perma u trijas.



Slika 2.3 Litološki slijed Masore. Na njemu se vidi da su permo-trijaske naslage na tom lokalitetu dominantno crne, izgrađene najviše od vapnenaca i dolomita, bogati fosilima. Prijelazni slojevi su sivi mikrobijalni vapnenici stromatolitne građe. Na fotografiji se vide naslage koje predstavljaju samu granicu perma i trijasa.

### **3. METODE ISTRAŽIVANJA**

Od svih uzoraka prikupljenih na terenu načinjeni su mikropetrografski preparati. Uzorci su pripremljeni u laboratoriju za pripremu geoloških materijala na Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine RGN fakulteta te na Geološkom zavodu Slovenije Dimičeva 14, u Ljubljani. Na mikropetrografskim preparatima proveden je proces bojanja uzoraka upotrebom K-fericijanida i Alizarina crvenog S (Evamy (1963); Dickinson (1965)), kako bi se lakše razlikovali minerali dolomit i kalcit. Pri ovakvom postupku mineral kalcit biva obojan crveno, dok dolomit ostaje nebojan. Bojen je samo dio uzorka.

Mikropetrografski preparati su analizirani polarizacijskim mikroskopom Leica 020-522.101 DM/LSP. Ovakvim petrografskim istraživanjem prepoznati su minerali u uzorcima i determiniran je tip stijene te su analizirane karakteristične mikrostrukture koje ukazuju na mikrobijalno porijeklo vapnenačkih taloga. Uzorci vapnenaca određeni su prema Folku (1959).

#### 4. OSNOVNE KARAKTERISTIKE MIKROBIJALNE SEDIMENTACIJE

Primjeri mikrostrukturnih elemenata kojima se dokazuje mikrobijalno porijeklo taloga detaljno su istraženi na prijelazu iz perma u trijas na lokalitetima Bükk u Mađarskoj (Hips & Haas, 2006) te na lokalitetima iste stratigrafske starosti u južnoj Kini (Adachi et al., 2004).

U nastavku teksta biti će navedene osnovne karakteristike mikrobijalita iz radova Hips i Haas (2006), Adachi et al. (2004)

Na granici perma i trijasa, nakon masovnog permskog izumiranja, prisutna je karakteristična mikrobijalna sedimentacija na rubnim područjima nekadašnjeg Paleotethysa, najčešće u mirnim okolišima plitkog šelfa. Permo-trijaski mikrobijaliti otvorenog šelfa pojavljuju se u obliku **stromatolita, trombolita i masivnog mikrita** na područjima Turske, Armenije, Irana, Omana, Kine i Japana. U Njemačkoj, Mađarskoj, Poljskoj i sjevernoj Italiji zabilježene su pojave mikrobijalnih stromatolita u peritajdalnim karbonatima (Hips & Haas, 2006).

Mikrobijaliti često tvore slojeve ili nakupine na gornjopermskim grebenskim vapnencima (Kershaw et al., 2012). Stratigrafski raspon mikrobijalnih sedimenata je od gornjeg perma do donjeg trijasa, zbog čega ih Kershaw et al. (2012) nazivaju permo-trijaskim graničnim mikrobijalitetima (PTBM). Pojava mikrobijalnih taloga za vrijeme kasnog perma i ranog trijasa u plitkomorskim sedimentima izravna je posljedica permskog izumiranja, a tumači se nesmetanim razvojem mikroba zbog odsustva viših organizama (Hips & Haas, 2006; Kershaw et al., 2012).

Mnogi autori smatraju da je mikrobima posredovana precipitacija kalcijevog karbonata na granici perma i trijasa bila potaknuta degradacijom biote i promjenom u cirkulaciji vode u dubokooceanskim prostorima što se očituje kao uzdizanje (*upwelling*) dubokooceanskih niskooksičnih voda, bogatih bikarbonatima, prema i uzduž šelfa. Uzdizanjem takvih voda došlo je do supersaturacije kalcijevim karbonatom u vodama šelfa i do precipitacije karbonata u obliku permo-trijaskih graničnih mikrobijalita. Noviji podaci iz Turske, južne Kine, Omana i Mađarske ukazuju da uzdizanje vode samo djelomično objašnjava nastanak mikrobijalita. Raznolike pojave mikrobijalita na različitim lokalitetima i u različitim stratigrafskim jedinicama pokazuje da je njihov razvoj kontroliran također i lokalnim faktorima koji su djelovali u plitkom marinskom okolišu (Kershaw et al., 2012).

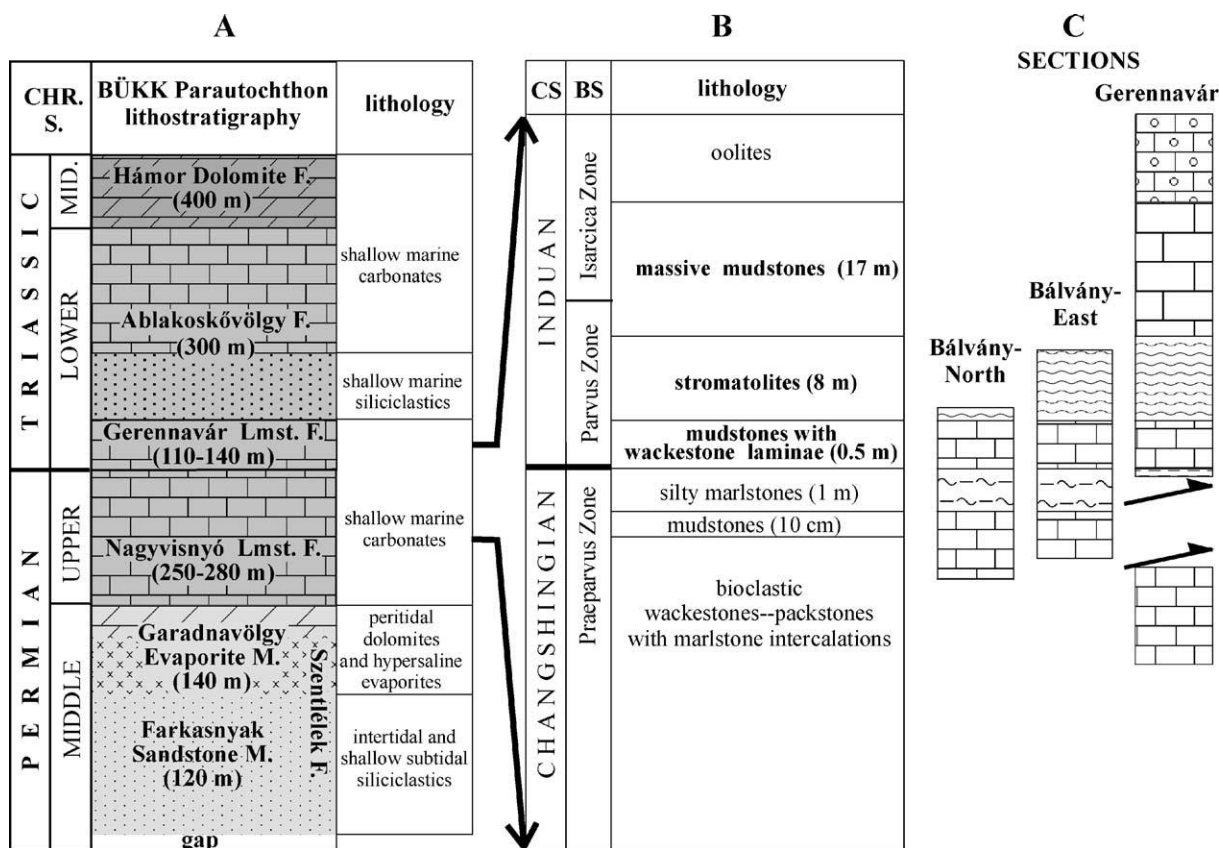
Za permo-trijaske mikrobijalite tipične su sekvence sastavljene uglavnom od stromatolita, trombolita i bioklastičnih vekstona. U Turskoj su pronađeni ooliti mikrobijalnog porijekla, dok se u južnoj Kini mikrobijaliti pojavljuju u obliku dendrolita i/ili razgranatih pojava mikrobijalnog kalcita (Kershaw et al., 2012). Isti autori su konstruktivne elemente permo-trijaskih mikrobijalita podijelili u tri morfološke grupe:

- Kalcificirani skeleti mikroba
- Mikrit nastao posredstvom mikroba koji se pojavljuje u obliku peloida, grozdastih agregata, slojeva i amorfnih struktura
- Anorganski ili moguće mikrobni kalcitni cement

Kershaw et al. (2012) također zabilježavaju pojavu neobičnih šupljih sferičnih oblika koje su interpretirali kao kalcificirane ostatke kokoidnih cijanobakterija. Zapažena je povezanost mikrobijalita s mikritnim sedimentima što ukazuje da mikrobijaliti nastaju samo u okolišima niske energije, ispod osnovice loma valova lijepog vremena. Mikrit između slojeva mikrobijalita obično sadrži skelete školjkaša i drugih organizama uključujući ostrakode, mikrogastropode, krinoide, foraminifere i konodonte. Prisutnost ovih organizama ukazuje da su oksidni uvjeti u ekosistemu bili uspostavljeni relativno brzo nakon izumiranja (Kershaw et al., 2012).

Hips i Haas (2006) su istraživali karbonate donjeg trijasa Gerennavar formacije na području planine Bükk u sjevernoj Mađarskoj (slika 4.1). U tim najstarijim trijaskim karbonatima pronađeni su intervali stromatolita s grudastim agregatima mikrita, mikritnim nitima, peloidima i nakupinama sitnih sferičnih oblika. Sferične oblike koji se obično pojavljuju u mikritnoj masi Hips i Haas (2006) smatraju produktom kalcifikacije kokoidnih cijanobakterija, jednako kao i Kershaw et al. (2012).

Karbonati Gerennavar formacije stratigrafski su taloženi iznad gornjopermskih karbonata Nagyvisnyo formacije (slika 4.1). Karbonati Nagyvisnyo formacije su tamni, debelo uslojeni vapnenci s proslojcima lapora i dolomita, bogati fosilima algi, foraminifera, ostrakoda, školjkaša, spužvi, nautiloida, briozoja, trilobita, konodonta, gastropoda i drugih organizama (Hips & Haas, 2006). U samom vrhu formacije, u dva tanka sloja madstona debela 10 cm, zabilježeno je opadanje udjela biogene komponente u sedimentu što su Hips i Haas (2006) interpretirali kao prvu degradaciju biote.



Slika 4.1 Litološki stup permo-trijaskih naslaga s planine Bükk u Mađarskoj iz rada Hips & Haas (2006). Na stupu A su prikazane naslage srednjeg i gornjeg perma, te donjeg i srednjeg trijasa. Na stupu se vide naslage plitkomorskih marinskih karbonata. Na stupu B se vide naslage u blizini granice perma i trijasa. U gornjem permu su bioklastični vekstoni i pekstoni s proslojcima lapora na koje naliježe sloj madstona. Na samom prijelazu iz perma u trijas je sloj siltoznog lapora, te madstoni sa proslojcima vekstona. Na madstone naliježe 8 metara mikrobijalnih stromatolita. Iznad mikrobijalita ponovno se talože madstoni, te na njih ooliti.

Na karbonate Nagyvisnyo formacije naliježe bazalni sloj Gerennavar formacije, siltozni lapor, debljine oko 1 m, koji sadrži najmlađe ostatke permskih školjkaša i brahiopoda (slika 4.1). U gornjoj trećini sloja, izostanak makrofosila i bioklasta veličine pijeska i silta ukazuje na drugu degradaciju biote (Hips & Haas, 2006). Unutar ovog sloja krivulja izotopa ugljika je izrazito negativna, te on služi kao stratigrafski marker i unutar njega se može pozicionirati granica perm-trijas (Hips & Haas, 2006). Granica perm-trijas se po dogovoru definira pojavom konodontne vrste *Hindeodus parvus* (Kozur & Piatakova) koji je pronađen 14 m iznad donje granice Gerennavar formacije (hips & Haas, 2006).

U donjem dijelu Gerennavar formacije prepoznata su tri različita mikrofacijsa: madstoni s laminama vekstona, intervali stromatolitnih boundstona debelih do 8 m i masivni madstoni (Hips & Haas, 2006).

Madstoni s laminama vekstona direktno se stratigrafski nastavljaju na siltozno-laporoviti sloj (u bazi Gerennavar formacije). Ovi tamnosivi, tanko slojeviti madstoni sadrže mikrofosile foraminifera i ostrakoda, fragmente algi i brahiopoda, te zrna kvarca i tinjaca veličine pijeska (Hips & Haas, 2006). Vidljivi su tragovi bioturbacije kao tragovi ukopavanja organizama, što ukazuje na ukopavanje u nelitificirani sediment. Bioturbirani dijelovi su dolomitizirani. Madstoni su taloženi u niskoenergijskom okolišu s time da je sitni biodetritus u proslojcima vekstona pretaložen za olujna vremena ispod osnovice vala olujna vremena (hips & Haas, 2006). Većina bioklasta su prerađeni fragmenti permskih organizama. Između olujnih razdoblja bentička je fauna prerađivala nataložene sedimente (Hips & Haas, 2006).

Iznad madstona se pojavljuju horizontalno slojeviti mikrobijalni karbonati - **stromatoliti** debljine do oko 8 m. Stromatolitni interval može se podijeliti u dva dijela, u donjem dijelu slojevi su tanko uslojeni i laminirani, dok su u gornjih 3,7 m debelo slojeviti, a prema gore u slijedu se postupno gubi laminacija (Hips & Haas, 2006). Laminacija se najbolje vidi izmjenom crnih i tamnosivih lamina u donjem dijelu intervala. Stromatolitne mikrostrukture su predstavljene tamnim masivnim ili grudastim mikritom i svjetlijim sitnim kristalastim detričnim talogom (Hips & Haas, 2006). Kristalasti detrični talog te mikritne/mikrobijalne lamine zajedno tvore parove svijetlih i tamnih lamina ili detrični karbonati zapunjavaju prostor između gustog mikrita. (Hips & Haas, 2006).

