

# Karakteristike litofacijesa miocenskih naslaga u okolini Voćina

---

**Maruna, Petar**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*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:169:162409>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-03**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij geološkog inženjerstva

**KARAKTERISTIKE LITOFACIJESA MIOCENSKIH NASLAGA U OKOLICI  
VOĆINA**

Diplomski rad

Petar Maruna

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
HR-10002 Zagreb, Pierottijeva 8, p. p. 390

OBRAZAC SUSTAVA UPRAVLJANJA KVALITETOM

KLASA: 602-01/24-01/93  
URBROJ: 251-70-14-24-1  
U Zagrebu, 12.09.2024.

**Petar Maruna, student**


## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/93, URBROJ: 251-70-14-24-1 od 10.06.2024. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### KARAKTERISTIKE LITOFACIJESA MIOCENSKIH NASLAGA U OKOLICI VOĆINA

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Doc.dr.sc. Duje Smirčić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor:




(potpis)

Doc.dr.sc. Duje Smirčić

(titula, ime i prezime)

Predsjednica povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:



(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Ana Maričić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:



(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

Oznaka: OB 8.5.-1 SRF-1-13/0

Stranica: 1/1

Čuvanje (godina) Trajno

## KARAKTERISTIKE LITOFACIJESA MIOCENSKIH NASLAGA U OKOLICI VOĆINA

Petar Maruna

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

### Sažetak

Terenskim istraživanjem detaljno je istraženo područje neposredne okolice Voćina, prilikom kojeg su snimljeni sedimentološki sljedovi i prikupljeni uzorci stijena u sklopu istraživanja na znanstvenom projektu financiranom od strane Hrvatske zaklade za znanost – GEODEP (UIP2019-04-3846). Snimljena su četiri sedimentološka slijeda miocenskih naslaga (VOC-A, VOC-C, VOC-D i VOC-E). Mikropetrografski je analizirano 47 preparata i pritom je određeno četiri litofacijesa – biokalkruditi, biokalkareniti, lapor i vapnenci. Unutar litofacijesa lapora prepoznato je pet različitih litotipova – homogeni lapor, laminirani lapor, siltozni lapor, pjeskoviti lapor i silicificirani lapor. Opisane su genetske karakteristike litofacijesa te se može zaključiti kako biokalkruditi i biokalkareniti nastaju trošenjem i erozijom postojećih, uglavnom vapnenačkih stijena, s manjim udjelom siliciklastične komponente. Novonastali klasti povremeno su doneseni gravitacijskim tokovima u dubljevodni okoliš. Tome svjedoče tekture kose i horizontalne laminacije u biokalkarenitu, kao i karakteristike detritnog toka u biokalkruditu. U dubljevodnom okolišu se u vrijeme izostanka gravitacijskih tokova iz suspenzije talože lapori u čijem sastavu se nalaze planktonski organizmi i maleni udio siltozne/pjeskovite komponente. Litofacijes vapnenaca obilježen je pojavama tankih mikritnih slojeva koji su nastali precipitacijom karbonatnih čestica u mirnom i dubljem marinskom okolišu uz izostanak kopnenog donosa materijala..

Ključne riječi: miocen, Voćin, biokalkrudit, biokalkarenit, lapor, litofacijes  
Završni rad sadrži: VI + 32 stranice, 5 tablica, 22 slika, 4 priloga, i 38 reference.  
Jezik izvornika: Hrvatski  
Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb  
Mentor: Doc. dr. sc. Duje Smirčić  
Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Duje Smirčić  
Izv. prof. dr. sc. Marko Cvetković  
Izv. prof. dr. sc. Uroš Barudžija

LITHOFACIES CHARACTERISTICS OF MIOCENE DEPOSITS IN THE VICINITY OF VOĆIN

Petar Maruna

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

Abstract

Field research was carried out in the vicinity of Voćin. Sedimentological sections were recorded and rock samples were collected while conducting research for a project financed by Croatian Scientific Foundation GEODEP (UIP2019-04-3846). Four sedimentological sections (VOC-A, VOC-C, VOC-D and VOC-E) in miocene deposits were sampled. A total of 47 thin sections were obtained and micropetrographically analyzed. Four lithofacies were determined - biocalcrudites, biocalcarenites, marls and limestones. Marl lithofacies is differentiated into five lithotypes – homogenous marl, laminated marl, silty marl, sandy marl and silicified marl. Genetical characteristics were discussed and described, leading to the conclusion that biocalcrudites and biocalcarenites are formed due to weathering and erosion of dominantly carbonate rocks, with minor siliciclastic components. Newly formed clasts are episodically transported via gravity currents to deeper marine areas. Cross and horizontal lamination in biocalcarenites support this interpretation, as well as the debris flow characteristics of the biocalcrudite. During the periods of erosional standstill, marls were deposited in the deeper marine areas with minor content of silty/sandy grains and abundant plankton organisms. Limestone lithofacies is characterized by thin micrite beds formed by precipitation of carbonate particles in a calm and deeper environment with the absence of continental input.

Keywords: Miocene, Voćin, biocalcrudite, biocalcarenite, marl, lithofacies

Thesis contains: VI + 32 pages, 5 tables, 22 figures, 4 appendixes and 32 references.

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisors: Assistant Professor Duje Smirčić, PhD dipl. ing.

Reviewers: Assistant Professor Duje Smirčić, PhD dipl. ing.

Assoc. Prof. Marko Cvetković, PhD dipl. ing.

Assoc. Prof. Uroš Barudžija, PhD dipl. ing.

## SADRŽAJ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. UVOD .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2. GEOGRAFSKE I GEOLOŠKE ZNAČAJKE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA.....</b> | <b>3</b>  |
| 2.1. Geografske značajke područja istraživanja .....                | 3         |
| 2.2. Geološke značajke područja istraživanja .....                  | 5         |
| <b>3. METODE ISTRAŽIVANJA .....</b>                                 | <b>11</b> |
| 3.1. Terenske metode .....  | 11        |
| 3.2. Laboratorijske metode .....                                    | 12        |
| <b>4. REZULTATI .....</b>   | <b>13</b> |
| 4.1. Stup VOC-A .....   | 13        |
| 4.2. Stup VOC-C .....   | 15        |
| 4.3. Stup VOC-D .....   | 15        |
| 4.4. Stup VOC-E .....   | 16        |
| 4.5. Odredba litofacijesa.....                                      | 18        |
| <b>5. RASPRAVA .....</b>  | <b>23</b> |
| <b>6. ZAKLJUČAK.....</b>  | <b>25</b> |
| <b>7. PRILOZI .....</b>   | <b>27</b> |
| <b>8. LITERATURA .....</b>  | <b>31</b> |

## POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| Slika 1-1: Geografska karta okolice Voćina sa prikazanom početnom (crvena boja) i krajnjom točkom istraživanja (žuta boja). Koordinate su prikazane u WGS 84 koordinatnom sustavu. ....          | 1  |
| Slika 1-2: Geološka karta istraživanog područja (isječak iz Osnovne geološke karte, 1:100 000 list Orahovica, Jamičić et al., 1987). Crnim je kvadratićem označeno istraživano područje. ....    | 2  |
| Slika 2-1: Geografski prikaz Panonskog bazenskog sustava. Preuzeto i uređeno s interneta ( <a href="https://www.azu.hr/">https://www.azu.hr/</a> ). ....   | 3  |
| Slika 2-2: Geografski prikaz područja istraživanja. Preuzeto i uređeno s interneta ( <a href="https://hr.maps-croatia.com/">https://hr.maps-croatia.com/</a> ). ....                             | 4  |
| Slika 2-3: Prikaz stratigrafije i sedimentologije SHB. Usporedba neogenskih razdoblja Središnjeg Paratetisa i Mediterana, kao i prikaz faza rifta na tom području (Pavelić i Kovačić, 2018)..... | 6  |
| Slika 2-4: Položaj Sjevernohrvatskog bazena i bazena Hrvatskog Zagorja, kao i najvećih depresija na području sjeverne Hrvatske (Pavelić i Kovačić, 2018).. ....                                  | 8  |
| Slika 3-1 A: Biokalkruditi sloj debljine 50ak cm koji positnjava u biokalkarenit. Stup VOC-A. ....   | 11 |
| Slika 3-1 B: Česta tekstura biokalkarenita je horizontalna laminacija. Detalj slika u slijedu VOC-A.....   | 11 |
| Slika 3-1 C: Nepravilna, valovita i oštra erozijska granica između smeđeg lapora u donjem dijelu i debelog intervala biokalkrudita u gornjem dijelu.....   | 11 |
| Slika 3-1 D: Izmjena svijetlije i tamnije sivih lapora, cijeli interval je horizontalno laminiran. Detalj sa slijeda VOC-E.....  | 11 |
| Slika 4-1: Preparat VOC A 6,5, biokalkruditi s fragmentima školjkaša, foraminiferama (Numulites), kvarcom (bijelo) i litoklastima vapnenaca (crno). ....   | 18 |
| Slika 4-2: Preparat VOC A 40,80, biokalkruditi sa fosilima mahovnjaka, litoklastima i siliciklastima. ....   | 18 |
| Slika 4-3: Preparat VOC A 29,40, s foraminiferama i fragmentima ježinaca. ....   | 19 |
| Slika 4-4: Preparat VOC D 5,00, klast lapora u biokalkarenitu. ....  | 19 |

|  |    |
|--|----|
| Slika 4-5 A: Preparat VOC A 44,60, „običan“ lapor sa planktonskim foraminiferama.....                    | 21 |
| Slika 4-5 B: Preparat VOC E 46,30, „običan“ lapor sa organskom materijom u ljušturama foraminifera. .... | 21 |
| Slika 4-5 C: VOC A 35,20 IV, laminirani lapor. ....  | 21 |
| Slika 4-5 D: VOC D 3,80, laminirani lapor (lamine pijeska i lapora). ....                                | 21 |
| Slika 4-5 E: VOC E 17,20, pjeskoviti homogeni lapor sa bioklastima. ....                                 | 21 |
| Slika 4-5 F: VOC A 35,20 III, siltozni lapor. ....   | 21 |
| Slika 4-6: Preparat VOC E 65,80, mudstone s ljušturama mikrogastropoda. ....                             | 22 |
| Slika 4-7: Preparat VOC E 71,20, lamine vapnenca i lapora. ....  | 22 |



## **POPIS TABLICA**

|  |    |
|--|----|
| Tablica 2-1: Podjela pred neogenskih stijena Slavanskog gorja na različite komplekse.<br>..... | 6  |
| Tablica 4-1: Popis preparata i njihova klasifikacija stupa VOC-A. ....                         | 14 |
| Tablica 4-2: Popis preparata i njihova klasifikacija stupa VOC-C. ....                         | 15 |
| Tablica 4-3: Popis preparata i njihova klasifikacija stupa VOC-D. ....                         | 16 |
| Tablica 4-4: Popis preparata i njihova klasifikacija stupa VOC-E. ....                         | 17 |