Neke mikritne lamine sadrže kompleksne mikrostrukturne elemente koji su definirani kao sintaložno kalcificirani mikrobijalni ostaci. Deblje lamine detričnih karbonata mogu sadržavati prerađene fragmente mikrobijalnih lamina kao na primjer plosnate fragmente madstona, ostatke ljuštura obložene mikritom i sferična zrna s mikritnim ovojnica (hips & Haas, 2006). Ovakvi karbonati su nastali u relativno niskoenergijskom okolišu koji je omogućavao nakupljanje mikrita, u djelovima dublje rampe, prema otvorenom moru. Sitni detritus u laminama detričnih karbonata je najvjerojatnije transportiran slabim pridnenim strujama nastalim za olujna vremena (Hips & Haas, 2006).

Na stromatolite naliježe 17 m debeli interval slojevitih masivnih madstona, koji uglavnom ne sadrže fosile, osim jedne lamine sa fragmentima ostrakoda. U donjem dijelu intervala prisutan je detrični materijal veličine silta vjerojatno bioklastičnog porijekla (Hips & Haas, 2006). Na madstone naliježe debela jedinica oolitnih pekstona i grejnstona. Madstoni su taloženi u niskoenergijskom okolišu, ispod osnovice valova lijepog vremena. Lamina s ostrakodama je interpretirana kao distalni tempestit u kojem su bioklasi prerađeni za vrijeme oluje (Hips &



Haas, 2006). Oolitni pekstoni i grejnstoni koji slijede iznad madstona ukazuju na oplićavanje okoliša i uspostavljaju uvjeta visokoenergijskih subtajdalnih plićaka (Hips & Haas, 2006).

Na temelju mikroskopskih karakteristika mikrostrukturnih elemenata u gustim mikritnim laminama stromatonitne jedinice, Hips i Haas (2006) su razlučili četiri različita mikrostrukturna elementa:

**-sferične oblike i njihove nakupine**

**-grmolike agregate mikritnih grudica**

**-izdužene mikrobijalne niti i**

**- peloide.**

Hips i Haas (2006) ove mikrostrukturne elemente smatraju dokazom mikrobijalnog porijekla stromatolitne jedinice.

Mikrostrukturni elementi su obično sačuvani i vide se u tamnim laminama izgrađenim od gustog mikrita (Hips & Haas, 2006.). Mikritne lamine, osim bioklasta, sadrže i relativno velike kristale sparitnog kalcita i romboedarske kristale dolomita. Sparitna zrna mogu imati oštre ili difuzne granice što ukazuje da su nastala na dva različita načina: dijagenetskom alteracijom skeletnih fragmenata veličine pijeska (oštre granice) i otapanjem ili izdvajanjem u sekundarnim šupljinama koje su bile ispunjene sparitnim cementom (Hips & Haas, 2006).

**Nakupine sferičnih oblika** pojavljuju se u gustom mikritnom matriksu. Svaka je veličine 30-40  $\mu\text{m}$ . Sferični mikroelementi se sastoje od mikrosparitne koncentrične jezgre srodne mikrokristalinskoj masi koja je obložena tankom mikritnom ovojnicom. Mikritna ovojnica je negdje slabo vidljiva u tamnoj mikritnoj masi, a negdje je asimetrična i daje sferama nepravilan oblik. Sfere s mikritnim ovojnica se smatraju kalcificiranim kokolitnim mikrobnim ostacima sačuvanim uslijed rano dijagenetske mineralizacije (Hips & Haas, 2006). Sfere često prianjaju jedna na drugu tvoreći grozdaste nakupine u mikritnoj masi, ali se mogu naći i kao izdvojena samostalna zrna unutar detričnih lamina (Hips & Haas, 2006).

U mikritnim laminama česti su **grmoliki agregati mikritnih grudica**, visoki oko 2 mm i širi pri svome vrhu, izgrađeni od sferičnih i nepravilnih mikritnih grudica promjera između 50 i 200  $\mu\text{m}$ . Sferične grudice se često grupiraju u veće, nepravilnije čvorove koji opkoračuju okvire međuprostornih praznina ispunjenih mikrosparitom ili sparitom. Za mikritne grudice se

također smatra da su rano kalcificirani mikrobijalni ostaci, moguće nastali kalcifikacijom kalcimikroba vrste *Augusticellularia* (Hips & Haas, 2006). Mikritne grudice osim u grmolikim agregatima negdje se javljaju kao samostalni mikroelementi - peloidi koji su nastali odvajanjem mikritnih čvorova za vrijeme djelovanja slabih struja. Takve grudice su nastale ispiranjem mikrita iz kavernoznih struktura koje su kasnije ispunjene sparitom. U prilog ovoj teoriji idu sličnost veličine i oblika pukotina ispunjenih sparitom i peloida u laminama iznad njih.

Paralelno površini lamina protežu se svežnjevi duljih i kraćih boranih **mikritnih niti**. Najčešće se nalaze u mikritnim laminama zajedno sa mikritnim grudicama, ali u gornjem dijelu stromatolitne jedinice karakteristične su ispućane mikritne niti koje se pojavljuju zajedno s mikritnim grudicama u detritičnoj kristalinskoj masi. Hips i Haas (2006) pretpostavljaju da izdužene mikritne odgovaraju nitastim mikrobima.

Ponekad lamine sadrže **peloide** različitih veličina i oblika. To su zasebna zrna oštih granica, promjera između 100 i 500  $\mu\text{m}$ , od kojih mnogi imaju vanjski dio izgrađen od mikrita koji prelazi u mikrosparit prema unutarnjem dijelu peloida (Hips & Haas, 2006). Hips i Haas smatraju da se peloidi sastoje od nakupina sferičnih oblika mikrobijalnog porijekla djelomično sačuvanih kalcifikacijom (obloženih mikritnim ovojnica) jer se ponekad unutar peloida ti oblici vide. Peloidi su dalje prerađivani pa imaju i vanjsku ovojnicu te su po svom postanku slični mikroonkoidima. U mikritnom matriksu iznad mikrobijalnih kora ili lamina s grudastim mikritom nalaze se izduženi ili sferični peloidi bez vidljive unutarnje strukture. Dužom osi su paralelni površini lamina i njihov oblik i veličina se može usporediti sa šupljinama nastalim ispod litificirane vršne površine mikrobijalne kore na koju naliježu (Hips & Haas, 2006). To sugerira da su ovakvi peloidi nastali izdvajanjem iz mikrobijalne kore za vrijeme djelovanja struja i daljnjom preradom mikrobijalnih fragmenata (Hips & Haas, 2006)

Istraživanjem naslaga permotrijaskih stromatolita u Mađarskoj zabilježene su različite varijacije mikrostruktura. Iako se većina lamina stromatolita uglavnom sastoji od masivnog mikrita, brojni su drugačiji mikrostrukturni elementi (Hips & Haas, 2006). Jedna od posebnih formi su nakupine sferičnih oblika u kriptoklistalnoj masi za koje se smatra da su nastale brzom kalcifikacijom kokoidnih cijanobakterija. Mikritna ovojnica vjerojatno predstavlja kalcificirane izvan stanične polimerske sekrete (EPS), a sama sfera može predstavljati praznu želatinoznu ovojnicu koja je okruživala stanice (Hips & Haas, 2006).

Mikrotekstura stromatolita je okarakterizirana izmjenom lamina kalcificiranih mikrobijalnih ostataka sa laminama kristalastih detritičnih karbonata. Ovisno o količini donešenog detritičnog materijala mogu se razviti različiti mikroteksturni obrasci. Prekidi u donosu i taloženju detritičnog materijala omogućavaju razvoj mikrobijalne zajednice, dok taloženje detritičnih karbonata sprječava/prekida njihov razvoj (Hips & Haas, 2006.). Za vrijeme dužeg izostanka sedimentacije detritičnog karbonata mikrobijalni bio filmovi postaju prostrane prevlake. Prema ovome Haas i Hips su razlučili dva osnovna tipa mikroteksture stromatolita.

Za prvi tip mikroteksture karakteristična je izmjena lamina mikrobijalnog porijekla sa pripadajućim laminama izgrađenim od detritičnog karbonatnog materijala koja odražava privremene oscilacije u donosu sedimenata. U donjem dijelu stromatolitne jedinice, debljine lamina detritičnih karbonata povećavaju se postupno prema gore (Hips & Haas, 2006). Na početku gornjeg dijela stromatolitne jedinice prevladavaju mikrobijalne lamine, dok u najgornjem dijelu dominiraju lamine detritičnog kristalastog karbonata. U nekim intervalima male nakupine mikritnih grudica ili izdužene mikritne niti izmjenjuju se sa tankim laminama detritičnih karbonata što sugerira da razvoj mikrobijalne kore nije uvijek bio sasvim prekinut donosom sedimenata (Hips & Haas, 2006). Rascjepi i šupljine na mikrobnj koru ukazuju na periode pojačanih struja koje su degradirale kalcificiranu mikrobnu koru i uzrokovale odvajanje dijelova kore (Hips & Haas, 2006). Razvijene grudaste nakupine mikrobijalnog mikrita na početku gornjeg dijela stromatolitne jedinice ukazuju na duže periode niskog donosa detritičnog materijala (Hips & Haas, 2006).

U drugom tipu mikroteksture vidljivi su različiti mikrostrukturni elementi unutar lamina kalcificiranih mikroba. U prvom podtipu ove mikroteksture dobro očuvane kriptokristalaste komponente postepeno gube svoje mikroteksturane karakteristike i prelaze u nedefiniranu mikritnu ili mikrosparitnu masu. Takva mikrotekstura sugerira promjene u načinu kalcifikacije (Hips & Haas, 2006). Drugi podtip je čest u slučaju nakupina sferičnih oblika koji tvore tanke, isprekidane lamine ispod lamina masivnog mikrita. Masivni mikrit je mikropetrografski manje taman što ukazuje na manje gustu nukleaciju i veće kristale. Ovaj tip mikroteksturane sekvence sugerira promjene ili u kalcifikaciji ili u mikrobnj populaciji (Hips & Haas, 2006.)

Pridnene olujne struje transportirale su sitni karbonatni materijal, čiji donos je ograničavao razvoj mikrobijalnog pokrova i formiranje stromatolita. Oscilacije u donosu sedimenata vidljive su izmjenom mikrobijalnih i detritičnih lamina, te je mikrotekstura odraz opskrbe

sedimentima i energije okoliša. Nakon prestanka oluja prekid donosa sedimenata bi omogućio mikrobnim zajednicama da koloniziraju morsko dno. Budući da mikrobijalne lamine stromatolita uglavnom ne sadrže ihnofosile, pretpostavlja se da su mikrobi nadvladali više organizme (koji su živjeli u sedimentu) u borbi za supstratom za vrijeme smanjenog ili prekinutog donosa detritusa (Hips & Haas, 2006).

Na više lokaliteta u južnoj Kini pronađene su kalcimikrobijalne mikrostrukture, slične onima u Mađarskoj, unutar najstarijih trijaskih karbonata. Zabilježena su sferična mikritna tijela koja odgovaraju onima u Mađarskoj po veličini, obliku i položaju unutar tamnije mikritne mase. Najveća je razlika što se u mađarskim karbonatima mikrobijalni pokrov pojavljuje u obliku stromatolita, dok se u Kini pojavljuje uglavnom u obliku trombolita (Hips & Haas, 2006).

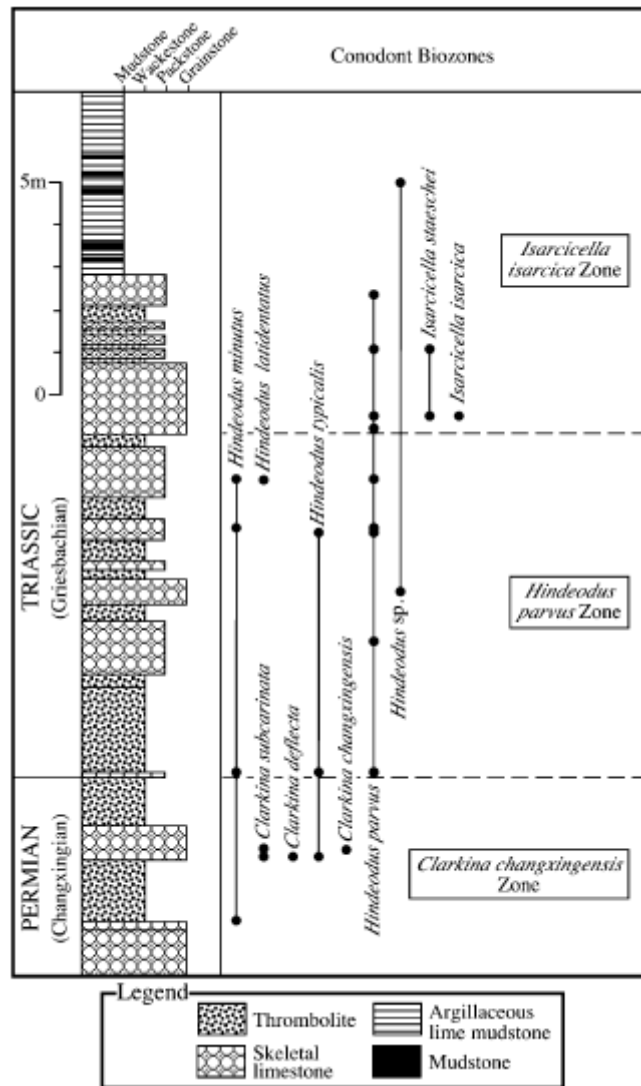
U stromatolitima na lokalitetima planine Bükk mikritne grudice su uglavnom raspoređene u grmolike agregate i nalaze se većinom u tamnim mikrobijalnim laminama, često zajedno sa izduženim mikritnim nitima. Hips i Haas (2006) su primijetili da ponekad sferični oblici mogu postati mikritne grudice, ovisno o stadiju očuvanja.

U zapadnom dijelu Paleotethysa za vrijeme kasnog perma uspostavljeni su okolišni uvjeti plitke rampe (Hips & Haas, 2006). Mnogi autori smatraju da je za vrijeme kasnog perma i ranog trijasa taloženje na području planine Bükk odgovaralo dubljem dijelu rampe (Hips & Haas, 2006). Nakon događaja na granici perma i trijasa dolazi do prekida taloženja karakterističnog za plitku karbonatnu rampu što je uzrokovalo drastično smanjenje u taloženju skeletnih karbonata i razvoj mikrobijalnog sedimentnog pokrova pri niskim ratama sedimentacije (Hips & Haas, 2006). Smatra se da je obilnost mikroba posljedica smanjene biološke raznolikosti nakon golemog izumiranja ostale biote na granici perma i trijasa i povećane saturacije vode kalcijevim karbonatom uslijed uzdizanja dubokooceanskih voda (Hips & Haas, 2006). Slojevi mikrobijalnih karbonata odijeljeni su olujnim slojevima koji sadrže detritični (kristalasti) karbonatni materijal. Mikrobijalni slojevi su vjerojatno nastali unutar fotičke zone niskoenergijskog okoliša otvorene rampe (Hips & Haas, 2006). Dobro očuvani mikrobijalni ostaci nalaze se uglavnom u donjem dijelu stromatolitne jedinice jer laminacija postupno nestaje u gornjem dijelu jedinice, što može ukazivati na smanjivanje vremenskog intervala pogodnog za nakupljanje mikroba i kalcifikaciju mikrobijalne kore ili na manje intenzivnu ranu kalcifikaciju mikrobijalnog pokrova. Slabija očuvanost mikrobijalnih ostataka u gornjem dijelu jedinice može još biti posljedica promjena uvjeta taložnog okoliša, poput tonjenja prostora ispod fotičke zone uslijed podizanja morske vode,

povećanja donosa detritičnog materijala ili promjena u uvjetima kalcifikacije (Hips & Haas, 2006). Hips i Haas (2006) zaključuju da je najprihvatljivije objašnjenje za promjene unutar stromatolitne jedinice i slabiju očuvanost mikrobijalita u gornjem dijelu jedinice podizanje morske razine ili transgresija. Podizanjem morske razine vjerojatno se na područje sedimentacije uzdigla anoksična ili niskooksična voda. Iako model uzdizanja anoksične vode može objasniti mikrobijalnu kalcifikaciju, nalazi fosila organizama bentičke faune u nekim djelovima stromatolita impliciraju da je voda sadržavala bar malo kisika (Hips & Haas, 2006).

Pojave mikrobijalita zabilježene su i u južnoj Kini, na području Bangeng u provinciji Guizhou. Tamo su u permotrijaskim naslagama pronađeni mikrobijaliti u obliku trombolita u kojima su sačuvani ostaci kokoidnih bakterija i peloidi raznih vrsta. O mikrobijalitima iz područja Bangeng pišu Adachi et al., (2004). U svojim istraživanjima trombolita isti autori naročitu su pozornost posvetili prisustvu i porijeklu peloida. Za njih su peloidi sferična, elipsoidalna ili uglata zrna mikrokristalinskog karbonata bez jasne unutrašnje strukture, koji mogu biti različitog porijekla (Adachi et al., 2004). Mnogi autori smatraju da peloidi najčešće nastaju od: fekalnih peleta, mikritiziranih zrna, intraklasta, kemijskih precipitata i precipitata potaknutih mikrobnim djelovanjem. Adachi et al., (2004) su peloide iz kineskih permotrijaskih mikrobijalita podijelili u tri tipa: Pelloide- A, B i C. Za peloide tipa A, koji su najzastupljeniji, Adachi et al., (2004.) smatraju da su u srodstvu sa kokoidnim bakterijama, te se takvi peloidi mogu usporediti sa sferičnim oblicima i mikrobijalnim peloidima s područja Bükk u Mađarskoj.

Permotrijaske naslage sa mikrobijalitima iz južne Kine nastale su u plitkomorskom okolišu, u unutrašnjosti izolirane karbonatne platforme (Adachi et al., 2004). Južnokineske permotrijaske naslage nastale su u sličnom taložnom okolišu kao i one iz područja Bükk u Mađarskoj, jer su oba područja za vrijeme kasnog perma bili rubni dijelovi nekadašnjeg oceana Paleothetysa. Slijed u južnoj Kini se sastoji od fosilifernih vapnenaca (grejnstoni i pekstoni) u izmjeni sa slojevima mikrobijalnih trombolita debelih do nekoliko m (slika 4.2) (Adachi et al., 2004). Tromboliti su kupolaste (domalne) nakupine mikrobijalnog materijala, za razliku od stromatolita koji su slojevite građe. Nastanak mikrobijalnih trombolita vjerojatno je vezan uz permsko izumiranje nakon kojeg su se mikrobi mogli neometano razvijati u odsustvu viših organizama. Konodontna vrsta *Hindeodus Parvus*, koji je biostratigrafska oznaka za granicu perm-trijas, pronađen je u fosilifernom pekstonu, 3,4 m iznad najniže jedinice trombolita (Adachi et al., 2004).



Slika 4.2 Najstariji sedimenti ranog trijasa iz južne Kine prema Adachi et al., (2004). Slijed se sastoji od fosilifernih vapnenaca (grejnstoni i pekstoni) u izmjeni sa slojevima mikrobijalnih trombolita debelih do nekoliko metara.

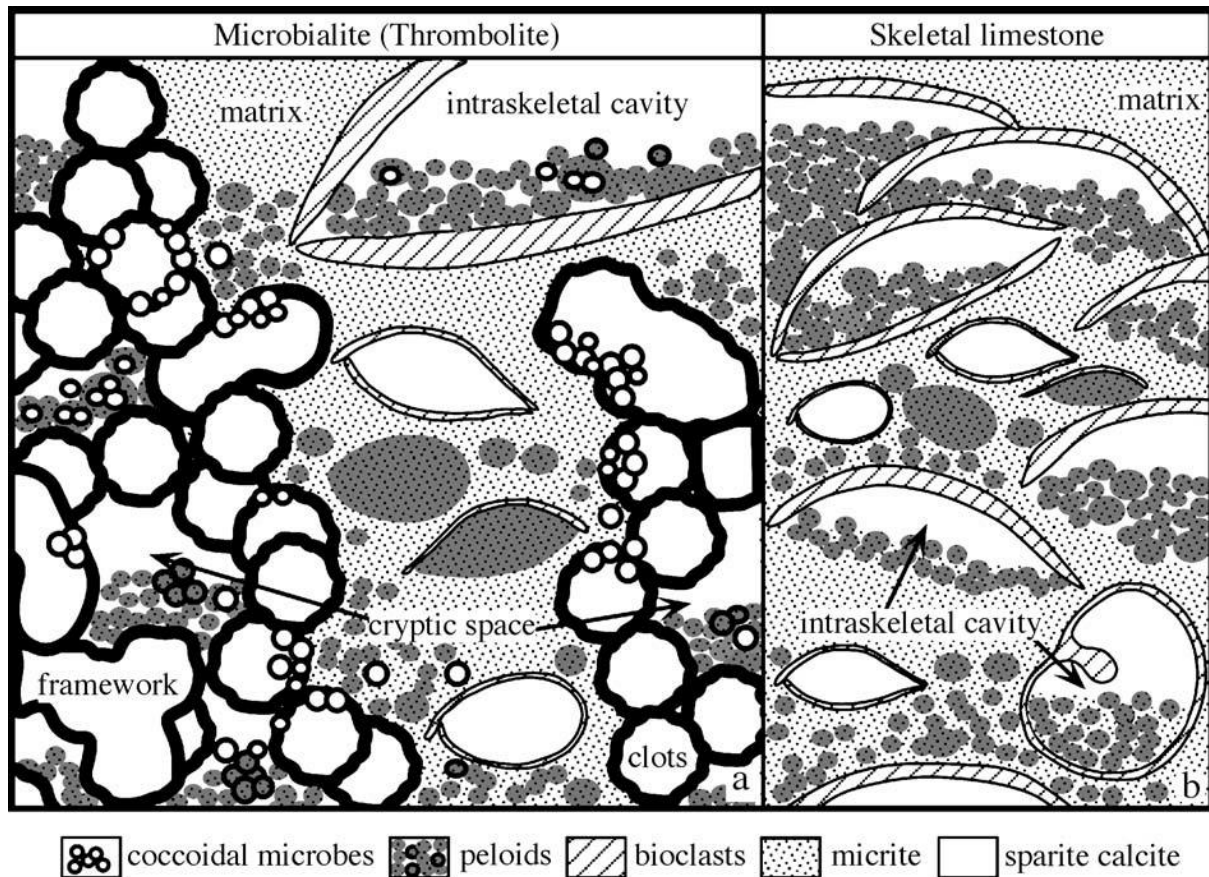
Dome trombolita su izgrađene nakupljanjem grudica sparita koje naliježu jedna na drugu i tvore kupolaste oblike. Grudice koje izgrađuju trombolite su zaobljene i elipsoidalne, promjena između 100-400  $\mu\text{m}$ . U središtu sadržavaju mozaične kalcite ili dolomite okružene tamnijim rubom. Neke sparitne grudice su djelomično ili potpuno obrubljene sferičnim oblicima koji odgovaraju kalcificiranim ostacima kokoidalnih bakterija kao što je prikazano na slici 4.3 (Adachi et al., 2004). Slaganje grudica jedna na drugu stvara razne mikrookoliše i prostore između i unutar trombolita koji mogu biti ispunjeni peloidima ili se u njima mogu nakupljati kokoidne mikrobi, odnosno sferični oblici (slika 4.3). Od mikro okoliša vezanih za trombolite, peloidi i kokoidni mikrobi se najviše nakupljaju u kriptičnim prazninama, intraskeletnim šupljinama i u matriksu (Adachi et al., 2004).

Kriptične praznine (*cryptic spaces*) se formiraju u strukturnom okviru trombolita slaganjem sparitnih grudica i to su mali, lateralno izduženi šuplji prostori širine do 5 mm (Adachi et al., 2004). U njima nalazimo peloidne i kalcificirane kokoidne mikrobe. Kriptične praznine su ispunjene peloidima u svojim donjim dijelovima, te tako pokazuju geopetalnu strukturu unutar koje su obrisi peloida vidljiviji u gornjem dijelu ispune, dok se u donjem dijelu ispune obrisi peloida gube zbog kompakcije u peloidalni mikrit (Adachi et al., 2004). U većini kriptičnih praznina peloidi su jako dobro sortirani, 80% peloida je veličine između 20 i 60  $\mu\text{m}$ , te prosječnog promjera 51  $\mu\text{m}$  (Adachi et al., 2004). Takvi peloidi su uglavnom sferičnog oblika i mogu biti djelomično spojeni tvoreći grudaste nakupine. Među peloidima nalazimo kalcificirane kokoidne mikrobe (ili sferične oblike prema Hips & Haas, 2006) koje mogu biti izolirane ili združene u grozdaste nakupine (Adachi et al., 2004). Neki peloidi u kriptičnim šupljinama koji po obliku i veličini izgledaju kao kalcificirani kokoidni mikrobi po obliku i veličini. Njih su Adachi et al. (2004) klasificirali kao A 1.1 peloidne (Slika 4.4). U nekim kriptičnim prazninama nalazimo loše sortirane peloidne, njih 25% je veličine između 20 do 60  $\mu\text{m}$ , a prosječni promjer im je 90  $\mu\text{m}$  (Adachi et al., 2004). Takvi peloidi imaju sferičan do elipsoidalni oblik i uglavnom sadržavaju nakupine kokoidnih mikroba, te su ih Adachi et al. (2004) klasificirali kao peloidne A 2.1 (Slika 4.4). Osim peloida i kokoidnih mikroba u kriptičnim prazninama nalazimo i framboidalni pirit koji se pojavljuje u obliku kupinastih agregata i koji je vjerojatno nastao u reduktivnim uvjetima (Adachi et al., 2004.)

Nadalje, Adachi et al. (2004) opisuju složenu građu trombolita na slijedeći način. Tromboliti su grubo podijeljeni u sparitične djelove (nastali od sparitnih grudica) i mikritni matriks. Sparitni djelovi se sastoje od strukturnog okvira i kriptičnih praznina, dok su mikritni djelovi izgrađeni od bioklasta koji sadržavaju intrasketalne šupljine i matriks (Adachi et al., 2004).

Intrasketalne šupljine zapunjavaju tanke ljušturice školjkaša i gastropoda, te su uglavnom ispunjene peloidima, mikritom i rijetko drugim bioklastima. Kao i u kriptičnim prazninama, ispune u intrasketalnim šupljinama pokazuju geopetalnu strukturu (Adachi et al., 2004). Peloidi u intrasketalnim šupljinama su veličine od 30 do 150  $\mu\text{m}$ , s prosječnim promjerom 71  $\mu\text{m}$  (Adachi et al., 2004). Peloidi su sferičnog do elipsoidalnog oblika s difuznim granicama, te odgovaraju peloidima tipa A 2.2 ili A 2.1 (ovisno o sadržaju kokoidnih mikroba) po klasifikaciji prema Adachi et al., (2004). Peloidi ponegdje pokazuju grudaste forme nastale spajanjem peloida jednog s drugim. Intrasketalne šupljine su rijetko ispunjene dobro sortiranim peloidima kakve nalazimo u kriptičnim prazninama (Adachi et al., 2004).

Kalcificirane kokoidne mikrobe nalazimo raspršene između peloida, te ponegdje unutar peloida (Adachi et al., 2004).



Slika 4.3 Struktura mikrobijalnih trombolita iz južne Kine. Na slici se vidi slaganje sparitnih grudica i formiranje mikro okoliša u kojima se nakupljaju peloidi i kokoidni mikrobi. Na slici uočavamo kriptične praznine, intraskkeletalne šupljine, matriks te strukturalni okvir trombolita. Vidi se prostorna povezanost peloida i kokoidnih mikroba unutar kriptičnih praznina (Adachi et al., 2004).

Kalcificirani kokoidni mikrobi iz kineskih mikrobijalita imaju sličnu građu kao i oni nađeni na području Bükk u Mađarskoj. Na obje lokacije se pojavljuju kao sferični i elipsoidalni oblici sparitne jezgre od kalcita ili dolomita okružene mikritnom ovojnicom (Adachi et al., 2004). Ovojnica je izgrađena od finog mikrita i ponegdje pod elektronskim mikroskopom (SEM) pokazuje da su te male tvorbe izgrađene od koncentričnih lamina (Adachi et al., 2004). Kokoidni mikrobi u južnoj Kini uglavnom se nalaze unutar strukturalnog okvira trombolita i u kriptičnim prazninama između sparitnih grudica unutar trombolita, a može ih se naći i u intraskkeletalnim šupljinama između i u matriksu trombolita (Adachi et al., 2004). Promjer im je 10-60  $\mu\text{m}$ , ali 80% sfera ima promjer između 20 i 40  $\mu\text{m}$ , pa možemo reći da su jako dobro sortirane (Adachi et al., 2004).