## **POPIS PRILOGA**

|   |    |
|---|----|
| Prilog 7-1: Geološki stup VOC-A. Nacrtao Doc. dr. sc. Duje Smirčić..... | 27 |
| Prilog 7-2: Geološki stup VOC-C. Nacrtao Doc. dr. sc. Duje Smirčić..... | 28 |
| Prilog 7-3: Geološki stup VOC-D. Nacrtao Doc. dr. sc. Duje Smirčić..... | 28 |
| Prilog 7-4: Geološki stup VOC-E. Nacrtao Doc. dr. sc. Duje Smirčić..... | 29 |

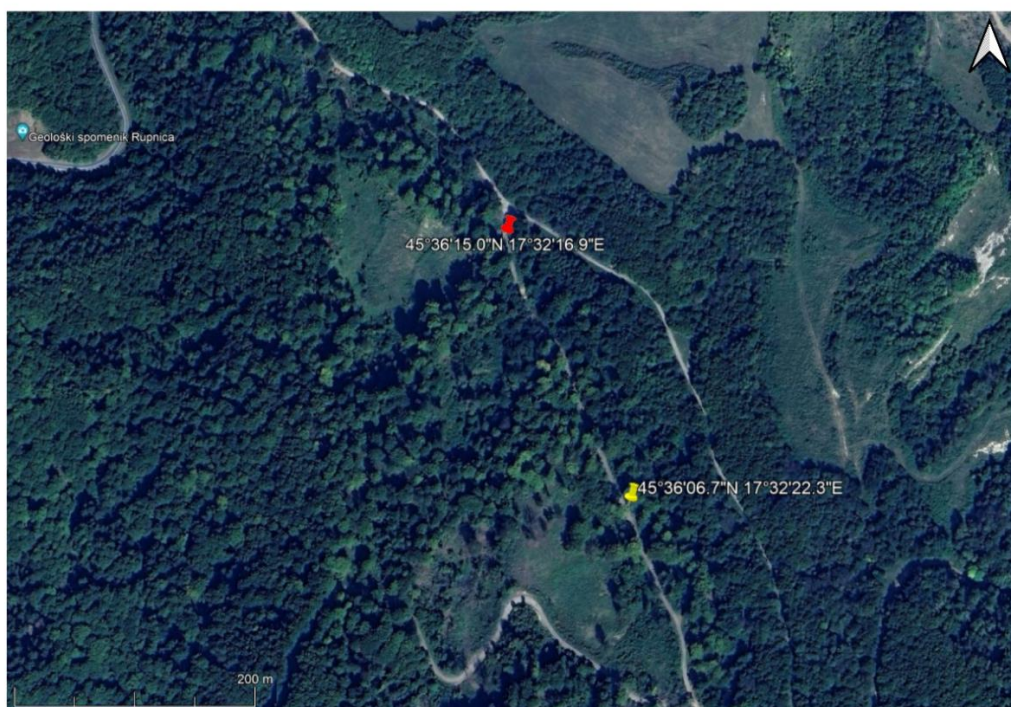
## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

| Oznaka   | Jedinica        | Opis           |
|----------|-----------------|----------------|
| <i>L</i> | cm              | duljina        |
| <i>L</i> | m               | duljina        |
| <i>A</i> | km <sup>2</sup> | površina       |
| <i>t</i> | Ma              | milijun godina |

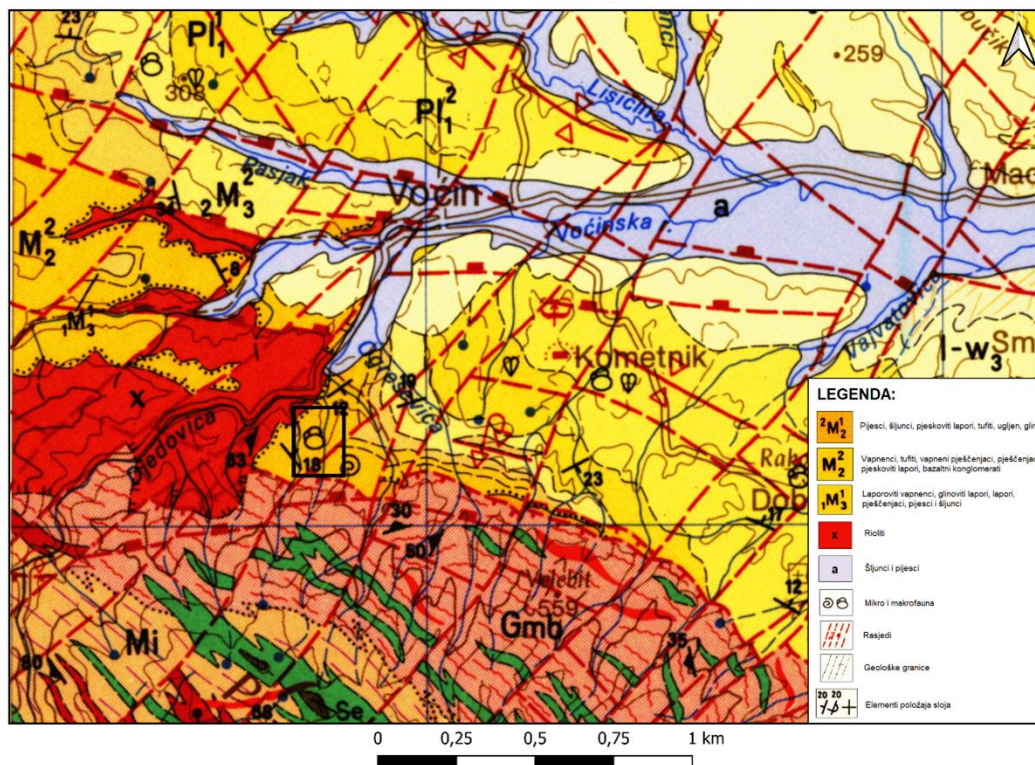
## 1. UVOD

Neposredno uz geološki spomenik prirode Rupnica, 2 km južno od mjesta Voćin nalazi se istraživano područje koje je obuhvaćeno u ovom radu (**slika 1-1 i 1-2**). Iako je šire područje lokaliteta poznato po magmatskim i metamorfnim stijenama, ovaj se rad bavi istraživanjem sedimentnih stijena miocenske starosti.

Cilj istraživanja diplomskog rada bila je odredba karakteristika litofacijesa miocenskih naslaga istraživanog područjau sklopu provođenja istraživanja na znanstvenom projektu financiranom od strane Hrvatske zaklade za znanost – GEODEP (UIP2019-04-3846). Na temelju uzoraka prikupljenih terenskim istraživanjem dobiveno je 47 preparata, koji su potom mikropetrografski analizirani u laboratoriju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta. Terenskim istraživanjem zabilježena su četiri sedimentološka stupa, tj. slijeda naslaga. Analizom slijeda sedimenata interpretirani su ciklusi taloženja, određeni su taložni okoliši i procesi nastanka prethodno identificiranih litofacijesa, te je dan uvid u moguću starost naslaga, s obzirom na ranije poznata litostratigrafska istraživanja prikazana u radu Pavelić i Kovačić (2018).



**Slika 1-1:** Geografska karta okolice Voćina s prikazanom početnom (crvena boja) i krajnjom točkom istraživanja (žuta boja). Koordinate su prikazane u WGS 84 koordinatnom sustavu.



**Slika 1-2:** Geološka karta istraživanog područja (isječak iz Osnovne geološke karte, 1:100 000 list Orahovica, Jamičić et al., 1987). Crnim je pravokutnikom označeno istraživano područje.



## 2. GEOGRAFSKE I GEOLOŠKE ZNAČAJKE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

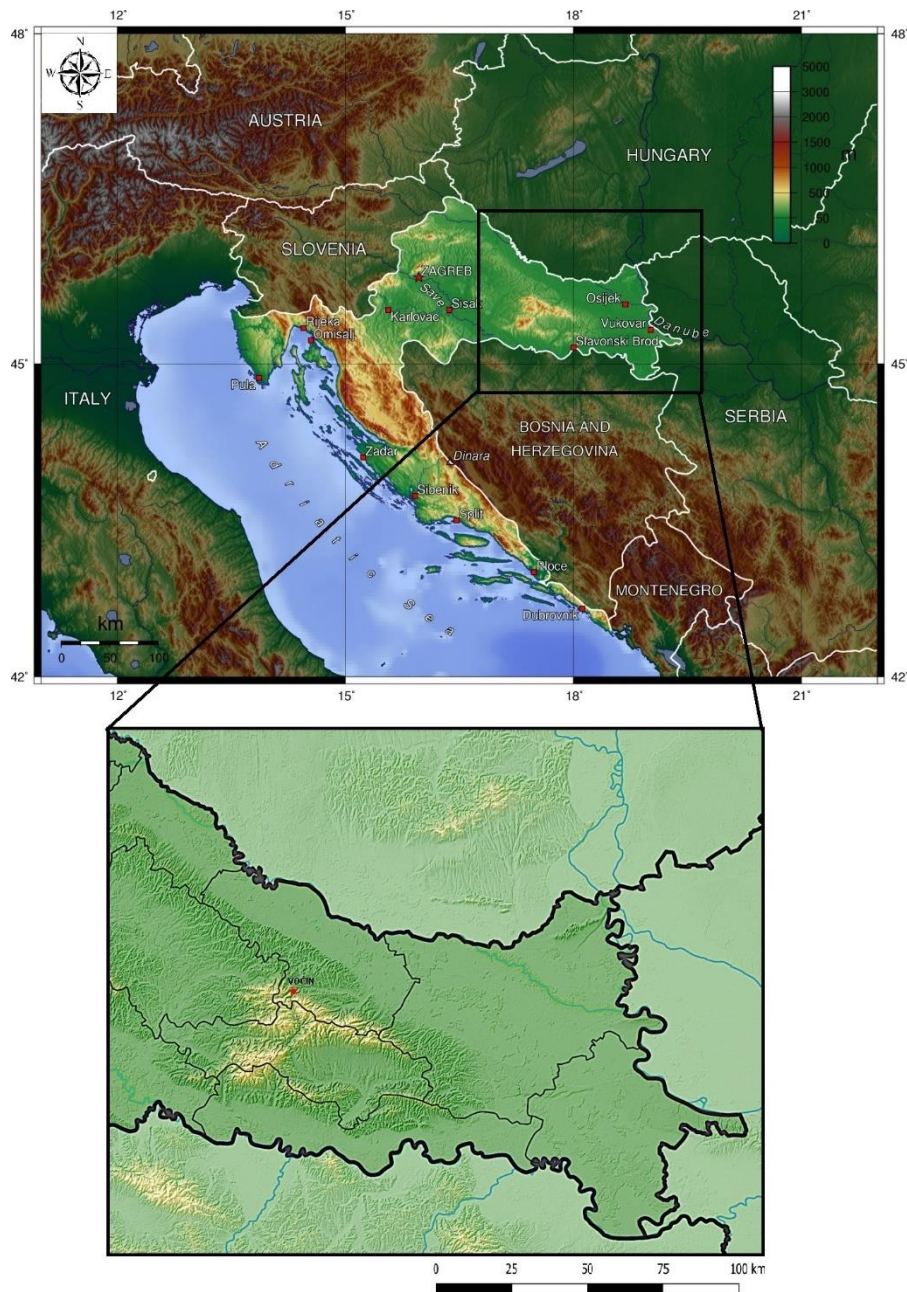
### 2.1. Geografske značajke područja istraživanja

Panonski bazenski sustav (PBS) je sedimentacijski bazenski sustav koji geografski dominantno pripada području istočne Europe. PBS se sastoji od niza manjih bazena. Obuhvaća područje cijele Mađarske, dijelove sjeverne Hrvatske, sjeverne Srbije, zapadne Rumunjske, južne Slovačke, te istočne Austrije. PBS je ograničen masivnim planinskim lancima – Dinaridima na jugu, Karpatima na zapadu i sjeveru, te Alpama na istoku (slika 2-1). Dio Panonskog bazenskog sustava koji se nalazi u sjeveroistočnoj Hrvatskoj se naziva Sjevernohrvatski bazen (SHB), dok dio sjeverozapadne Hrvatske pripada bazenu Hrvatskog Zagorja ili BHZ (Pavelić i Kovačić, 2018).



Slika 2-1: Geografski prikaz Panonskog bazenskog sustava.

Voćin je naselje koje se nalazi u zapadnoj Slavoniji, Virovitičko-podravskoj županiji (slika 2-2). Smješteno je na sjevernim obroncima gore Papuk, sjeverozapadno od Slatine i istočno od Daruvara. Papuk, zajedno sa Krndijom, Ravnom gorom, Psunjem, Požeškom gorom i Dilj gorom čini tzv. „otočne“ ili Slavonske gore (Horvat et al., 2018). Uz naselje teče Voćinski potok, na 210 metara apsolutne visine.



**Slika 2-2:** Geografski prikaz područja istraživanja.

Istraživano se područje nalazi 2 km od središta Voćina. U neposrednoj blizini istraživanog područja je geološki spomenik prirode Rupnica, prvi takav u Hrvatskoj, zaštićen od 14. 10. 1948. godine. Karakterizira ga dobro očuvano stupasto lučenje albitskog riolita.

## 2.2. Geološke značajke područja istraživanja

### Regionalna geologija

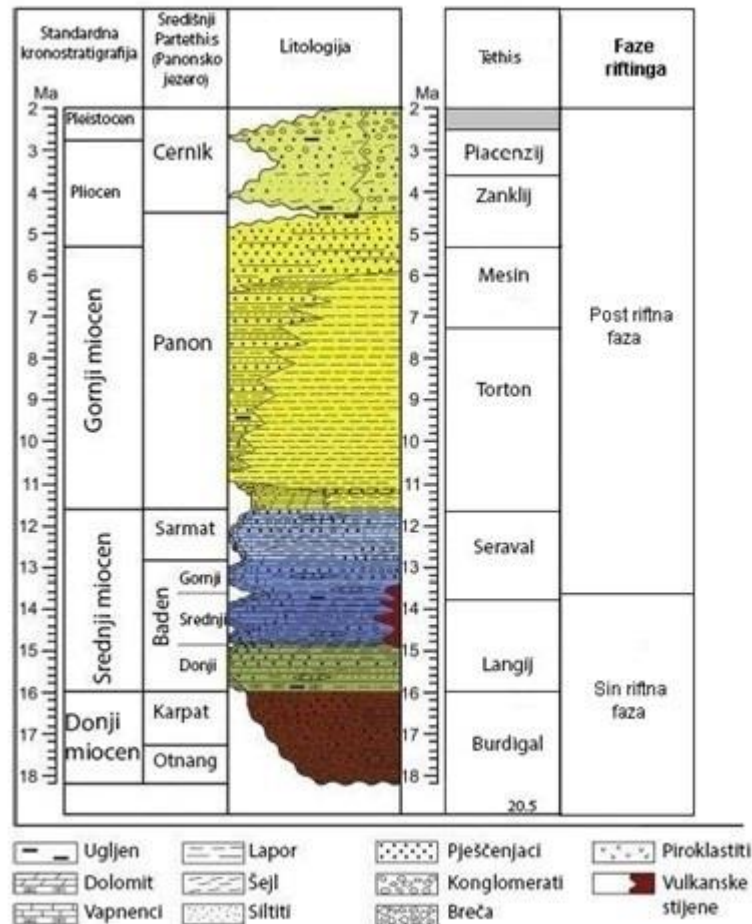
Paleogeografija paleogena i neogena na prostoru Tetisa i Paratetisa izrazito je dinamična. Iako je tijekom paleocena Tetiski ocean prekrivao velike dijelove današnje Europe, tijekom eocena dolazi do kolizije Afričke i Eurazijske tektonske ploče, čime se izdižu brojni planinski lanci – primjerice Alpe, Dinaridi i Helenidi. Kako se ovi planinski lanci formiraju, Zapadni Tetis se dijeli na dva dijela – južni, današnje Sredozemno more i sjeverni, nazvan Paratetis, ostatak kojega je jezero Balaton u Mađarskoj (Rögl, 1999; Royden, 1988; Horváth, 1995; Pavelić, 2001; Ustaszewski et al., 2014).

Ta dva odvojena morska sustava ipak su ostala povezana nekolicinom vodenih puteva preko Alpa tijekom većeg dijela donjeg miocena. Osim što su međusobno bila povezana, postojala je i veza sa današnjim Sjevernim morem i Indo – Pacifičkim oceanom (Matošević et al., 2023). Veze s otvorenim morem postupno su slabile, te na koncu bivaju prekinute krajem srednjeg miocena (granica sarmat - panon) (Pavelić i Kovačić, 2018). Taj događaj ujedno označava početak oslađivanja bazenskih sustava, a time ujedno i Sjevernohrvatskog bazena. (Pavelić, 2001; Popov et al., 2004; Harzhauser i Piller, 2007; Kováč et al., 2007, 2017; Piller et al., 2007).

Uslijed različitih tektonskih pokreta, vulkanske aktivnosti i zapunjavanja taložnog prostora donosima aluvijalnog materijala, mnogi bazeni bivaju ispunjeni raznovrsnim materijalom ili međusobno izolirani. Pritom, prije otprilike 11,6 Ma na granici sarmata i panona, nastaje brakično Panonsko jezero, čijim se daljnjim postupnim zapunjavanjem tijekom cernika, u pliocenu, formira Slavonsko jezero (Mandic et al., 2015).

Zbog toga dolazi do razlike u razvoju neogena na području Središnjeg Paratetisa, od onoga na području Sredozemlja. Posljedično tomu, razlikuje se i kronostratigrafija, što je vidljivo po različitim nazivima za pojedina razdoblja na koja se miocen dijeli. Nazivi razdoblja tijekom miocena na području Središnjeg Paratetisa vidljivi su na **slici 2-3** (Pavelić i Kovačić, 2018).





**Slika 2-3:** Prikaz stratigrafske razdiobe i generalnog litološkog sastava SHB s usporedbom razvoja neogena Središnjeg Paratetisa i Tetisa (Pavelić i Kovačić, 2018).

### Podloga neogenskih naslaga

Jezgre Slavonskih otočnih planina predstavljaju najstarije stijene na ovom području. To su magmatske, metamorfne i sedimentne stijene nastale predhercinskom i hercinskom orogenezom (karbon), kao i stijene nastale alpskom orogenezom (granica kreda – paleocen do kraja pliocena). Moguće ih je podijeliti u više različitih kompleksa prikazanih u **tablici 2-1**.

**Tablica 2-1:** Podjela pred neogenskih stijena Slavenskog gorja na različite komplekse.

|    | NAZIV  | STAROST                                      |
|----|--|--|
| 1. | Psunjsko-kutjevački metamorfni kompleks                              | 528 Ma (kambrij) i<br>465 Ma (ordovicij)     |
| 2. | Papučko-jankovački metamorfni kompleks                               | oko 390, 373 Ma (devon)<br>i 330 Ma (karbon) |
| 3. | Radlovački metamorfni kompleks                                       | oko 100 – 80 Ma (gornja<br>kreda)            |
| 4. | Slijed Pz – Mz naslaga koje prekrivaju preko<br>kristalinske podloge | od perma do jure                             |
| 5. | Gornjokredni kompleks granita A-tipa (tzv.<br>Požeški graniti)       | 83,6 +/- 1,5 Ma (gornja<br>kreda)            |
| 6. | Gornjokredni rioliti na lokalitetu Rupnica kraj<br>Voćina            | 84 Ma (gornja kreda)                         |

Psunjsko-kutjevački metamorfni kompleks izgrađen je od metamorfnih stijena metamorfoziranih do stupnja amfibolskog facijesa ili facijesa zelenih škriljavaca. Lokalno je moguće pronaći I-tip granita koji presijeca metamorfne stijene. Papučko-jankovački metamorfni kompleks čine metamorfne stijene amfibolitnog facijesa, zajedno sa S-tipom granita i migmatitima. Metamorfne stijene niskog stupnja metamorfizma čine radlovački metamorfni kompleks. To su slejtovi, metagrauvake, metakonglomerati i filiti. Paleozojsko-mezozojske naslage moguće je pronaći na zapadnim dijelovima Papuka i Ravne gore, a izgrađuju istočno, blago nagnuto krilo sinklinale. Uz Požeške granite (granite A-tipa) se pojavljuju bazalti gornjokredne starosti, dok se na lokalitetu Rupnica pojavljuju još i gornjokredni albitski rioliti. (Jamičić, 1983; Pamić et al., 1997; Balen et al. 2015; Balen et al. 2020).