Peloide koji se pojavljuju u permotrijaskim kineskim mikrobijalitima Adachi et al., (2004) su podijelili na temelju građe, veličine, načina pojavljivanja i prisustva kokoidnih mikroba na tri skupine : Peloide A, B i C. Nastanak peloida tipa A se povezuje sa kokoidnim mikrobima, te se oni na osnovi veličine, jasne ili difuzne granice i očuvanosti kalcificiranih kokoidnih mikroba dijele na podskupine A 1.1, A 1.2, A 2.1, A 2.2.

Peloidi A 1.1 i peloidi A 1.2 su iste veličine kao i kokoidne cijanobakterije, promjera između 20 i 60  $\mu\text{m}$ , te su sferičnog oblika. Razlikuju se u tome što peloidi A 1.1. imaju jasne granice i sadrže kokoidne mikrobe, za razliku od peloida A 1.2 koji imaju difuzne granice i u njima ne nalazimo očuvane kokoidne mikrobe (Adachi et al., 2004). Peloidi A 2.1 i A 2.2 imaju sferičan do elipsoidalan oblik. Većih dimenzije su od kokoidnih mikroba, između 70 i 200  $\mu\text{m}$ , imaju difuzne granice, a razlika između njih je što peloidi A 2.1 sadržavaju nakupine kokoidnih mikroba. (Adachi et al., 2004). Peloidi tipa B imaju sferičan do elipsoidalan oblik i jasne granice, te su širine između 200 i 700  $\mu\text{m}$  (Adachi et al., 2004). Peloidi ovog tipa se ponekad nalaze zajedno sa ostrakodama ili gastropodima čiji su unutrašnji prostori ispunjeni sparitičnim kalcitom ili mikritom (Adachi et al., 2004). Peloid tipa C je zrno ispunjeno gustim mikritom sa jasnim granicama. Oblika je sferičnog, elipsoidalnog ili uglatog, a promjer mu je između 150 i 400  $\mu\text{m}$ . Takvi peloidi se često pojavljuju sa kortoidima koji su povezani sa mikritizacijom površine bioklasta, najčešće bivalvi (Adachi et al., 200.).

Peloidi A 1.1 i A 2.1, u kojima su očuvane kokoidne mikrobe, najčešće se pojavljuju u kriptičnim prazninama unutar trombolita zajedno sa kalcificiranim kokoidnim mikrobima (Adachi et al., 2004). S njima se također pojavljuju i druge dvije skupine peloida, A 1.2, A 2.2, koje su više zastupljene u intraskeletnim šupljinama i u matriksu mikrobijalita. Peloidi tipa B i C ne pojavljuju se toliko u mikrobijalitima koliko u skeletnim vapnencima koje mikrobijaliti prekrivaju. Peloid tipa B se najčešće pojavljuje u matriksu skeletnih vapnenaca gdje su ostrakode gusto pakirane (Adachi et al., 2004). Rijetko se pojavljuju u matriksu trombolita i tamo nisu gusto pakirani (Adachi et al., 2004). Peloidi tipa C su jako rijetki i pojavljuju se jedino u matriksu skeletnih vapnenaca gdje su prisutni bioklasti čije su površine intenzivno mikritizirane (Adachi et al., 2004). Distribucija peloida u mikrobijalitima prikazana je na slici 4.4.

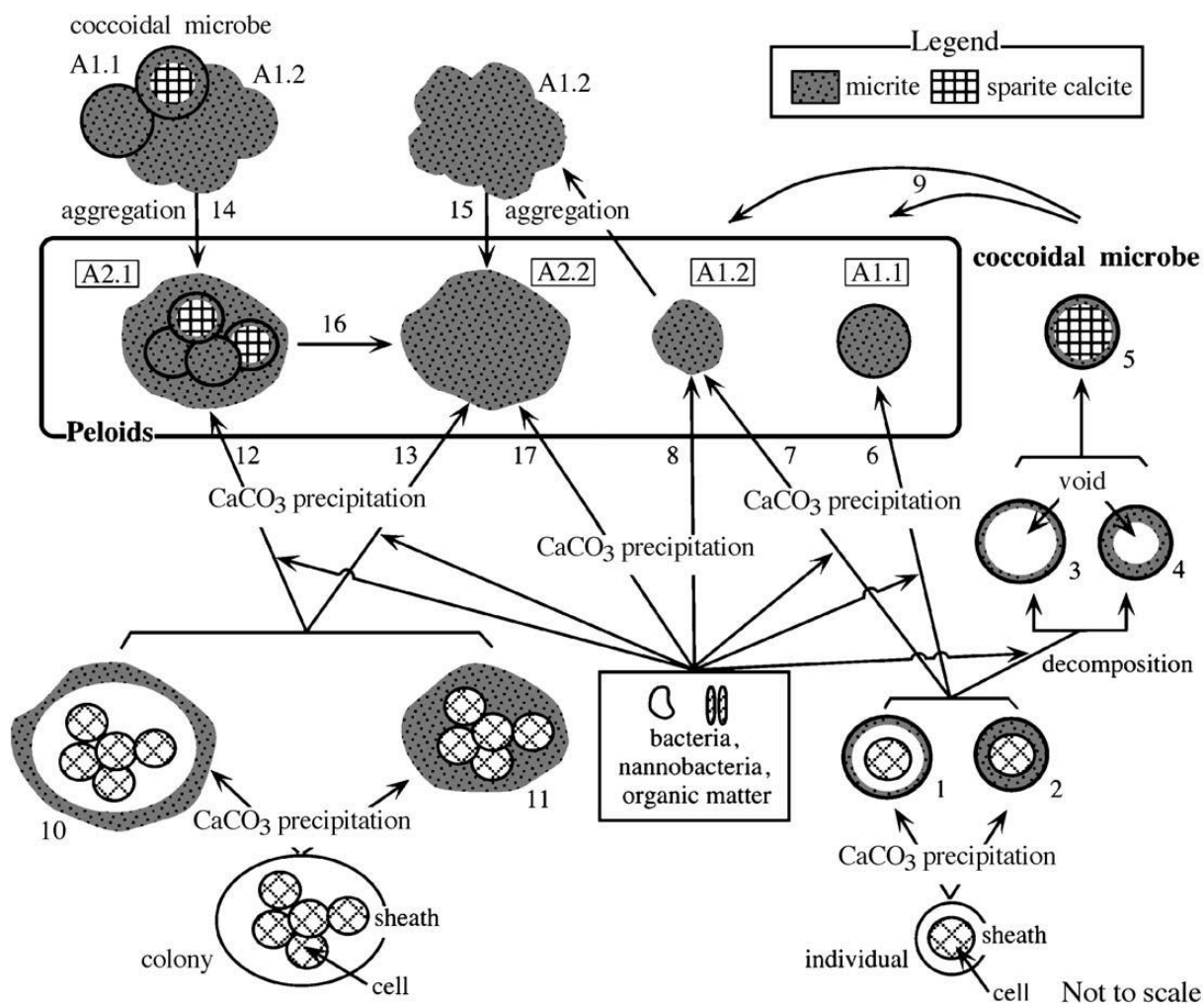
|             | Microbialite   |               |                    |        | Skeletal limestone |        |
|-------------|----------------|---------------|--------------------|--------|--------------------|--------|
|             | sparitic parts |               | micritic parts     |        | intrasketal cavity | matrix |
|             | framework      | cryptic space | intrasketal cavity | matrix |                    |        |
| Microbes    |                |               |                    |        |                    |        |
| Peloid-A1.1 |                |               |                    |        |                    |        |
| Peloid-A1.2 |                |               |                    |        |                    |        |
| Peloid-A2.1 |                |               |                    |        |                    |        |
| Peloid-A2.2 |                |               |                    |        |                    |        |
| Peloid-B    |                |               |                    |        |                    |        |
| Peloid-C    |                |               |                    |        |                    |        |

abundant common rare

Slika 4.4 Podjela tipova peloida sačuvanih u mikro okolišima južno kineskih trombolita prema Adachi et al., (2004)

Kokoidne mikrobe su zajedno sa drugim mikrobima imale važnu ulogu u formiranju u formiranju mikrobijalnih struktura nakon masovnog izumiranja na kraju perma (Adachi et al., 2004). One su također imale ulogu u formiranju peloida koje su Adachi et al., (2004) klasificirali kao peloide tipa A. Mikrobijalna aktivnost može potaknuti precipitaciju kalcijevog karbonata. Cijanobakterijska kalcifikacija je povezana sa povišenim alkalitetom zbog fotosinteze (Adachi et al., 2004). Neki autori su opisali slučajeve precipitacije karbonata povezane sa mrtvim cijanobakterijama, gdje bakterijska razgradnja mrtvih cijanobakterija dovode do post-mortem kalcifikacije (Adachi et al., 2004).

U kineskim permotrijaskim trombolitima kalcificiranih kokoidne mikroba se često pojavljuju zajedno sa peloidima tipa A (Adachi et al., 2004). Ta činjenica, te oblik, veličina peloida A 1.1 i A 1.2 i pojave kokoidnih mikroba u peloidima A 1.1 i A 2.1 ukazuju da su peloidi tipa A nastali od kalcificiranih kokoidnih mikroba. Peloidi A 1.1 imaju jasnu marginu i slične morfološke karakteristike i oblik kao kokoidne mikroba, jedina je razlika što su oni potpuno ispunjeni mikritom za razliku od kalcificiranih kokoidnih mikroba koje imaju središnji dio od sparita (Adachi et al., 2004). Kokoidne mikroba su vjerojatno očuvane kao rezultat kalcifikacije na i unutar ovojnice stanice kokoida posredstvom bakterija. Nakon smrti stanice, ona može biti razgrađena i ostaviti pukotinu koja biva ispunjena sparitičnim kalcitom nastalim anorganskom i/ili mikrobnom cementacijom (slika 4.5) (Adachi et al., 2004). Peloid A 1.1 vjerojatno je nastao potpunim ispunjavanjem kokoidne mikroba mikritom kao posljedica post-mortem kalcifikacije uzrokovane bakterijskom aktivnošću (slika 4.5) (Adachi et al., 2004). Peloid A 1.2, koji se često nalazi zajedno sa peloidom A 1.1, vjerojatno je nastao istim mikrobijalnim procesom iako nema vidljivih mikrobnih ostataka (slika 4.5) (Adachi et al., 2004). Peloid A 1.2 se razlikuje od peloida A 1.1 i po tome što ima difuzne granice što može biti posljedica razlike u stupnju kalcifikacije. Peloid A 2.1 je vjerojatno nastao kao rezultat kalcifikacije kolonije kokoidnih mikroba (slika 4.5). Također je moguće da je peloid A 2.1 nastao agregacijom kokoidnih mikroba i peloida A 1.1. (Adachi et al., 2004). Peloid A 2.2 vjerojatno nastaje istim procesima kao peloid A 2.1 samo što kod njega nema vidljivih ostataka kokoidnih mikroba. Iako imamo vidljive dokaze da peloidi tipa A 1.1 i A 2.1 potječu od kokoidnih mikroba, takve peloidne nalazimo i u skeletalnim vapnencima koji ne sadrže kokoidne mikroba (Adachi et al., 2004). To ukazuje da takvi peloidi nisu uvijek u direktnoj vezi sa kokoidnim mikrobima.

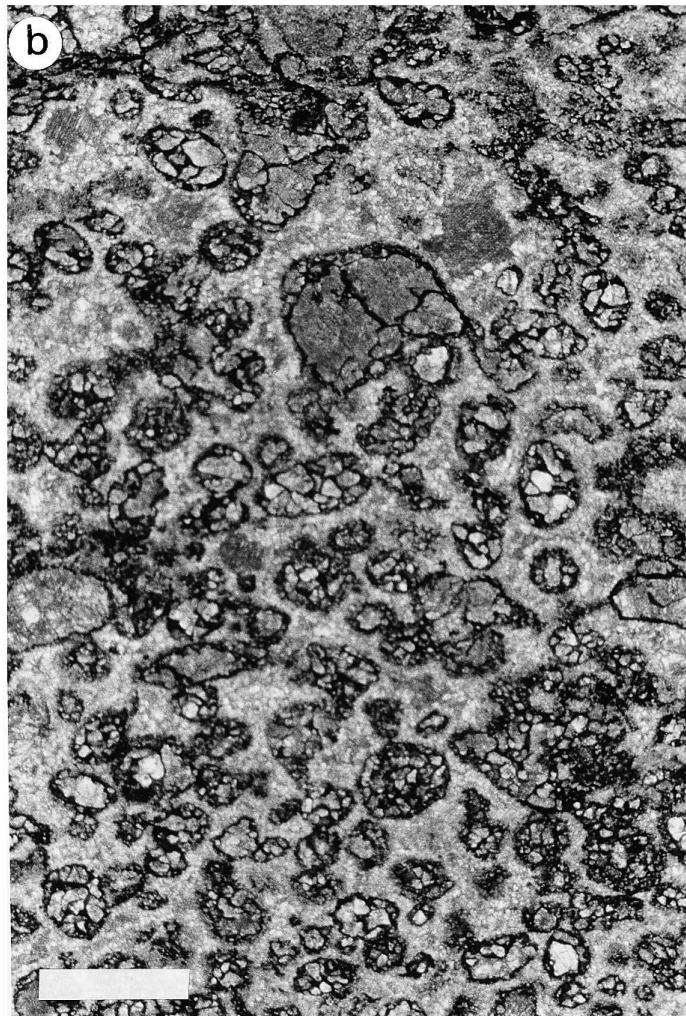
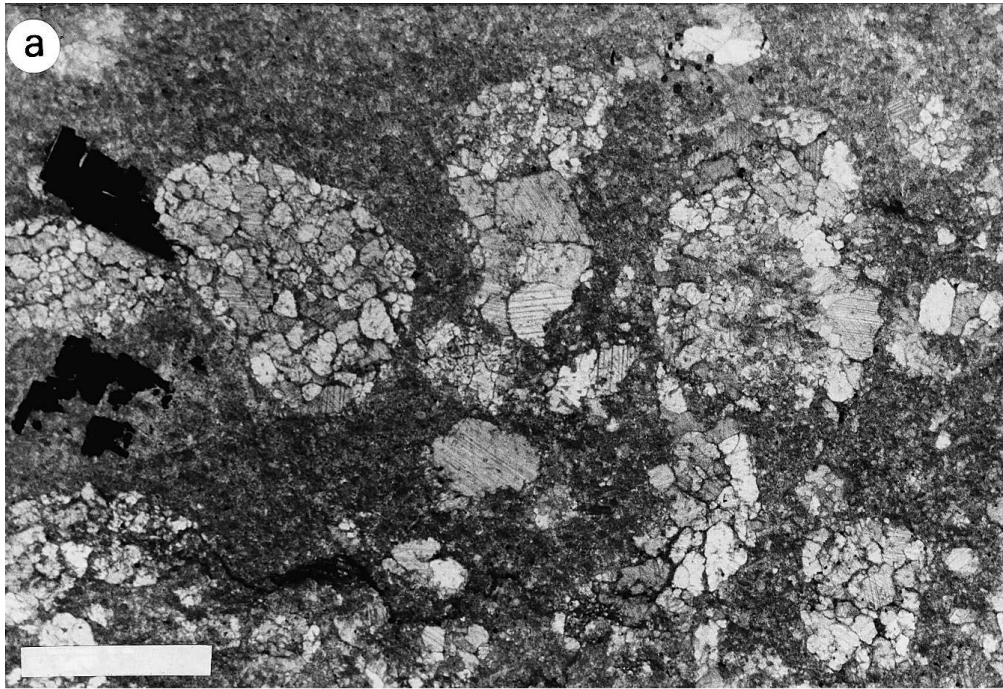


Slika 4.5 Shema nastanka različitih vrsta peloida posredstvom bakterijske razgradnje cijanobakterija prema Adachi et al., (2004).