### **Panonski bazenski sustav**

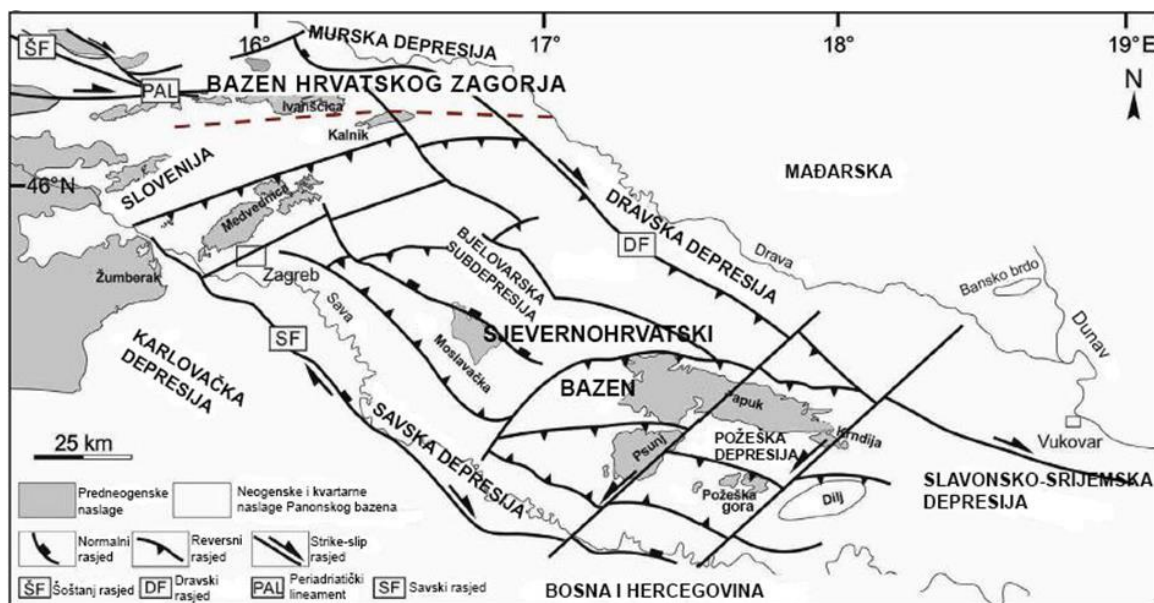
Panonski bazen je zalučni bazen (engl. *back-arc basin*) nastao početkom miocena, ekstenzijom uslijed kontinentalne kolizije i subdukcije (Matošević et al., 2023). Tektonski pokreti koji su započeli tijekom eocena su se nastavili – Afrička ploča putuje prema sjeveroistoku, dok se astenosfera podiže i približava površini Zemlje, uzrokujući stanjivanje i ekstenziju kontinentalne kore u regiji (Matošević et al., 2023). Nakon kontakta Afrike

ploče i Jadranske mikroploče, dolazi do subdukcije Jadranske mikroploče pod panonski fragment Euroazijske ploče, koji se nalazio na sjeveru (Pavelić i Kovačić, 2018). PBS se uvelike može korelirati sa Središnjim Paratetiskim morem (Pavelić i Kovačić, 2018; Bennet et al., 2008; Šumanovac et al., 2017).

Ciklus tektonske aktivnosti na ovom području podijeljen je na dvije faze – sin-riftnu i post-riftnu fazu (**slika 2-3**). Sin-riftna faza, tijekom koje je riftna tektonika još uvijek aktivan, traje od otnanga sve do srednjeg badena. Karakterizira ju prijelaz iz kontinentalnih u marinske uvjete taloženja, pojačana vulkanska aktivnost i formiranje listričkih rasjeda. Klima se pritom mijenja iz suhe u vlažnu, a dolazi i do promjena u morskoj razini. Post-riftna faza, u kojoj su završili riftni procesi, traje od kasnog badena sve do kvartara. Taložni okoliš se mijenja iz marinskog u kontinentalni, vulkanizam jenjava, te dolazi do dvije faze kompresije odvojene dugotrajnom termalnom subsidencijom za vrijeme panona. (Jamičić, 1995; Márton et al., 2002; Pavelić, 2001; Tomljenović and Csontos, 2001; Pavelić et al., 2003; Malvić, 2012; Ustaszewski et al., 2014).

### **Sjevernohrvatski bazen**

Sjevernohrvatski bazen jedan je od dvaju bazena Panonskog bazenskog sustava na području Republike Hrvatske. Dok Sjevernohrvatski bazen generalno zauzima prostor od današnje Slavonije do Kalnika, te se pruža na površini od 32 000 km<sup>2</sup>. Bazen Hrvatskog Zagorja prekriva znatno manje područje, a omeđen je planinom Ivanšćicom i Murskom depresijom (**slika 2-4**). Sedimentacija se u ta dva bazena razlikovala sve do karpata (donji miocen), nakon čega su se sedimentološki procesi ujednačili. Primjerice, tijekom velikog dijela miocena se na području bazena Hrvatskog Zagorja talože marinski klastiti i lapori, dok je na prostoru Sjevernohrvatskog bazena taloženje započelo kasnije i to u kopnenim uvjetima (Ćorić et al., 2009; Mandić et al., 2012; Marković, 2017).



**Slika 2-4:** Položaj Sjevernohrvatskog bazena i bazena Hrvatskog Zagorja, kao i najvećih depresija na području sjeverne Hrvatske (Pavelić i Kovačić, 2018).

Otnang i karpat obilježile su većim dijelom krupnozrnate aluvijalne naslage, prije svega konglomerati i breče, u kojima se facijesi izmjenjuju lateralno i vertikalno, te ih karakterizira nedostatak flore i faune. Mogu se pronaći i pješčenjaci, te siliti, kao i naslage salina tipa. Formiraju se normalni listrički rasjedi i polugrabenske strukture, karakteristični za fazu ekstenzije (Pavelić and Kovačić, 1999; Pavelić, 2001; Pavelić et al., 2016).

Kontinentalna se sedimentacija nastavlja u donjem badenu gdje prevladavaju slatkovodne jezerske naslage različitog litološkog sastava, mjestimično bogate slatkovodnim školjkama, ostrakodima i kopnenim biljkama. Zbog izraženog vulkanizma sporadično se mogu naći tufovi i tufiti. Starost naslaga dobivena je datiranjem horizonata tufova, te je procijenjena na 16 – 15,4 Ma (Mutić, 1969; Jamičić et al., 1987; Pavelić, 2001).

Jezerski taložni okoliš prelazi u marinski tijekom srednjeg badena, gdje se pretežito taloži lapor, dok početak slijeda može započeti transgresivnim konglomeratima. Za ovo je razdoblje karakteristična pojava dvaju transgresivno – regresivnih ciklusa, kao i rotacija rasjednih blokova te nastanak strike – slip rasjeda (Kovačić et al., 2015; Brlek et al., 2016).

Post-riftna faza započinje početkom gornjeg badena. Eustatički porast morske razine dovodi do transgresije, pri čemu se talože konglomerati ili algalni i grebenski vapnenci. Dubljevodno se pak talože lapori. Krajem gornjeg badena dolazi do oplićavanja i smanjenja vulkanske aktivnosti (Pavelić, 2001; Pavelić, 2005).

Sarmat kontinuirano leži na naslagama gornjeg badena. Obilježen je transgresivno – regresivnim ciklusima. U plitkovodnim okolišima talože se erodirani šljunak i pijesak, kao i vapnenac, dok se dubljevodno taloži lapor ili pijesak donesen gravitacijskim tokovima. Važan događaj odvio se na prijelazu iz sarmata u panon – konačna izolacija Sjevernohrvatskog bazena i početak njegovog postupnog oslađivanja (Pavelić i Kovačić, 2018). Ovaj događaj ujedno označava početak brakičnog Panonskog jezera.

Cjelokupni miocenski razvoj nastavlja se panonskim naslagama. Pošto je na granici sarmat – panon došlo do izolacije SHB-a, u panonskim je naslagama moguće pronaći mnoštvo endemskih fosilnih vrsta školjkaša. Zbog regresije koja se dogodila krajem sarmata, početkom panona se talože *Croatica* naslage (jezerski pločasti vapnenci sa rijetkim izmjenama u lapor, pješčenjak ili konglomerat, nazvane po pužu *Radix croatica*). Produbljivanjem taložnog prostora počinju se taložiti *banatica* i *abichi* naslage (lapori, lokalno pijesci nazvani prema školjci *Congeria banatica* i *Paradacna abichi*). Progradacijom riječnih delti talože se *rhomboida* naslage (pijesci i šljunci sa proslojcima ugljena, nazvane prema školjci *Congeria rhomboida*), time dolazi do postupnog zapunjavanja Panonskog jezera. (Piller et al., 2007; Magyar, 1995; Popov et al., 2004; Vrsaljko, 2003).

Tijekom cernika brakično Panonsko jezero postaje slatkovodno Slavonsko jezero, koje zauzima istočni i južni dio SHB-a, sve do današnje Rumunjske (Pavelić i Kovačić, 2018). Taložne se uglavnom siliciklastične naslage – u donjem cerniku sitnozrnate naslage (gline i siltovi), a u gornjem cerniku krupnozrnate naslage (pijesci i šljunci). Siliciklastični materijal pridonosi konačnom zapunjavanju Slavonskog jezera. (Harzhauser i Mandić, 2008).

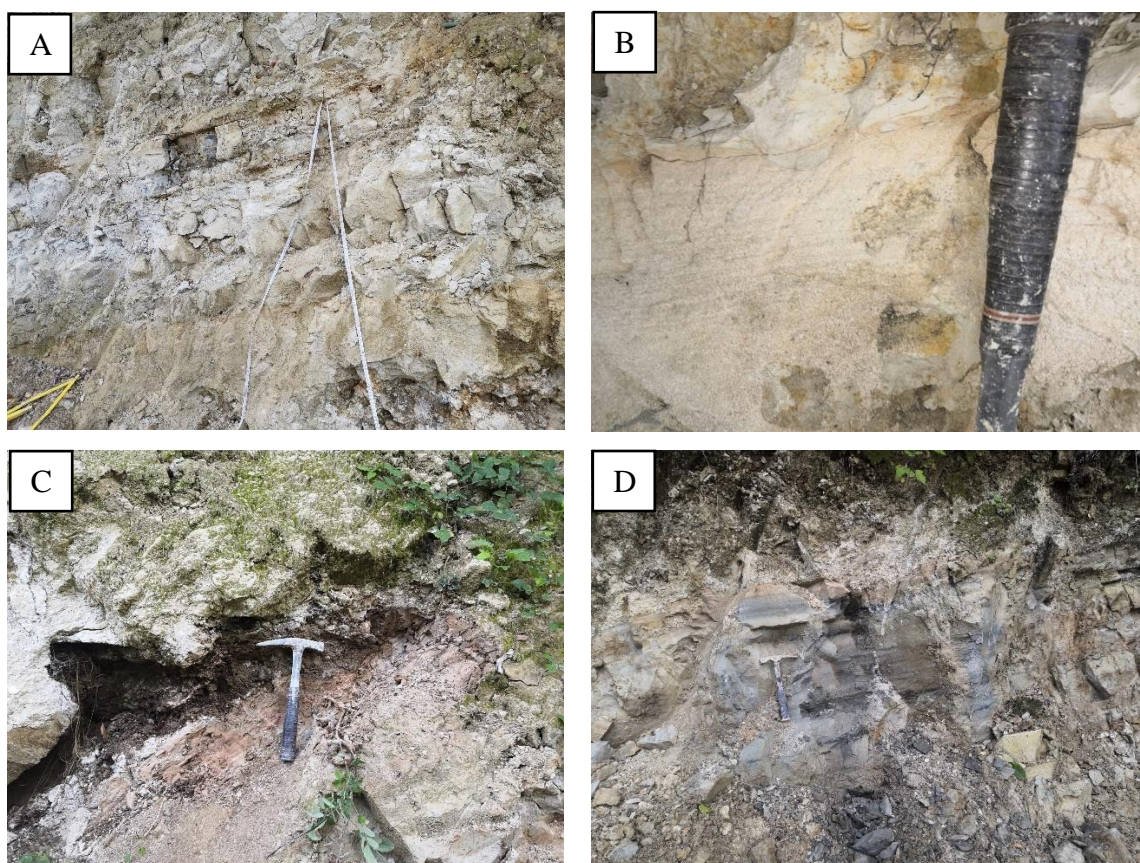
Faza kompresije započinje početkom cernika, a traje i danas. Brojni vertikalni i reversni rasjedi bivaju aktivirani, a oni normalni invertirani i reaktivirani. Kompresijska tektonika rezultirala je izdizanjem i erozijom pred neogenskih blokova, čime se oblikuje SHB i okolne depresije kakve znamo danas. (Pavelić, 2001; Tomljenović i Csontos, 2001; Matoš et al., 2014, Matoš et al., 2016; Ustaszewski et al., 2014).



### 3. METODE ISTRAŽIVANJA

#### 3.1. Terenske metode

Tijekom terenskog istraživanja za potrebe diplomskog rada, detaljno je istraženo područje neposredne okolice Voćina (**slika 1-1**). Pritom su snimljena četiri geološka stupa (VOC-A, VOC-C, VOC-D i VOC-E), međusobno odvojeni manjim rasjedima ili pokrivenim intervalima. Mjereni su položaji i nagibi slojeva na svakom geološkom stupu, te je zabilježena njihova orijentacija i debljina. Podaci su zapisani u terenski dnevnik, a također su napravljene skice stupova uz dodatne fotografije. Terenskim je metodama određen litološki sastav te su prikupljeni uzorci. Smjestašta uzorkovanja često obuhvaćaju kontakt dvaju slojeva, koji će poslije poslužiti za mikropetrografsku analizu u laboratoriju. Zapisani su i makroskopski vidljivi fosili, kao primjerice ljuske riba ili ostatci drvovine. Detaljno su zabilježene sve strukturno-teksturane značajke, te su prikazani u **prilozima 7-1. do 7-4.**



**Slika 3-1 A:** Biokalkruditi sloj debljine 50ak cm koji positnjava u biokalkarenit - stup VOC-A. **B:** Česta tekstura biokalkarenita je horizontalna laminacija - detalj slika u slijedu VOC-A. **C:** Nepravilna, valovita i oštra erozijska granica između smeđeg lapora u donjem dijelu i debelog intervala biokalkrudita u gornjem dijelu slijeda VOC-A. **D:** Izmjena

svijetlije i tamnije sivih lapora, cijeli interval je horizontalno laminiran - detalj sa slijeda VOC-E.

### **3.2. Laboratorijske metode**

Izrada mikroskopskih preparata i mikropetrografska analiza odrađeni su u Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Zagrebu. Odabrani uzorci stijena izrezani su na tanke pločice, debljine nekoliko milimetara. Tako pripremljene pločice zalijepljene su na mikroskopska stakalca. Pomoću abrazivnog praha jedna je strana uzoraka brusi do debljine cca 30 mikrona, a potom i polira. Potom su preparati bojani K-fericijanidom i alizarinom crvenim S, standardnom metodom prema Evamy i Shermanu (1962), kako bi se lakše razlikovali karbonatni minerali. Zadnji korak je pokrivanje preparata pokrovnim stakalcem.

Preparati su analizirani pomoću polarizacijskog mikroskopa marke Optika, model B-1000. Fotografije su slikane pomoću fotoaparata pričvršćenog za objektiv mikroskopa, također marke Optika, model CP6FL.

## 4. REZULTATI

Tijekom laboratorijskog dijela istraživanja mikropetrografski je analizirano 47 dobivenih preparata. Uzorci i preparati su označeni abecedno (sveukupno četiri stupova), kao i po metru na stupu gdje je uzorak uzet. Determinacije preparata prikazane su u **tablicama 4-1., 4-2, i 4-3.** Sveukupno je određeno četiri litofacijesa – biokalkruditi, biokalkareniti, lapori i vapnenci. Nadalje je litofacijes lapora podijeljen na pet litotipova – homogeni lapor, laminirani lapor, siltozni lapor, pjeskoviti lapor i silicificirani lapor.

Kalkrudit je sedimentna stijena, sastavljena od detritične vapnenačke komponente, čija je veličina zrna veća od 2 mm. Mehaničkim trošenjem karbonatne stijene nastaje detritični materijal – odlomci i klasti, čijim pretaloživanjem nastaje kalkrudit. Ako u sastavu dominiraju fosilna zrna i/ili njihovi fragmenti, tada ćemo takvu stijenu determinirati kao biokalkrudit. Kalkarenit je sedimentna stijena, sastavljen od detritične vapnenačke komponente sastavljen od karbonatnih zrna veličine između 64 µm i 2 mm. Također, ovisno o dominantnom tipu čestica vrijedi analogija za odredbu biokalkarenita. Lapor je sedimentna stijena koja se sastoji od kalcita i gline u omjerima 1:3 ili 3:1.

### 4.1. Stup VOC-A

Stup VOC-A započinje krupnozrnatim naslagama – biokalkaruditima koji prelaze u biokalkarenite, a zatim u metarski debele naslage sivog lapora. Iz tih lapora uzeti su uzorci A-1,3 i A-2,1. U metarski debelim naslagama lapora nalaze se proslojci biokalkrudita. Ciklus positnjavanja završava na 5,7 m debljine, kada se opet javljaju biokalkruditi i biokalkareniti. Ponegdje biokalkruditi imaju u sebi uklopljene klaste lapora dok su biokalkareniti horizontalno laminirani. Tamni proslojci interpretirani kao proslojci organske materije vidljivi su u određenim slojevima na terenu u slojevima lapora. Prvi takav sloj lapora utvrđen je na 7,6 metara, koji je također horizontalno laminiran. Tri se ciklusa positnjavanja ponavljaju se do 14,6 metara, gdje se opet talože krupnozrnate naslage karakteristične po izostanku makrofosila, dok u sastavu uglavnom dominiraju litoklasti sivih i tamnih lapora veličine i do 10 cm. Kontinuirano na njih se talože crvenkasti pjeskoviti lapori, iz kojih je uzet uzorak A-16,5. Slijede horizontalno laminirani siltozni sivi lapori, iznad kojih se mogu pronaći smečkasti, homogeni lapori. Ciklusi positnjavanja se nastavljaju, te mjestimično dolazi do izmjene lapora crvenkaste, smeđe i sive boje. Na 29,4 m zabilježeni su bijeli lapori sa planktonskim foraminiferama, dok se na 33,9 m u laporima mogu pronaći narančaste



željezovite nodule. Debljina naslaga se izrazito smanjuje, počevši od 34,6 metra, nakon čega debljina slojeva ne premašuje 10 cm. Karakteristična je izmjena horizontalno i koso laminiranog kalkarenita sa horizontalno uslojenim crvenim siltitima i sivkastim laporima. Debljina ovakvih izmjena naslaga iznosi 2 m. Slijedi krupnozrnati paket naslaga biokalkrudita debljine 2 m sa graduiranom teksturom Nakon ovog krupnozrnatog intervala zabilježena je izmjena ružičastog lapora, sivog lapora i crvenog siltita. Povremeno se u sivim laporima makroskopski mogu naći ljuste riba. Pri vrhu stupa vidljiv je interval tankih (3 do 5 cm) slojeva bijelog vapnenca bez fosila. Ukupna debljina ovog intervala iznosi 30-ak cm (**prilog 7-1**).

Mjereni su položaj i nagib slojeva na početku i na kraju slijeda. Na početku iznosi 160/25, dok se pri kraju slijeda položaj mijenja na 185/25. Debljina istraživanog slijeda naslaga iznosi 46,0 metara.

U slijedu naslaga VOC-A izdvojena su tri litofacijesa – biokalkruditi, biokalkareniti i lapori. Lapori su podijeljeni na sljedeće litotipove: homogeni lapori, laminirani lapori i siltozni lapori (**tablica 4-1**).

**Tablica 4-1:** Popis preparata i njihova klasifikacija stupa VOC-A.

| <b>REDNI BROJ</b> | <b>PREPARAT</b> | <b>KLASIFIKACIJA</b> |
|-------------------|-----------------|----------------------|
| 1.                | A-6,50          | Biokalkrudit         |
| 2.                | A-22,20         | Biokalkrudit         |
| 3.                | A-29,40         | Biokalkarenit        |
| 4.                | A-29,80         | Siltozni lapor       |
| 5.                | A-31,30         | Siltozni lapor       |
| 6.                | A-32,20         | Siltozni lapor       |
| 7.                | A-34,10         | Siltozni lapor       |
| 8.                | A-34,60         | Siltozni lapor       |
| 9.                | A-35,20-I       | Siltozni lapor       |
| 10.               | A-35,20-II      | Siltozni lapor       |
| 11.               | A-35,20-III     | Siltozni lapor       |
| 12.               | A-35,20-IV      | Laminirani lapor     |
| 13.               | A-40,80         | Biokalkrudit         |

|     |         |                |
|-----|---------|----------------|
| 14. | A-44,60 | Homogeni lapor |
|-----|---------|----------------|

#### 4.2. Stup VOC-C

Stup VOC-C počinje naslagama lapora s horizontalnom laminacijom, između kojih se nalazi sloj biokalkarenita debljine 20-ak cm. Boja lapora varira između smeđe i svijetlo-sive. Između 2,40 m i 4,90 m stupa nalaze se biokalkruditi i biokalkareniti, sa makroskopski vidljivim fosilima ljuštura školjkaša ili ljuskama riba. Povrh ovih srednje- do krupnozrnatih naslaga kontinuirano leže laminirani lapori čija boja varira od svijetlo- do tamno-sive. Do vrha stupa dominira litofacijes lapora, s povremenim intervalima biokalkarenita ili vapnenaca, debljine od 5 do 10 cm (**prilog 7-2**).

U slijedu naslaga VOC-C izdvojeno je tri litofacijesa – biokalkruditi, biokalkareniti i lapori. Jedini litotip lapora u ovome slijedu jest homogeni lapor (**tablica 4-2**).

**Tablica 4-2:** Popis preparata i njihova klasifikacija stupa VOC-C.

| REDNI BROJ | PREPARAT | KLASIFIKACIJA  |
|------------|----------|----------------|
| 1.         | C-2,40   | Biokalkruditi  |
| 2.         | C-4,20   | Biokalkareniti |
| 3.         | C-11,00  | Lapor          |

#### 4.3. Stup VOC-D

Stup VOC-D počinje litofacijesom lapora, debljine 3,3 metra. U njegovoj krovini leže biokalkareniti čije debljine variraju od 20 do 30 cm, nakon kojih slijedi interval debljine 80-ak cm sastavljen od tankih (do 10 cm) slojeva vapnenaca s horizontalnom laminacijom. Često je u vapnencima prisutno trunje kopnenih biljaka. Granica između navedenih vapnenaca i biokalkarenita u krovini označava kraj jednog ciklusa positnjavanja. Do kraja slijeda postoji ukupno pet ciklusa positnjavanja. U drugoj polovici slijeda prevladavaju biokalkruditi, u kojima su vidljivi više centimetarski klasti sivih i tamnih lapora. (**prilog 7-3**).