U istraživanju mikrobijalnih taloga karakterističnih za razdoblje najranijeg trijasa, pojavljuje se još jedna česta mikrostrukturalna komponenta. To su tzv. **mikrosfere**.

Proučavajući permo-trijaske mikrobijalite u južno kineskoj provinciji Sichuan, Kershaw et al., (1999) su na lokalitetima Chunmuping i Laolongdong uočili rekristalizirane subsferične karbonatne strukture koje su Kershaw et al., (2002) nazvali mikrosfere. Mikrosfere su okruglaste detritične čestice (*depositional objects*) koje imaju jasan mikritni rub dok im je unutrašnjost ispunjena sparitom. Jako su slične ooidima (slika 4.6). Taložene su na morskom dnu također u najstarijim trijaskim naslagama. Kershaw et al., (2002) navode da je porijeklo ovih čestica sasvim nejasno i da se samo ponekad može vidjeti da su mikrosfere porijeklom fosili, najčešće ostrakodi (slika 4.6). Mikrosfere se pojavljuju u južnom kineskom lokalitetu Laolongdong u mikritičnom vapnencu zajedno sa rekristaliziranim mikrogastropodima koji

naliježu na mikrobijalnu koru (Kershaw et al., 1999). Mogu sadržavati željezoviti kalcit u svojoj unutrašnjosti (Kershaw et al., 1999). Tamni obrub im je ne željezoviti izopahični cement koji ukazuje da iako su rekristalizirane, mikrosfere nisu produkt rekristalizacije nego su taložni objekti (Kershaw et al., 1999). Mikrosfere s lokaliteta Laolongdong se pojavljuju kao subsferične sparitne čestice i uglavnom tvore grejnstone (slika 4.6).



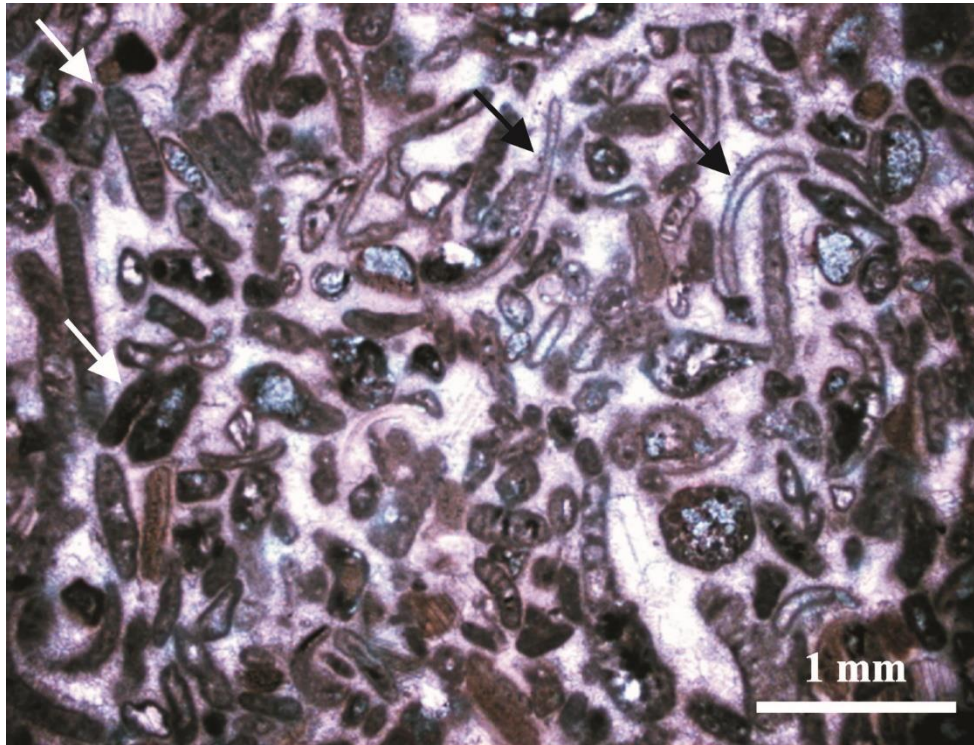
Slika 4.6 Mikrofotografija sloja sa mikrosferama s lokaliteta Baizhuyuan u Kini (Kershaw et al., 1999). Na slici A vidimo mikrosfere različitih veličina i oblika. Na slici B vidimo mikrosfere koje tvoje grejnston. Mikrosfere u grejnstonu su okružene izopahičnim cementom što dokaziuje da su one depozicijski objekti.

## **5. REZULTATI I RASPRAVA MIKROPETROGRAFSKE ANALIZE MIKROBIJALNIH SEDIMENATA**

Neki pojavni oblici mikrobijalnih sedimenata koji su detaljno opisani u prethodnom poglavlju kao i specifični mikrostrukturni elementi prepoznati su u laminiranim mikrobijalnim sedimentima uz granicu perm-trijas na lokalitetima Idrijca i Masore u Sloveniji. Oba vertikalna slijeda prikazana su na slikama 2.2 i 2.3.

Laminirani mikrobijalni sedimenti predstavljaju taloge uglavnom bez fosila, a pretpostavlja se da je mikrobijalna sedimentacija posljedica promjena paleoekoloških uvjeta koji su nastupili krajem perma pri čemu je najznačajnije masovno izumiranje nakon čega se, u različitim sredinama, talože mikrobijalni sedimenti kao anakronistički facijes. Slične su promjene uvjeta sedimentacije kao i pojava laminiranih mikrobijalnih sedimenata uočene i opisane u mnogim dijelovima svijeta uz granicu perm-trijas npr. na području planine Bükk u Mađarskoj, (Hips & Haas, 2006) kao i u Kini (Adachi et al., 2004). I sljedovi sedimenata Idrijca i Masore (poglavlje 3 i 4) slični su onima u Mađarskoj i Kini.

Sedimenti koji prethode taloženju mikrobijalnih sedimenata i nalaze se u njihovoj podini (Bellerophon formacija) te po starosti odgovaraju gornjem permu na oba lokaliteta - Idrijca i Masore, određeni su kao biomikrit/pekstoni i biospariti/grejnstoni. Ove tipove sedimenata reprezentira uzorak ID- (-1) (slika 5.1). U sastavu ovog biosparita/grejnstona karakteristična je pojava obilja fosilnih ostataka različitih plitkomorskih vrsta među kojima se ističe prisustvo i brojnost fragmenata algi, dok podređeno ima fragmenata ljuštura školjkaša i puževa, te fragmenata ježinaca. Fragmentirani skeletni materijal je relativno dobro sortiran, iako ima malo odstupanja u veličini pojedinih fragmenata algi (slika 5.1). U nekim fosilnim fragmentima koji nisu u potpunosti definirani vide se obilježja dijagenetske silicifikacije (slika 5.1). Vezivo je sparitni cement, u uzorku se vidi međusobno dodirivanje fosilnih fragmenata, te možemo reći da stijena ima zrnску potporu što je čini biosparitom/grejnstonom (slika 5.1).



Slika 5.1 Mikrofotografija uzorka ID-(-1) na kojoj se vide zadnje naslage gornjeg perma na lokalitetu Idrija. Stijena je fosiliferni biosparit/grejnston. Bijelom strelicom označeni su dominantni fosili- alge, dok su crnom određeni fragmenti ljuštura školjkaša.

Na osnovi obilja skeletnih fragmenata iz uzorka ID-(-1) može se zaključiti da je u taložnom okolišu bujao život. Brojnost prisutnih vrsta beskralježnjaka govori o gusto naseljenom okolišu. Prisustvo algi ukazuje na fotičku zonu odnosno relativno plitki marinski okoliš. Dobro sortirani skeletni materijal ukazuje na separaciju i sortiranje vjerojatno u zoni povišene energije (moguće valovi). Na višu energiju pri taloženju ukazuje i prisustvo sparitnog cementa. Iz svega navedenog može se zaključiti da se taloženje događalo u plitkom marinskom okolišu visoke energije, vjerojatno iznad osnovice valova lijepa vremena, dakle, u zoni potopljenog žala. Ako se pretpostavlja da okoliš odgovara karbonatnoj rampi (kako je to navedeno za područje Mađarske) koje je u vrijeme prijelaza perma i trijasa bilo smješteno puno bliže Dinaridima, može se zaključiti o taloženju u području unutrašnje rampe.

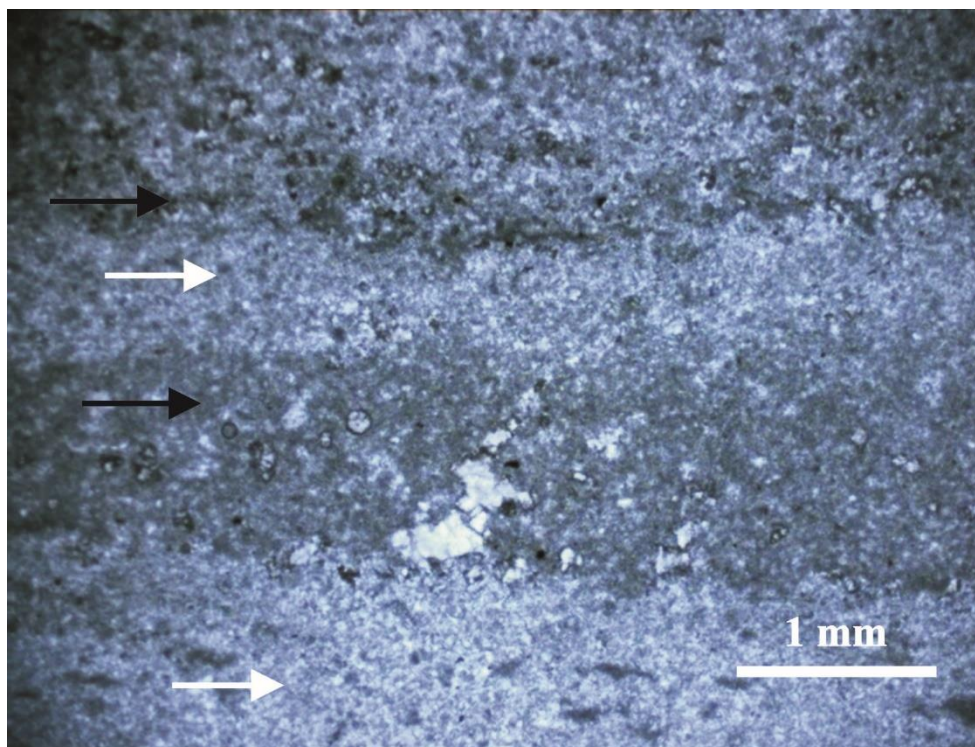
Taloženje bioklastičnih vapnenaca gornjeg perma naglo se prekida te se na njima talože laminirani sedimenti. Pri taloženju laminiranih sedimenata važnu ulogu odigrali su mikroorganizmi – uglavnom cijanobakterije, te su ove naslage determinirane kao mikrobijaliti, a zbog horizontalne, blago valovite laminacije odgovaraju stromatolitima. Uglavnom se radi o vapnencima, iako su rjeđe prisutni i dolomiti. Laminirani stromatoliti ili



stromatolitni baundstoni sadrže tek rijetke fosile. Najčešće su foraminifere opisane u radu Kolar-Jurkovšek et al. (2017 u tisku). U mikrobijalnim stromatolitima i na lokalitetu Idrijca kao i na lokalitetu Masore uočene su neke specifične karakteristike koje izravno ukazuju na važno i dominantno posredstvo kalcimikroba pri njihovom nastajanju.

Jedna od značajnijih karakteristika je laminacija. Laminacija se vidi na izdancima kao ravna ili blago valovita (slika 2.2), a razaznaje se i mikropetrografski kao izmjenjena svijetlih i tamnih lamina što je prikazano na mikropetrografskoj snimci uzorka ID-(+3) na slici 5.2. Tamne lamine su bogate mikritom i/ili mikrobijalnim tvorevinama. U svijetlim laminama vidi se kristalići sparita.

Lamine izgrađene od mikrosparita su generalno homogene građe. Mikrosparitni kristalići su podjednakih dimenzija. U mikrosparitnim laminama (donji dio slike 5.2) nalaze se spljošteni odlomci mikrita (*micrite flakes*).



Slika 5.2 Mikrofotografija uzorka ID-3 prikazuje izmjenu tamnih i svijetlih lamina u mikrobijalnim stromatolitima. Bijelom strelicom označene su svijetle detritične lamine, dok su tamne mikrobijalne lamine označene crnom strelicom.