Mjereni su položaj i nagib slojeva, koji u prosjeku iznosi 210/50 za ovaj slijed naslaga.

U slijedu naslaga VOC-D izdvojeno je četiri litofacijesa – biokalkruditi, biokalkareniti, lapori i vapnenci. Zastupljena su dva litotipa unutar litofacijesa lapora: homogeni lapori i laminirani lapori (**tablica 4-3**).

**Tablica 4-3:** Popis preparata i njihova klasifikacija stupa VOC-D.

| <b>REDNI BROJ</b> | <b>PREPARAT</b> | <b>KLASIFIKACIJA</b> |
|-------------------|-----------------|----------------------|
| 1.                | D-3,80          | Laminirani lapor     |
| 2.                | D-5,00          | Biokalkarenit        |
| 3.                | D-5,75          | Homogeni lapor       |
| 4.                | D-7,10          | Biokalkarenit        |
| 5.                | D-9,25          | Biokalkrudit         |
| 6.                | D-10,00         | Biokalkrudit         |

#### **4.4. Stup VOC-E**

Stup VOC-E započinje ciklusom positnjavanja pri čemu litofacijesa biokalkrudita i biokalkarenita s klastima lapora prelazi u litofacijesa lapora sa proslojcima biokalkarenita. Slijede dominantno vapnenci s tankim proslojcima biokalkarenita, povrhu kojih leže lapori, što čini drugi ciklus positnjavanja. Ciklusi positnjavanja se ponavljaju – litološki sastav postupno prelazi iz biokalkrudita u biokalkarenite s klastima lapora, nakon čega je uglavnom zabilježen oštar prijelaz u lapore. Lapori su većinom sivkaste boje, a povremeno se pojavljuju i tanke lamine kalkarenita s crvenkastim obojenjem, u kojima se vidi horizontalna laminacija. Od 18,60 m do 22,00 m izdanak je pokriven raslinjem i tlom. Počevši od 22,00 m dominantno su prisutni lapori, iznad kojih slijede krupnozrnate naslage biokalkrudita i biokalkarenita žućkaste i sivkaste boje. Idućih 12 metara prevladavaju lapori, povremeno proslojeni biokalkruditima i biokalkarenitima čija debljina ne prelazi 50 cm. Ciklusi positnjavanja, kao na početku ovog slijeda, se nastavljaju. Od 56,90 m postupno dolazi do promjene litološkog sastava, kada se javljaju bijeli vapnenci, žućkasto-crveni biokalkareniti i siltiti. Slijede kontinuirane izmjene vapnenaca i lapora, rijetko prekinuti naslagama biokalkrudita ili biokalkarenita. Za litofacijesa lapora karakteristična je horizontalna laminacija (**prilog 7-4**).

Mjereni su položaj i nagib slojeva, koji u prosjeku iznosi 190/70 za ovaj slijed naslaga.

U slijedu naslaga VOC-E izdvojena su četiri litofacijesa – biokalkruditi, biokalkareniti, lapori i vapnenaci. Lapori su podijeljeni na sljedeće litotipove: homogeni lapori, laminirani lapori, silicificirani lapori i pjeskoviti lapori (**tablica 4-4**).

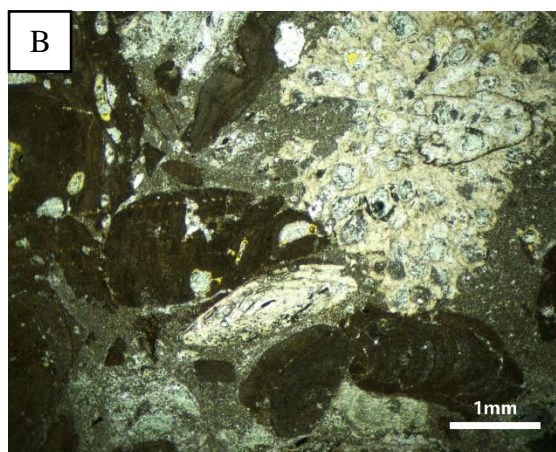
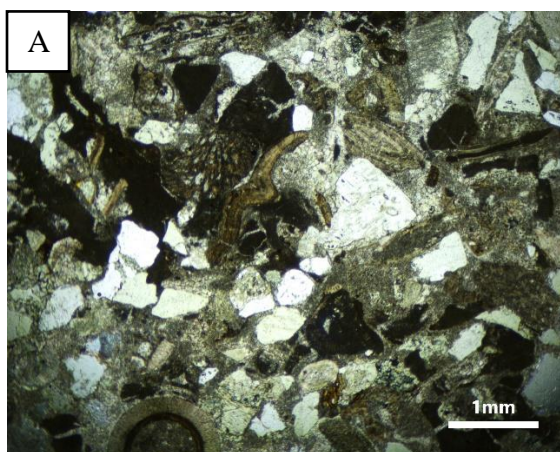
**Tablica 4-4:** Popis preparata i njihova klasifikacija stupa VOC-E.

| <b>REDNI BROJ</b> | <b>PREPARAT</b> | <b>KLASIFIKACIJA</b> |
|-------------------|-----------------|----------------------|
| 1.                | E-0,40          | Silicificirani lapor |
| 2.                | E-2,00          | Laminirani lapor     |
| 3.                | E-10,00         | Homogeni lapor       |
| 4.                | E-11,70         | Biokalkrudit         |
| 5.                | E-17,10         | Laminirani lapor     |
| 6.                | E-17,20         | Pjeskoviti lapor     |
| 7.                | E-27,00         | Laminirani lapor     |
| 8.                | E-31,40         | Biokalkrudit         |
| 9.                | E-46,30         | Homogeni lapor       |
| 10.               | E-49,30         | Homogeni lapor       |
| 11.               | E-53,30         | Homogeni lapor       |
| 12.               | E-55,30         | Biokalkrudit         |
| 13.               | E-58,00         | Biokalkrudit         |
| 14.               | E-62,60         | Biokalkarenit        |
| 15.               | E-65,80         | Vapnenac             |
| 16.               | E-68,40         | Homogeni lapor       |
| 17.               | E-71,20         | Laminirani lapor     |
| 18.               | E-71,80         | Laminirani lapor     |
| 19.               | E-72,60         | Biokalkarenit        |

## 4.5. Odredba litofacijesa

### Litofacijes biokalkrudita

Facijes biokalkrudita sastoji se od bioklasta, litoklasta i siliciklasta. Od fosilnih vrsta mogu se pronaći foraminifere - velike bentičke (*Amphistegina*), male bentičke (*Bolivina* ili *Miliolidae*), dok se rjeđe mogu pronaći planktonske foraminifere (*Globigerina* ili *Globotruncana*). Osim foraminifera, vidljivi su brojni fragmenti crvenih algi (*Lithothamnium*), ježinaca, puževa, fragmenti školjkaša, mahovnjaci, brahiopodi i krinoidi (**slika 4-1**). Dok su foraminifere dimenzija oko 1 mm, ostali bioklasti kao npr. crvene alge, fragmenti školjkaša ili mahovnjaci su uglavnom veći od 5 mm, često i centimetarskih dimenzija. Bioklasti čine oko 50% volumnog udjela u preparatu. Od litoklasta prevladavaju vapnenci i lapori (**slika 4-2**), no povremeno se mogu pronaći fragmenti magmatskih stijena. Litoklasti vapnenca mogu biti veličine do 2 mm, za razliku od lapora čija veličina često prelazi tu granicu. Vapnenački litoklasti pripadaju uglavnom biomikritima i biosparitima. Litoklasti lapora povremeno su plastično deformirani. Oblik svih zrna varira od uglatih do zaobljenih, a glavna karakteristika litofacijesa je izuzetno loša sortiranost. Siliciklastični materijal je također prisutan. U najvećoj mjeri zastupljen je zrnima kvarca, čija je veličina najčešće između 1 i 2 mm, a potom i zrnima feldspata, plagioklasi i biotit. Procjena volumnog udjela siliciklasta je sljedeća: između 10% i 15% kvarca, do 10% svih feldspata, dok se biotit pojavljuje sporadično. Sveukupno siliciklasti čine između 20 i 25% volumnog udjela. Matriks se sastoji od sitno zdrobljenog karbonatnog materijala.

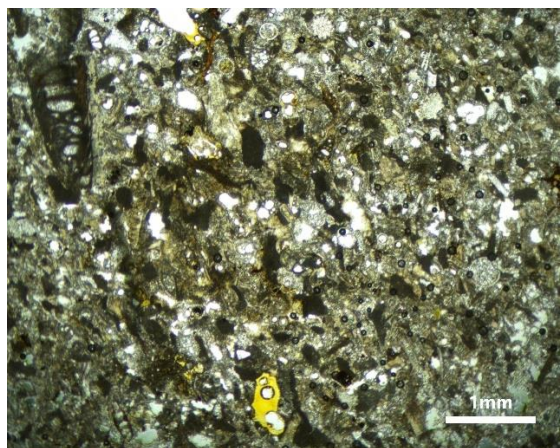


**Slika 4-1:** Preparat VOC A 6,5, biokalkrudit s fragmentima školjkaša, foraminiferama (*Amphistegina* sp.) u crvenih algi, te siliciklastima. (bijelo) i litoklastima vapnenaca (crno).

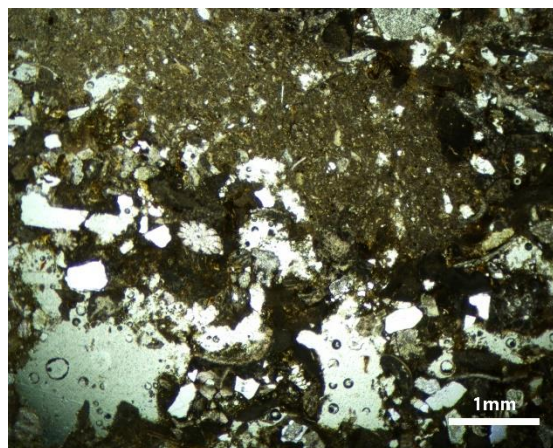
**Slika 4-2:** Preparat VOC A 40,80, biokalkrudit s fosilima mahovnjaka, foraminiferama (*Amphistegina* sp.) u crvenih algi, te siliciklastima. (bijelo) i litoklastima vapnenaca (crno).