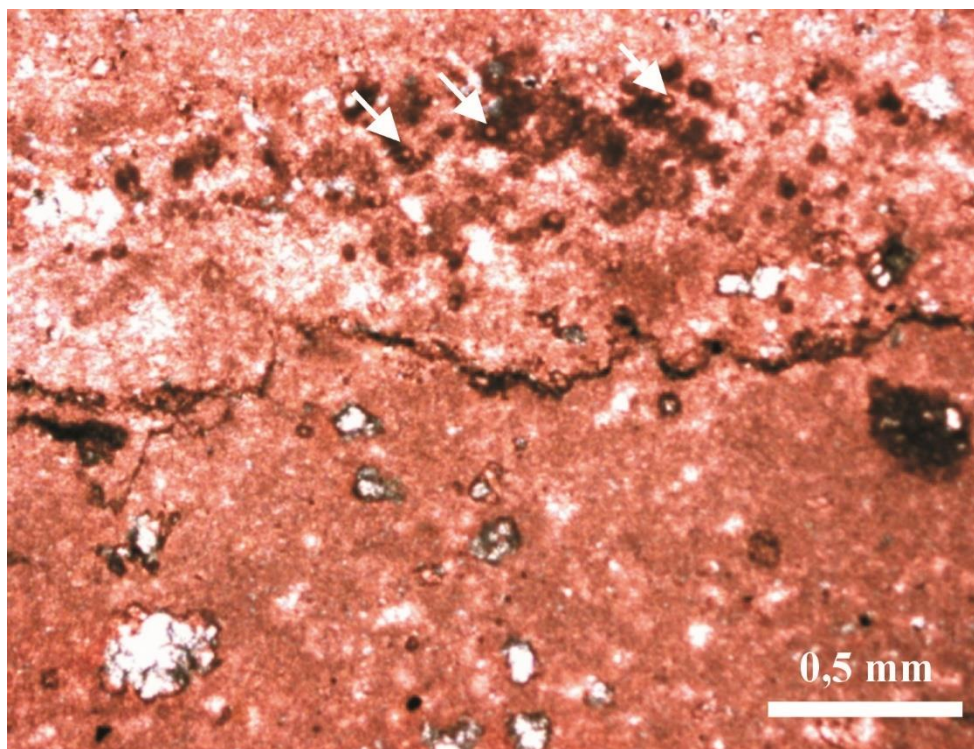
Opisana laminacija, dokumentirana uzorkom ID-3, predstavlja tipičnu građu stromatolita kakvi su prisutni u prelaznim naslagama profila Idrijca i Masore. Mikritne lamine vjerojatno

ukazuju na taloženje mikrita posredovano bakterijama, što će biti prikazano dalje u tekstu. Mikrosparitne lamine taložene su između mikritnih i prekidaju mikrobijalnu sedimentaciju. One su vjerojatno nastale akumulacijom detritičnog kalcita/dolomita kako to tumače Hips i Haas (2006). Prema Hipsu i Haasu (2006) detritični materijal je donošen pridnenim olujnim strujama, te je izmjena tamnih i svjetlih lamina odraz oscilacije u donosu detritičnog materijala koji je spriječavao razvoj mikrobijalne zajednice i nastanak mikrobijalnog mikrita.

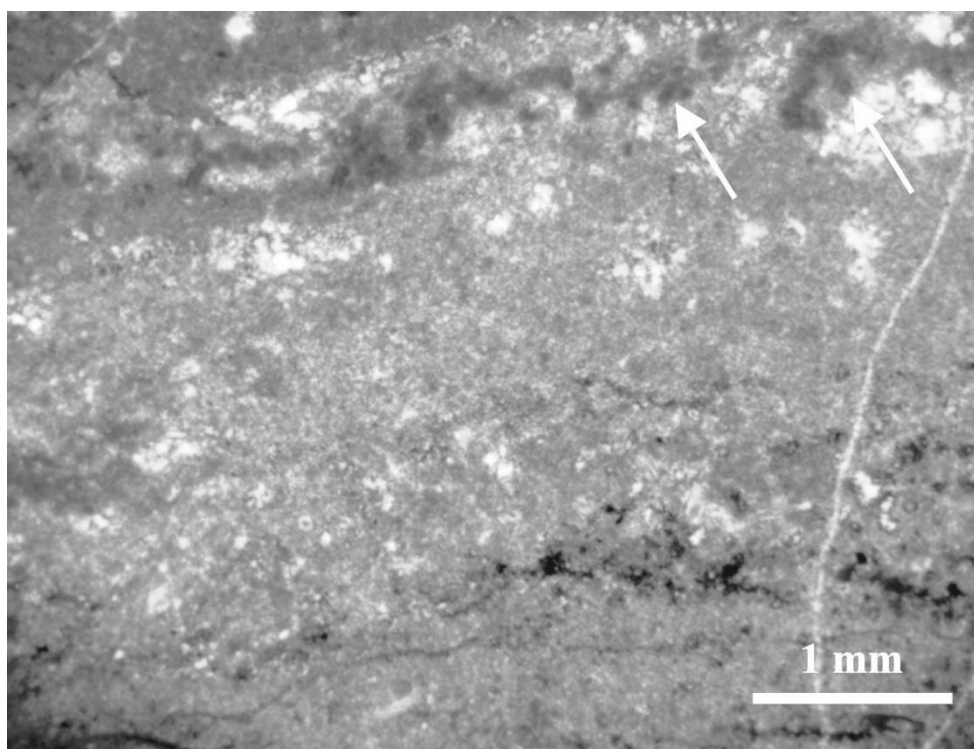
Dokaz mikrobijalnog porijekla tamnijih lamina u laminiranim naslagama prijelaznog intervala nalazi se u nekim mikrostrukturnim osobinama koje se mogu promatrati u građi mikritnih lamina. U građi nekih lamina prisutne su sitne (10-50  $\mu\text{m}$  u promjeru) sferične tvorbe koje su definirane zbog svoje građe kao **sferični oblici i nakupine sferičnih oblika** (slično kao što ih definiraju Hips i Haas (2006) i Adachi (2004)). Sferični oblici su okruglaste mikrostrukture veličine između 30 i 40  $\mu\text{m}$ . Sferični oblici su građeni od mikrosparitne jezgre koja je obavijena mikritnim rubom. Najčešće su gusto pakirani, međusobno se dodiruju, te u mikritnim laminama tvore grozdaste nakupine (Hips & Haas, 2006). Nakupine sferičnih oblika dokumentirane su uzorkom T 4-9 s lokaliteta Masore prikazanom na slikama 5.3 i 5.4.

Sukladno interpretaciji prema Hipsu i Haasu (2006) nakupine sferičnih oblika smatraju se kalcificiranim kokoidnim cijanobakterijama. Mikritni rub vjerojatno predstavlja kalcificirane izvastanične polimerne sekrete, dok sama sfera predstavlja praznu želatinoznu ovojnici koja je obavijala stanice (Hips & Haas, 2006.). Kalcifikacija se događala u periodu rane dijageneze tj. još u vrijeme života cijanobakterija.

Adachi et al. (2004) u permo-trijaskim mikrobijalitima Kine također navode prisustvo sferičnih oblika kao što su oni opisani u uzorku T 4-9. Isti autori interpretiraju postanak sitnih sfera kao kalcifikaciju kokoidnih mikroba- cijanobakterija. Adachi et al. (2004) su također zapazili da sferični oblici sadrže tanku ovojnici od mikrita (2-5  $\mu\text{m}$  debljine) unutar koje se nalazi jezgra od sparitnog kalcita ili dolomita. Zato bi sferični oblici prikazani na slikama 5.3 i 5.4 mogli odgovarati peloidima tipa A 1.1 prema Adachi et al., (2004) (slika 4.4 iz poglavlja 4).

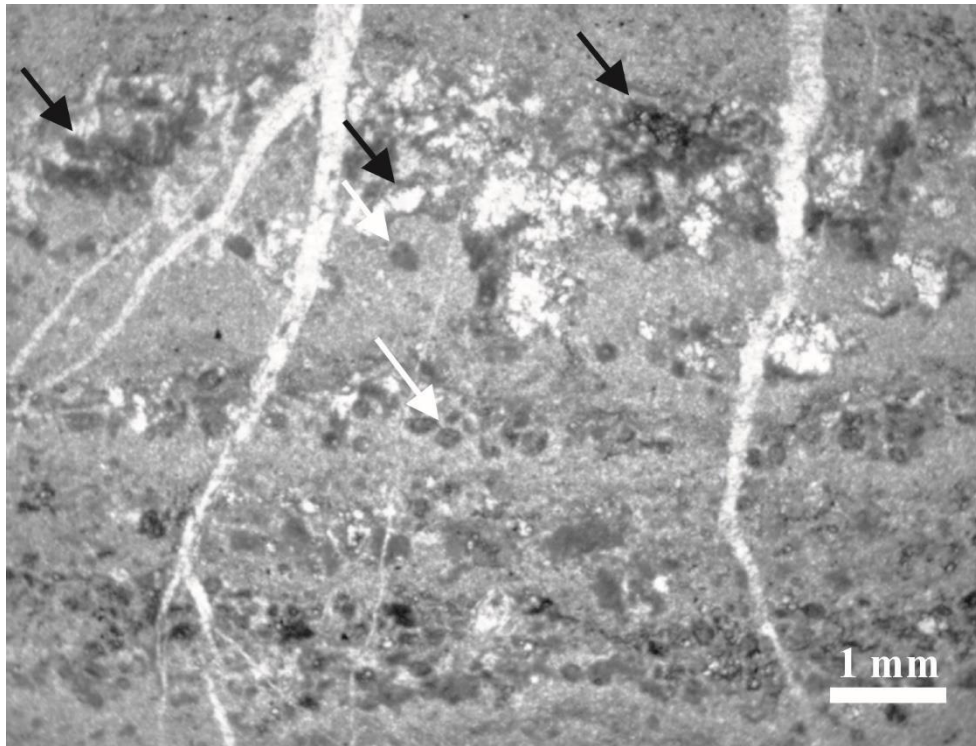


Slika 5.3 Mikrofotografija uzorka T 4-9 prikazuje nakupine sferičnih oblika koji se pojavljuju u mikrobijalnim laminama permotrijaskih stromatolita. Sferični oblici su prikazani bijelim strelicama. Uzorak je obojen.



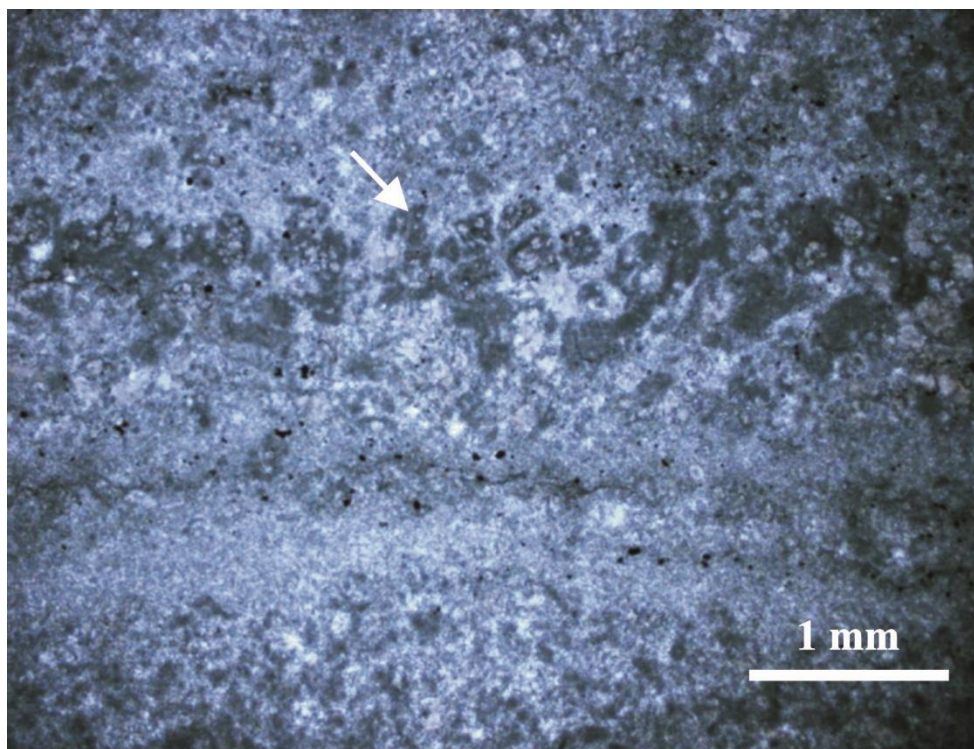
Slika 5.4 Mikrofotografija uzorka T 4-9 na kojoj su vidljive nakupine sferičnih oblika (bijela strelica).

Neke su mikritne lamine izgrađene od jasno ograničenih čestica bogatih mikritom jasnih i oštih granica, okruglasta oblika. Takvi se oblici smatraju **peloidima**, a ilustrirani su mikrofotografijom uzorka T-1 s profila Masore i prikazani na slici 5.5. U donjem dijelu slike vidi se da su lamine uglavnom izgrađene od tamnih sferičnih do elipsoidalnih zrna koji su jasno izdiferencirani. Negdje se između tamnih zrna vidi sparit.



Slika 5.5 . Mikrofotografija uzorka T-1 Masore. Na mikrofotografiji su prikazane kavernaste strukture ispunjene mikritom ili sparitom (crne strelice), te peloidi za koje se smatra da su nastali ispiranjem mikrita iz kavernastih struktura (bijela strelica).

Ponekad se u unutrašnjosti peloida vide nakupine sitnih sferičnih oblika. Takva je građa ilustrirana na slici 5.6. Peloidi sa sferičnim oblicima izgrađuju mikritnu laminu u gornjem središnjem dijelu slike 5.6. U toj lamini vide se i makrokristali sparita.



Slika 5.6 Mikrofotografija uzorka ID-6 na kojoj je bijelom strelicom označena lamina izgrađena uglavnom od peloida tipa A 2.2.