### Litofacijes biokalkarenita

Biokalkareniti se također sastoje od bioklasta, litoklasta i siliciklasta, dimenzija veličine pijeska, odnosno između 63  $\mu\text{m}$  i 2 mm. Fosilni je sastav gotovo identičan onome iz litofacijesa biokalkarenita – od foraminifera se mogu pronaći male bentičke i planktonske, crvene alge, fragmenti ježinaca i ljuštura školjkaša, mahovnjaci i ljuštore puževa (**slika 4-3**). Od navedenih, najveći bioklasti pripadaju upravo crvenim algama i mahovnjacima, koji nerijetko dosežu granicu od 2 mm. Samim time, oni čine većinu bioklastičnog materijala u uzorku. Klasti litičnih fragmenata su također prisutni u velikoj mjeri, osobito klasti lapora (**slika 4-4**) čije dimenzije ponekad premašuju granicu od 2 mm. Klasti vapnenca uglavnom su manjih dimenzija, do 1 mm. Osim različitih dimenzija, klasti se međusobno razlikuju i po svom obliku. Klasti lapora uglavnom su zaobljeni, dok su ostali klasti uglati. Osim bioklasta i litoklasta, u svim preparatima uočen je i određen udio siliciklastičnih čestica u čijem sastavu prevladavaju zrna kvarca, dok su u manjoj mjeri prisutni K-feldspati, plagioklasi, biotit i muskovit. U različitim preparatima promjenjiv je udio glinovite komponente. Generalno, fragmenti fosilnog kršja čine približno 40 % volumnog udjela preparata, dok 40 % također otpada na litoklaste vapnenca i lapora. Ostalih 20 % zauzimaju kvarc i ostali siliciklasti. Vezivo je uglavnom tipa matriksa i sastoji se od sitno zdrobljenog kršja fosila i glinovite komponente.



**Slika 4-3:** Preparat VOC A 29,40, s foraminiferama i fragmentima ježinaca.



**Slika 4-4:** Preparat VOC D 5,00, klast lapora u biokalkarenitu.

## **Litofacijes lapora**

Unutar facijesa lapora utvrđeno je pet litotipova – homogeni lapor, laminirani lapor, siltozni lapor, pjeskoviti lapor i silicificirani lapor.

Homogeni lapor karakterizira homogena tekstura, s različitim udjelom planktonskih foraminifera. Primjerice, preparat A-44,60 obiluje navedenim foraminiferama (**slika 4-5 A**), dok se one teško nalaze u preparatu C-11,00. Unutar ljuštura planktonskih foraminifera mogu se pronaći nakupine organske materije, kao primjerice na preparatu E-46,30 (**slika 4-5 B**). Osim spomenutih foraminifera, prisutni su fragmenti ježinaca i školjkaša.

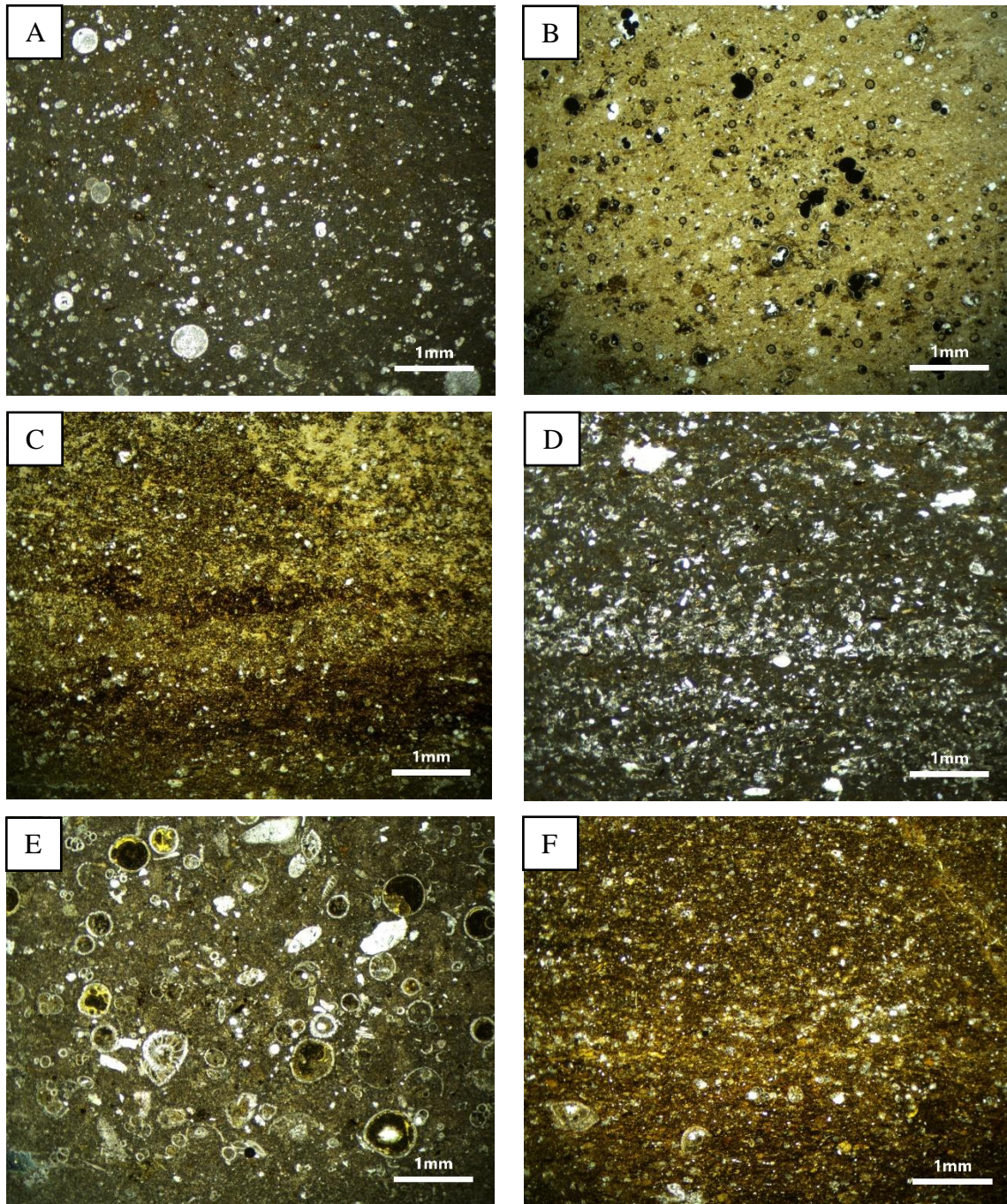
Laminirani lapor odlikuje se horizontalno laminiranom teksturom, koja se očituje izmjenom iznimno tankih lamina siltita ili kalkarenita s laporom (**slike 4-5 C i D**). Pritom je siltit, ili sitnozrnati kalkarenit, detritalan materijal, dok se u laminama lapora mogu pronaći samo planktonske foraminifere.

Siltozni lapor je lapor koji ima detritalnu komponentu (zrna kvarca) koja su do veličine silta, a čijeg volumnog udjela ima do 10%. Struktura varira od izrazito homogene do heterogene, gdje glinovita komponenta zna biti koncentrirana (**slika 4-5 F**). Silicifikacija je prisutna u nekolicini uzoraka. Od fosilnih se vrsta mogu pronaći planktonske foraminifere i tankoljušturasti školjkaši, dok se rijetko pronalaze bentičke foraminifere i ježinci. U uzorku A-35,20-I vidljiva je inverzna gradacija, tj. pokrupnjavanje sedimenta prema gore.

Pjeskoviti lapor je litotip uglavnom homogene strukture, koji u svom sastavu ima pjeskovite komponente – zrna kvarca i feldspata, veličine pijeska. Prema procjeni volumnog udjela, pjeskovite komponente ima više nego litotip siltoznog lapora, oko 15%. Od bioklasta prisutne su jedino planktonske foraminifere (**slika 4-5 E**). Jedini primjer ovog litotipa je preparat E-17,20.

Silicificirani lapor karakteriziran je dijagenetskom promjenom (silicifikacijom) u obliku nepravilnih nodula/leća ispunjenih sitnokristalastim agregatima kvarca. Jedini primjer litotipa silicificiranog lapora je preparat E-0,40.





**Slika 4-5 A:** Preparat VOC A 44,60, homogeni lapor s planktonskim foraminiferama.

**B:** Preparat VOC E 46,30, homogeni lapor s organskom materijom u ljušturama foraminifera.

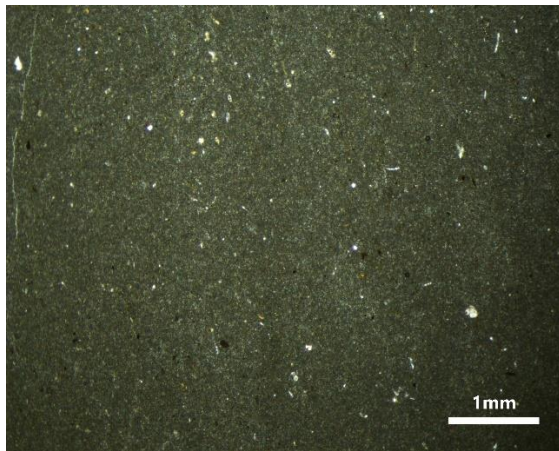
**C:** VOC A 35,20 IV, laminirani lapor **D:** VOC D 3,80, laminirani lapor (lamine pijeska i

lapora) **E:** VOC E 17,20, pjeskoviti homogeni lapor s bioklastima. **F:** VOC A 35,20 III, siltozni lapor.

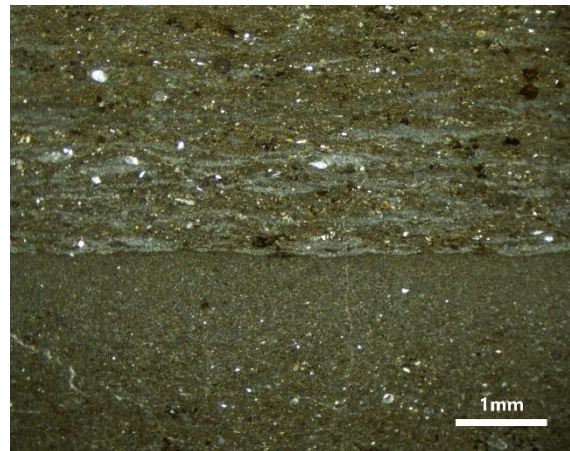


### Litofacijes vapnenaca

Jedini pravi primjer litofacijesa vapnenaca je preparat E-65,80. Preparat je dobiven iz sloja debljine 0,5 metara. Prema Folku (1959) uzorak je determiniran kao mikritni vapnenac, dok je isti preparat klasificiran kao madston prema Dunhamu (1962). Preparat je izrazito homogen, s vrlo malim udjelom sitnih fosila – rijetke ljuštore mikrogastropoda ili foraminifera (**slika 4-6**). Skeletne su čestice veličine između 0,1 i 0,2 mm. Također vrlo su slabo zastupljena i zrna kvarca sličnih dimenzija. Vapnenac se također pojavljuje u preparatu E 71,20, gdje je vidljiva izmjena lamina lapora i gore opisanog vapnenca (**slika 4-7**).