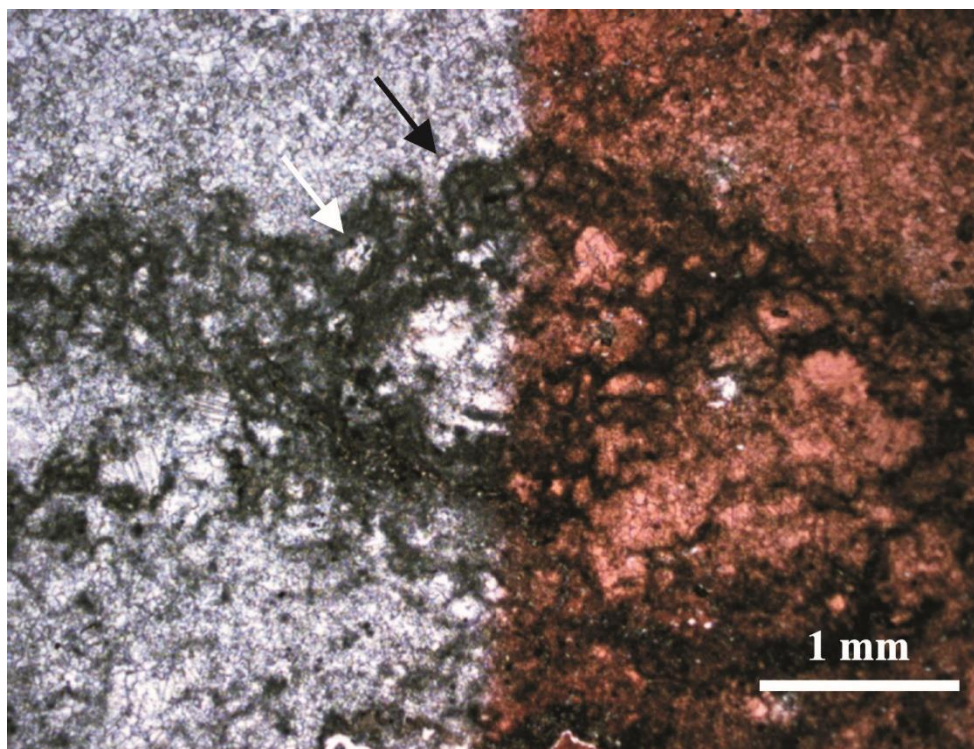
Uzorci T-1 i ID-6 predstavljaju mikrostrukturne karakteristike u kojima se nalaze nakupine mikrita jasnih granica koje odgovaraju peloidima. Prema Hipsu i Haasu (2006) peloidi su jasno izdiferencirana zrna oštih granica koja nastaju odlamanjem fragmenata kalcificiranih mikrobijanih kora i njihovim kotrljanjem i pritom zaobljavanjem. O procesu brze litifikacije uslijed kalcifikacije bakterijama svjedoči prisustvo nakupina sferičnih oblika u peloidima (kao što je prikazano na slici 5.6). Nakon rane litifikacije djelovanjem slabih struja vjerojatno je došlo do odlamanja fragmenata mikrobijalnih kora i njihovog zaobljavanja kotrljanjem, slično kako nastaju mikroonkoidi.

Adachi et al. (2004) također prepoznaju mnogo tipova peloida. Peloidi iz uzorka T-1 (slika 5.5) odgovaraju A 2.2 tipu peloida prema Adachi et al. (2004). To su peloidi veličine između 70 i 200  $\mu\text{m}$ , elipsoidalnog su do sferičnog oblika, te imaju difuzne granice. Ne sadržavaju sačuvane ostatke kokoidnih mikroba, iako Adachi et al. (2004) smatra da vuku porijeklo od njih. Peloidi iz uzorka ID-6 (slika 5.6) odgovaraju A 2.1 tipu peloida prema Adachi et al. (2004). Oni sadržavaju očuvane ostatke kokoidnih mikroba, te Adachi et al. (2004) smatraju da su nastali ili kalcifikacijom kolonije kokoidnih mikroba ili agregacijom kokoidnih mikroba i peloida tipa A 1.1.

Pri analizi mikrobijanih mikrostruktura treba obratiti pažnju na građu vršne lamine uzorka T-1 (slika 5.5). Lamina ima humčasti oblik. U toj se lamini pojavljuju mikritne nakupine ali je u njoj prisutno i mnogo sparita. U nekim djelovima lamine mogu se uočiti **grmoliki agregati mikritnih grudica**. U lijevom dijelu lamine jasno se ističe mikrit formiran u nepravilne grudice (slika 5.5). Djelomično su te grudice slijepljene (*clot cluster*).

Slično je i sa mikrostrukturom uzorka T 7-2 prikazanom na slici 5.7. Na toj se slici vidi kavernoza mikritna tvorba koja se sastoji od sitnih kaverni mikritnih rubova ispunjenih sparitnim kristalima kalcita. Kavernoze strukture ispunjene sparitom nalaze se unutar humčaste lamine izgrađene uglavnom od agregata mikritnih grudica. Pretpostavlja se da su sitne kaverne mogle nastati ukoliko su postojale litificirane kore (nastale uslijed ranodijagenetske kalcifikacije cijanobakterija), a zatim je cirkulacija vode slabim strujama isprala dio mikrita ispod njih. Na taj je način mogla ostati ova kavernoza struktura koja se zbog rane litifikacije nije urušila te je kasnije ispunjena dijagenetskim makrokristalima sparita slično kao što objašnjavaju Hips i Haas (2006). Veličina i oblik kaverni podsjećaju na oblike i dimenzije peloida.

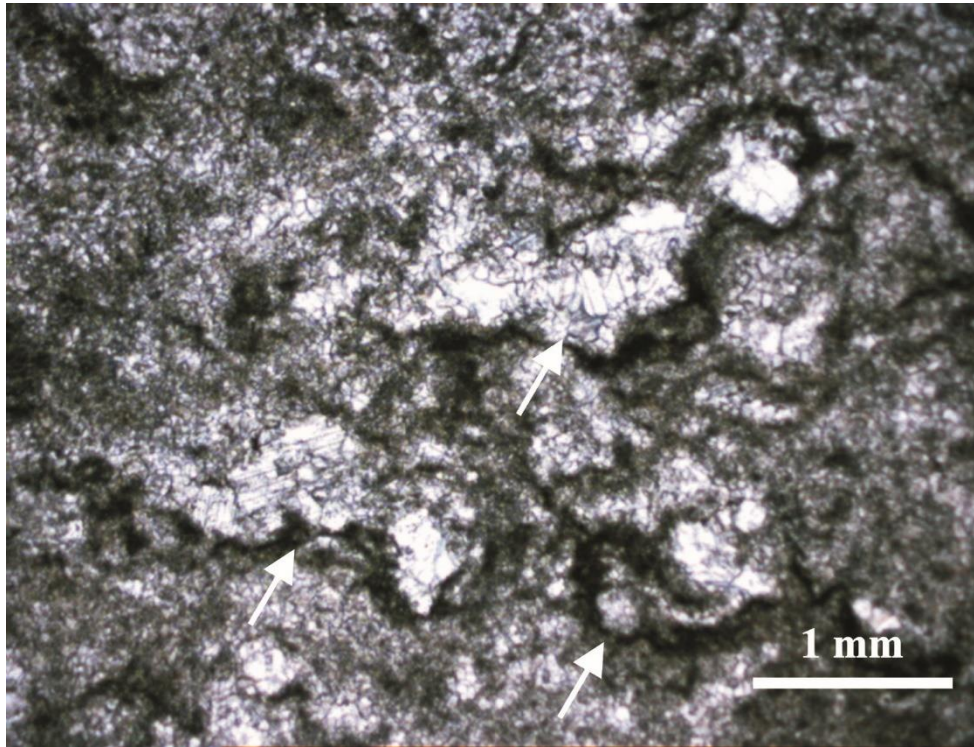
Postoji mogućnost da se mikritni materijal koji je ispunjavao kavernoze strukture litificirao u obliku peloida iznad mikritnih lamina. Materijal koji je ispunjavao kaverne vjerojatno je bio nelitificiran te je bio ispran slabim strujama kako smatraju Hips i Haas (2006). Nakon ispiranja rahli mikrit je bio oblikovan u peloidalne oblike, te litificiran. Nakon ispiranja kavernoze strukture su ispunjene sparitnim kalcitom kao što je vidljivo na slikama 5.4, 5.5 i 5.7. Na slikama 5.5 i 5.6 vidimo pojedine peloide u detritičnim laminama. Peloidi obično tvore mikritne lamine, te su ovi vjerojatno nastali od ispranog mikrita iz kavernozih struktura koje su vidljive u mikritnoj lamini (slika 5.6). Na porijeklo peloida iz kavernozih struktura ukazuju sličnosti u obliku i njihovoj veličini u usporedbi s dimenzijama kavenorznih šupljina.



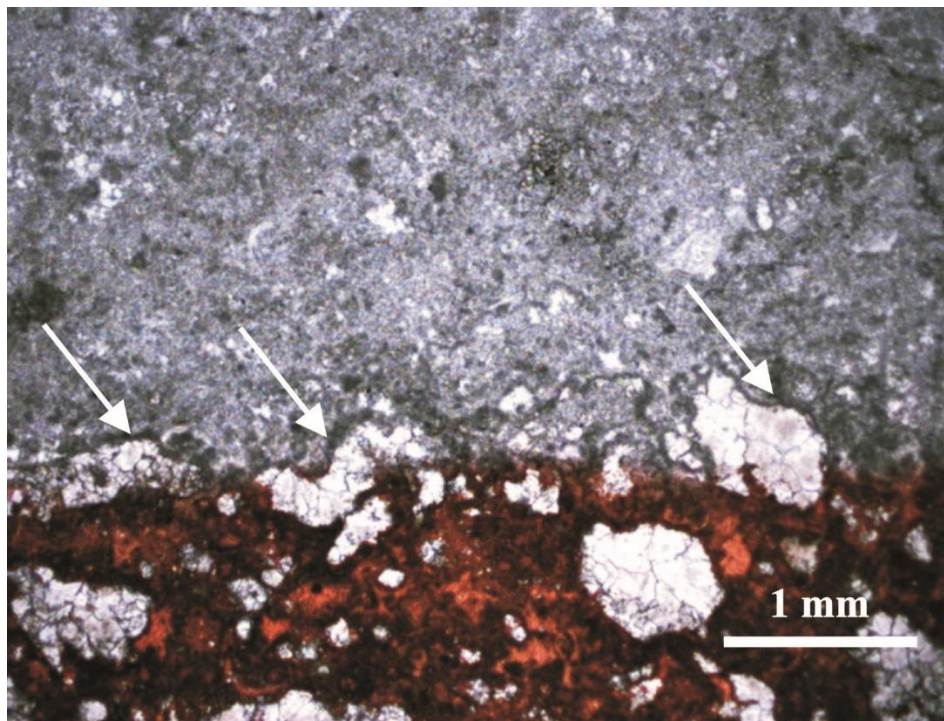
Slika 5.7 Mikrofotografija uzorka T 7-2 na kojoj je prikazana humčasta struktura od mikrita nastala djelovanjem slabih struja. Humčaste nakupine mikrita su prikazane crnom strelicom, dok su bijelom prikazane kavernozne strukture ispunjene sparitom nastale ispiranjem. Desni dio uzorka je obojen.

Jedna od često prisutnih mikrobijalnih mikrostrukturnih karakteristika je i prisustvo mikrobijalnih **niti**. U uzorku T 7.1 prisutne su duže ili kraće nitaste mikrobijalne forme (slika 5.8) koje odgovaraju izduženim bakterijskim nitima kako ih opisuju Hips i Haas (2006). Mikrobijalne niti su nitaste forme mikrobijalnog mikrita koje mogu imati spiralan ili naboran oblik. Hips i Haas (2006) smatraju da su nastale agregacijom kalcificiranih nitastih cijanobakterija. Mikrobijalne niti mogu tvoriti svežnjeve, koji ponekad tvore čitave lamine, ali se ponekad vide i kao izolirane razlomljene naborane niti unutar detritičnih lamina (Hips & Haas, 2006). Hips i Haas (2006) su zapazili da se mikrobijalne niti uglavnom pojavljuju zajedno sa mikritnim grudicama.

U uzorku T 7-1 (slika 5.8) vidimo kako izdužene mikrobijalne niti obavijaju makrokristale sparita. U uzorku T 6-1 (slika 5.9) vidimo makrokristale sparita djelomično obavijene tamnim rubovima koji bi mogli odgovarati mikrobijalnim nitima. Ovakve forme podsjećaju na mikrosfere koje su opisali Kershaw et al. (1999), te mogu prikazivati početak njihovog nastajanja.

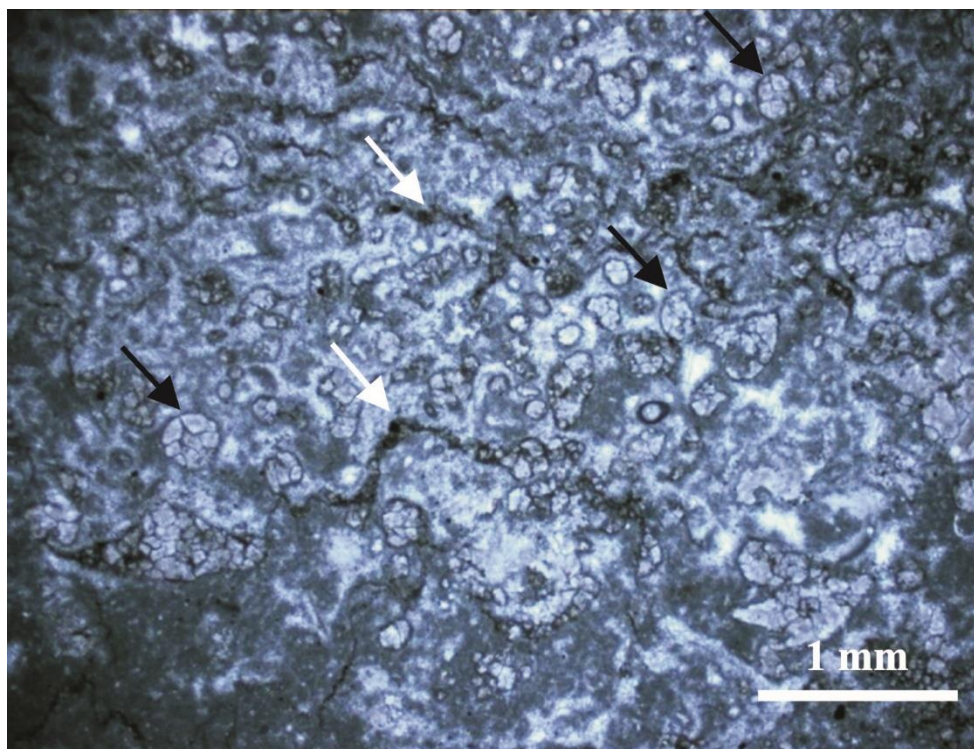


Slika 5.8 Mikrofotografija uzorka T 7-1 koja prikazuje mikrobijalne niti koje obavijaju makrokristale sparita. Mikrobijalne niti su označene bijelom strelicom.



Slika 5.9 Mikrofotografija uzorka T 6-1. Bijelom strelicom su označeni makrokristali sparita obavijeni mikrobijalnim nitima. Donji dio uzorka je obojen



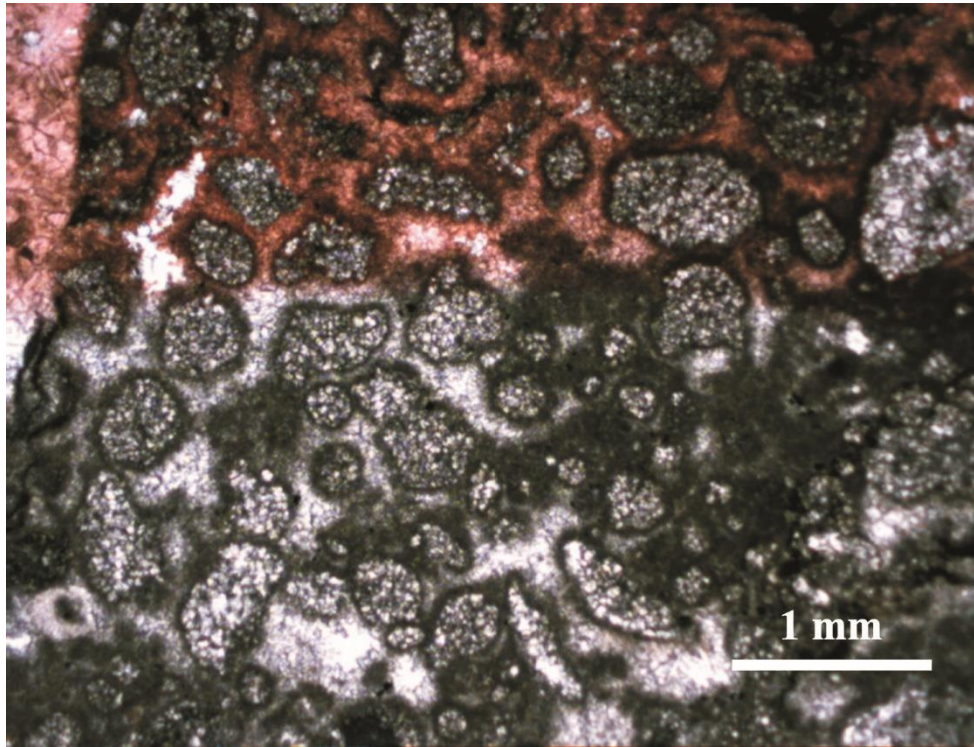


Slika 5.10 Mikrofotografija uzorka ID-4 prikazuje mikrosfere zajedno sa mikrobijanim nitima. Mikrosfere su označene crnom strelicom, dok su mikrobijalne niti označene bijelom strelicom.

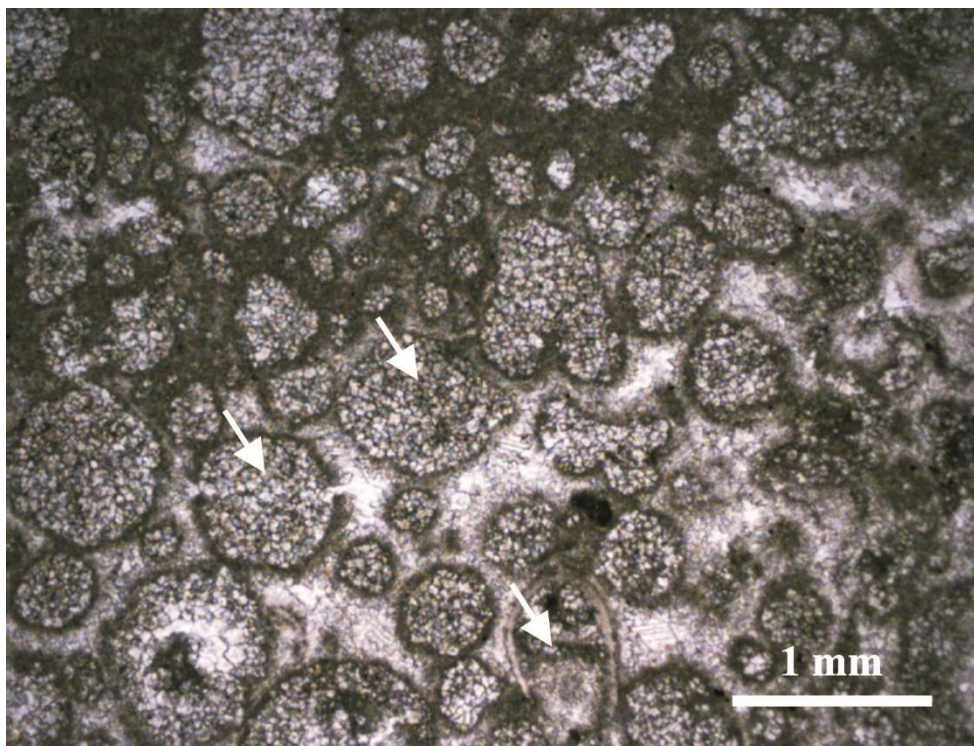
Suprotno tome, u uzorcima ID-4 i T 4-10 prikazanim na slikama 5.10, 5.11 i 5.12 vide se jasne mikrosfere kao zasebne čestice.

Mikrosfere (*microspheres* prema Kershaw et al. 1999). imaju uglavnom okruglasti, elipsoidalan, rjeđe nepravilan oblik. Dimenzije su različite (obično oko 300-500  $\mu\text{m}$ ). Vanjski rub mikrosfera je taman i sastoji se od mikrita. Unutrašnjost je sparikalcitna/dolomitna. Između mikrosfera prisutan je sparit. Zajedno sa mikrosferama ponekad se vide i izdužene mikrobijalne niti (slika 5.10)

Mikrosfere nisu potpuno definirani sastojci ranotrijaskih sedimenata. Prema karakteristikama koje su opisane u uzorku ID-4 jasno je da mikrosfere predstavljaju zrna/detritus. Njihovo porijeklo nije sasvim jasno. Hips i Haas (2006) opisuju da na mikrobijalne taloge utječu slabe struje.



Slika 5.11 Mikrofotografija uzorka T 4-10 prikazuje mikrosfere različitih veličina i oblika. Gornji dio uzorka je obojen



Slika 5.12 Mikrofotografija uzorka T 4-10 prikazuje mikrosfere različitog porijekla. Bijelom strelicom označene su mikrosfere fosilnog porijekla, nastale od ostrakoda.

U uzorku T 4-10 vidimo mikrosfere različitog oblika. Uglavnom su sferičnog i elipsoidalnog oblika. Svojim oblikom (slika 5.12) neke mikrosfere mogu se interpretirati kao ispuna ljuštore ostrakoda, te su takve mikrosfere nedvojbeno fosilnog porijekla. U donjem dijelu slike između mikrosfera nalazi se sparit, dok je u gornjem dijelu slike vezivo dominantno mikritno.

Iz navedenog se može zaključiti da je dio mikrosfera fosilnog porijekla (ostrakodi), kao što to navode i Kershaw et al. (1999), no za neke se mikrosfere može pretpostaviti da su nastale obavijanjem makrokristala kalcita/dolomita mikrobijalnim nitima. To znači znači da bi i mikrosfere mogle imati, barem djelomično, mikrobijalno porijeklo.

## 6. ZALJUČAK

U ovom radu proučavani su mikrostrukturni elementi mikrobijalnih taloga koji se pojavljuju na permo-trijaskoj granici u sjeverozapadnoj Sloveniji. Uzeti su uzorci sa lokaliteta Idrijca i Masore. Promatrani mikrobijalni mikrostrukturni elementi iz slovenskih uzoraka uspoređeni su sa mikrostrukturnim elementima iz već istraženih mikrobijalita u permo-trijaskim naslagama u sjevernoj Mađarskoj (planina Bükk) i južnoj Kini (provincija Sechuan). Cilj detaljnog proučavanja mikrostrukturnih elemenata iz literature bio je dokazivanje mikrobijalnog porijekla taloga s lokaliteta Idrijca i Masore u Sloveniji.

U kasnom permu i ranom trijasu područja Slovenije, sjeverne Mađarske i južne Kine bila su rubni dio nekadašnjeg oceana Paleotethysa, te su na tim područjima vladali plitkomorski taložni uvjeti te okoliši karbonatne rampe (zapadni rub Paleotethysa – Mađarska i Slovenija) i karbonatnih platformi (istočno područje Tethysa – Kina). U takvom okolišu krajem perma talože se fosiliferne vapnenci, najčešće biospariti/grejnstoni i biomikriti/pekstoni. Brojnost fosila u permskim naslagama, od kojih ima najviše algi i ljuštura školjkaša, ukazuje da je taložni okoliš bio smješten plitko, u fotičnoj zoni. Prisutnost sparita i fragmentiranost fosila ukazuje na okoliš srednje do visoke energije. Osim vapnenaca, u permo-trijaskim naslagama od karbonata se pojavljuju i dolomiti od kojih su neki nastali evaporitizacijom u suhim uvjetima plitkih okoliša.

Nakon perma u naslagama se primjećuje degradacija biote. Smatra se da je nakon permskog masovnog izumiranja došlo do naglog bujanja mikrobijalne faune koja se neometano razvijala u odsustvu viših organizama. Brojnost mikroba i uzdizanje dubokooceanskih niskooksičnih voda bogatih bikarbonatima dovelo je do stvaranja mikrobijalnih karbonatnih taloga koji su prekrivali najmlađe, fosilima bogate permske karbonate. Uzdizanje voda bogatih bikarbonatom prema šelfu dovelo je u tim područjima do supersaturacije kalcijevim karbonatom i precipitacije potaknute djelovanjem mikroba. Mikrobijalni pokrov na prijelazu iz perma u trijas javlja se u obliku stromatolita (Mađarska, Slovenija), trombolita (Kina), te dendrolita (Kina).

Dokaz mikrobijalnog porijekla karbonatnih taloga može se odrediti po mikrostrukturnim elementima. U Sloveniji, Mađarskoj i Kini u mikrobijalnim naslagama uočeni su slijedeći karakteristični mikrostrukturni elementi: **sferični oblici i njihove nakupine, grmoliki agregati mikritnih grudica, izdužene mikrobijalne niti i peloidi.**

Adachi et al. (2004) i Hips & Haas (2006) su **sferične oblike** na temelju mikroskopskog promatranja definirali kao kalcificirane kokoidne cijanobakterije u kojima možemo razlučiti jezgru i ovojnicu. Izdužene **mikrobijalne niti** su kalcificirani duguljasti mikrobi. **Peloidi** su zrna mikritnog sastava različitog porijekla. Adachi et al. (2004) interpretiraju da su određeni peloidi iz kineskih permo-trijaskih naslaga također mikrobijalnog porijekla. Dokaz mikrobijalnog porijekla tih peloida su očuvane kalcificirane kokoidne cijanobakterije koje se nalaze unutar njih. Takve peloidne uočavamo i u mikrobijalnim laminama u ranim trijaskim naslagama na lokalitetu Idrijca (slika 5.6).

Glavna mikroteksturalna karakteristika permo-trijaskih mikrobijalita je izmjena tamnih i svijetlih lamina. Tamne lamine predstavljaju striktno mikrobijalno porijeklo i bogate su mikritom. Prisutnost mikrita u mikrobijalnim laminama ukazuje da mikrobijaliti mogu nastati samo u okolišima niste energije. Svijetle lamine su nastale donosom detritičnog materijala i predstavljaju razdoblja kad se uslijed povećanja energije okoliša prekinuo razvoj mikroba i mikrobijalna precipitacija kalcijevog karbonata. Prisutnost fosila (konodonti, foraminifere) u mikrobijalitimama ukazuje da su se oksidni uvjeti uspostavili relativno brzo nakon izumiranja.

U kineskim permo-trijaskim naslagama Kershaw (1999) je uočio posebne mikrostrukturne elemente - **mikrosfere**. To su sferične karbonatne detritične čestice koje imaju jasan mikritni rub, a unutrašnjost im je ispunjena sparitom. Iz oblika nekih mikrosfera da se zaključiti da su fosilnog porijekla, točnije da su nastale rekristalizacijom ostrakoda. U uzorcima s lokaliteta Idrijca uočene su pojave mikrosfera zajedno sa mikrobijalnim nitima (slika 5.10), te mikrobijalne niti kako obavijaju makrokristale sparita (slika 5.9). Iz toga se može zaključiti da je porijeklo nekih mikrosfera s istraženih lokaliteta Idrijca i Masore mikrobijalno, te da njihov mikritni rub predstavlja izdužene mikrobijalne niti koje su obavile sparitnu jezgru uslijed kotrljanja makrokristala sparita.

## 7. LITERATURA

Adachi N., Ezaki, Y., Liu, J., (2004): The fabrics and origins of peloids immediately after end- Permian extinction, Guizhou Province, South China. *Sedimentary Geology* 164, 161-178.

Hips, K., Haas, J., (2006): Calcimicrobial stromatolites at the Permian-Triassic boundary in western Tethyan section, Bükk Mountains, Hungary. *Sedimentary Geology* 185, 239-253.

Kershaw, S., Zhang, T.S., Lan, G.Z., (1999): A ? microbialite carbonate crust at the Permian-Triassic boundary in South China, and its paleoenvironmental significance. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 146, 1-18.

Kershaw, S., Guo, L., Swift, A., Fan, J. S., (2002): ?Microbialite carbonate crust at the Permian-Triassic interval in central China: structure, age and distribution. *Facies* 47, 83-90.

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

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*, 117/1; 115-133.

Kolar-Jurkovšek, T., Jurkovšek, B., Aljinović, D., Nestell, G., Smirčić, D. (2015): Microbial deposits in the Permian-Triassic boundary interval of the Slovenian Dinarides. *XVIII International congress on the Carboniferous and Permian, Abstract Volumen / Nurgaliev, Danis K. (ur.). Kazan, Rusija: Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University, 95-95.*

Kolar-Jurkovšek, T., Jurkovšek, B., Nestell, G., Aljinović, D., (2017 u tisku): Reinterpretation of the biostratigraphy and sedimentology of the Upper Permian and Lower Triassic strata of the Masore section, Western Slovenia, *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*.

Nestell, G., Kolar-Jurkovšek, T., Jurkovšek, B., Aljinović, D. (2011): Foraminifera from the Permian-Triassic transition in western Slovenia. *Micropaleontology*. 57/ 3; 197-222.

Sepkoski, J.J. (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.