**Slika 4-6:** Preparat VOC E 65,80, madston s ljušturama mikrogastropoda.



**Slika 4-7:** Preparat VOC E 71,20, lamine vapnenca i lapora.

## 5. RASPRAVA

U ovom poglavlju interpretirani su ciklusi taloženja za svaki od geoloških stupova, litofacijesa i litotipova u njima, određeni su taložni okoliši i procesi (mehanizmi) nastanka određenih facijesa, te je dan uvid u moguću starost naslaga.

Litofacijesi biokalkrudita i biokalkarenita nalaze se u svakom od snimljenih sljedova naslaga kao proslojci između debljih naslaga lapora. Debljina naslaga biokalkrudita i biokalkarenita rijetko prelazi 2 metra. Detritus biokalkrudita i biokalkarenita nastao je trošenjem vapnenačkih grebena i algalnih livada, nakon čega nastupa prerađivanje valovima i plimnim strujama, te konačno materijal biva pretaložen u dublji marinski prostor i litificiran. Cijeli proces može biti započet i dovršen *in-situ*, tj. u relativnoj blizini izvorišnog materijala iz plitkog marinskog okoliša. Potom niz relativno strme submarinske litice, pomoću gravitacijskih tokova (debritnih i/ili turbiditnih) materijal je transportiran u dubljevodni taložni okoliš. Klasti biokalkrudita i biokalkarenita uglavnom su nesortirani, što upućuje na prijenos i taloženje iz debritnih tokova. Debritni se tokovi mogu podijeliti na dvije kategorije – oni s malim udjelom matriksa (nekohezivni debritni tokovi) i oni sa velikim udjelom matriksa (kohezivni debritni tokovi). Pošto su biokalkruditi i biokalkareniti klast potporni, debritni tok je vjerojatno bio nekohezivan. Tijekom badena u plitkomorskim karbonatnim okolišima taloži se bioklastični vapnenac karakterističan po fosilima crvene alge *Lithothamnium*, a naziva se litavac ili litotamnijski vapnenac. Trošenjem, erozijom i pretaloživanjem ovakvih stijena u dubljevodni okoliš nastaju upravo biokalkruditi i biokalkareniti opisani u 4 slijeda naslaga. U prilog ovoj teoriji ide činjenica da u biokalkruditima i biokalkarenitima se nalazi fosilno kršje, odnosno zdrobljeni fragmenti fosila, koji mogu nastati pretaloživanjem gravitacijskim tokovima. S druge pak strane, litoklasti i siliciklasti su mahom uglati, što upućuje na kratak transport.

Iako prevladava vapnenac kao izvorišna stijena za biokalkrudite i biokalkarenite, ponegdje se mogu pronaći fragmenti magmatskih stijena. S obzirom da je moguće uočiti porfirnu strukturu, za pretpostaviti je da se radi o efuzivnim stijenama.

Za deblje slojeve lapora potreban je pelagički okoliš – mirna marinska sredina i male brzine strujanja morske vode, kako bi se istaložio sitan materijal iz suspenzije – čestice veličine gline ili praha, kako siliciklastične tako i karbonatne. Dodatno, pelagički i hemipelagički se detritus može prenijeti površinskim ili pridnenim morskim strujama na velike udaljenosti, nakon čega dolazi do taloženja. Na taj način dolazi do taloženja siliciklastičnog, terigenog materijala u marinskom okolišu. Količina donesenog materijala,

s druge pak strane, ovisi o erozijskim procesima, tektonici i vulkanizmu u to vrijeme. O svim ovim procesima u konačnici ovisi koji će litotip lapora nastati. Povremenim donosom čestica veličine silta i pijeska u dublji marinski prostor nastajali su siltozni i pjeskoviti lapori. Tamna boja lapora svjedoči o sredini u kojoj se mogla akumulirati, ali i sačuvati organska tvar. Dubljevodni okoliš, u kakvom se talože lapori, evidentno je bio bogat živim svijetom. Organska materija ostaje zarobljena na većim dubinama, koje su suboksične do anoksične i ne dopuštaju razgradnju organske materije. Takve stijene onda postaju matične stijene za naftu i plin.

Litofacijes vapnenaca, obilježen je uglavnom tankim slojevima vapnenačkih madstona (mikritnih vapnenaca). Takvi talozi mogu nastati u dubljim marinskim okolišima u vrijeme karbonatne produkcije koja nije poremećena donosom terigenog materijala. Čime bi nastanak litofacijesa vapnenaca mogao biti korelabilan s izostankom intenzivne erozije na kopnu, bilo zbog jenjavanja tektonske aktivnosti ili promjena klime u manje humidnu.

Premda starost naslaga nije bilo moguće utvrditi jer prilikom ovog istraživanja nije rađena fosilna analiza, pretpostavlja se da sljedovi naslaga VOC-A, VOC-C i VOC-D pripadaju gornjem badenu, dok slijed naslaga VOC-E prelazi u sarmat, barem u njegovom gornjem dijelu. Ovakva odredba temelji se na litostratigrafskom prikazu iz rada Pavelić i Kovačić (2018). Promjena litološkog sastava, počevši od 83. metra na geološkom slijedu VOC-E, nakon kojeg su krupnozrnaste naslage podređene sitnozrnastim, upućuje na prestanak tektonske aktivnosti krajem badena i početkom sarmata. Tijekom badena i dalje postoji tektonska aktivnost, pa je vrlo vjerojatno donos krupnozrnatog materijala u dubljevodni okoliš intenzivniji. Koncem badena tektonska aktivnost jenjava, stoga dolazi do stagnacije u donosu materijala zbog manjka erozije s kopna, što omogućuje taloženje sitnozrnatih naslaga, tek povremeno prekinutih donosima krupnozrnatih sedimenata.

## 6. ZAKLJUČAK

Istraživanja su provedena na lokalitetu koji se nalazi 2 km južno od središta Voćina. Snimljena su četiri slijeda naslaga imenovana VOC-A, VOC-C, VOC-D i VOC-E. Osim neposrednih terenskih istraživanja, provedene su petrografske i facijesne analize.

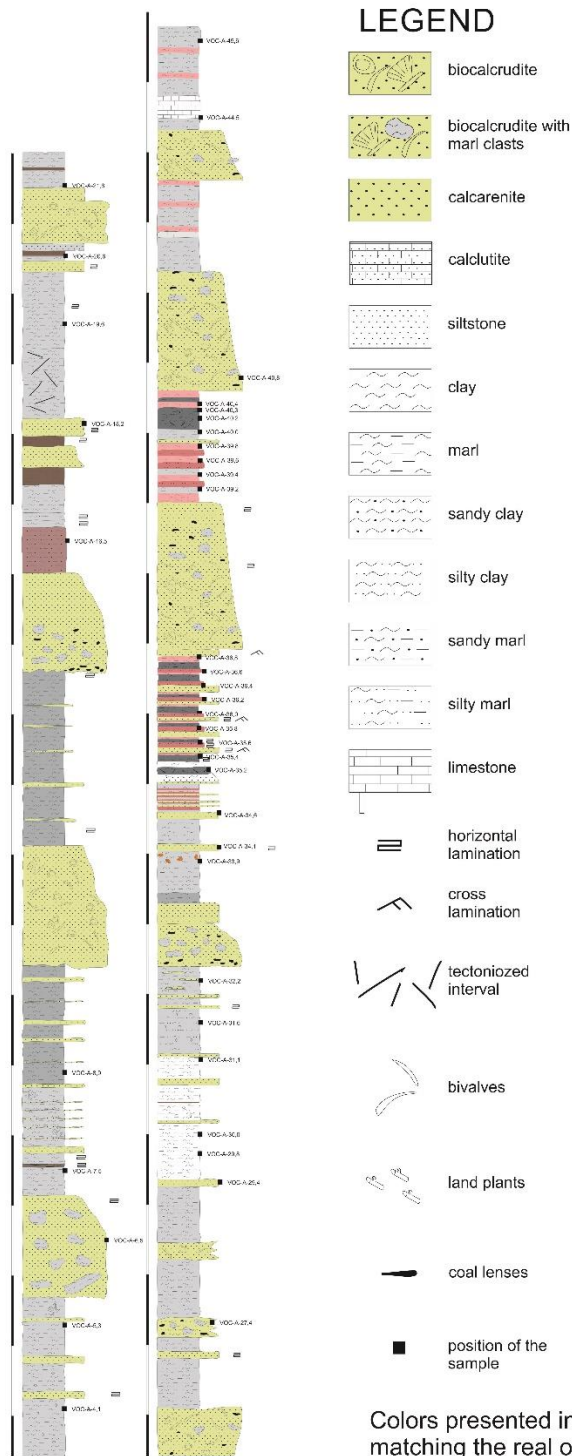
Određena su četiri različita litofacijesa – litofacijes biokalkrudita, litofacijes biokalkarenita, litofacijes lapora i litofacijes vapnenaca. Od navedenih, litofacijes lapora se može podijeliti na pet litotipova - homogeni lapor, laminirani lapor, siltozni lapor, pjeskoviti lapor i silicificirani lapor. U slijedu naslaga VOC-A izdvojeno je tri litofacijesa – biokalkruditi, biokalkareniti i lapori. Litotipovi lapora koji se pojavljuju su homogeni lapor, laminirani lapor i siltozni lapor. U slijedu naslaga VOC-C izdvojeno je tri litofacijesa – biokalkruditi, biokalkareniti i lapori, a jedini prisutni litotip lapora jest homogeni lapor. U slijedu naslaga VOC-D izdvojeno je tri litofacijesa – biokalkruditi, biokalkareniti i lapori. Litotipovi lapora koji se pojavljuju su homogeni lapor i laminirani lapor. U slijedu naslaga VOC-E izdvojeno je četiri litofacijesa – biokalkruditi, biokalkareniti, lapori i vapnenci. Litotipovi lapora koji se pojavljuju su homogeni lapor, laminirani lapor, silicificirani lapor i pjeskoviti lapor.

Vapnenački detritus obilno zastupljen u biokalkruditima i biokalkarenitima nastaje trošenjem i erozijom postojećih vapnenačkih stijena (dominantno litotamnijskog vapnenca) ili isušivanjem karbonatnog taloga, nakon čega fragmenti mogu biti preneseni u dubljevodni taložni okoliš. Transport čestica ponajprije je uvjetovan nastankom gravitacijskih tokova (debritnih i/ili turbiditnih). Izuzetno slaba sortiranost klasta biokalkrudita i biokalkarenita ukazuje na prijenos i taloženje iz debritnih tokova. Tako nastali litofacijesi biokalkrudita i biokalkarenita talože se u dublji marinski okoliš kojim u mirnim periodima dominira taloženje litofacijesa lapora iz suspenzije slijeganjem sedimenta. Za taloženje lapora potreban je pelagički okoliš – mirna sredina i male brzine strujanja morske vode, kako bi se istaložio sitan materijal iz suspenzije.

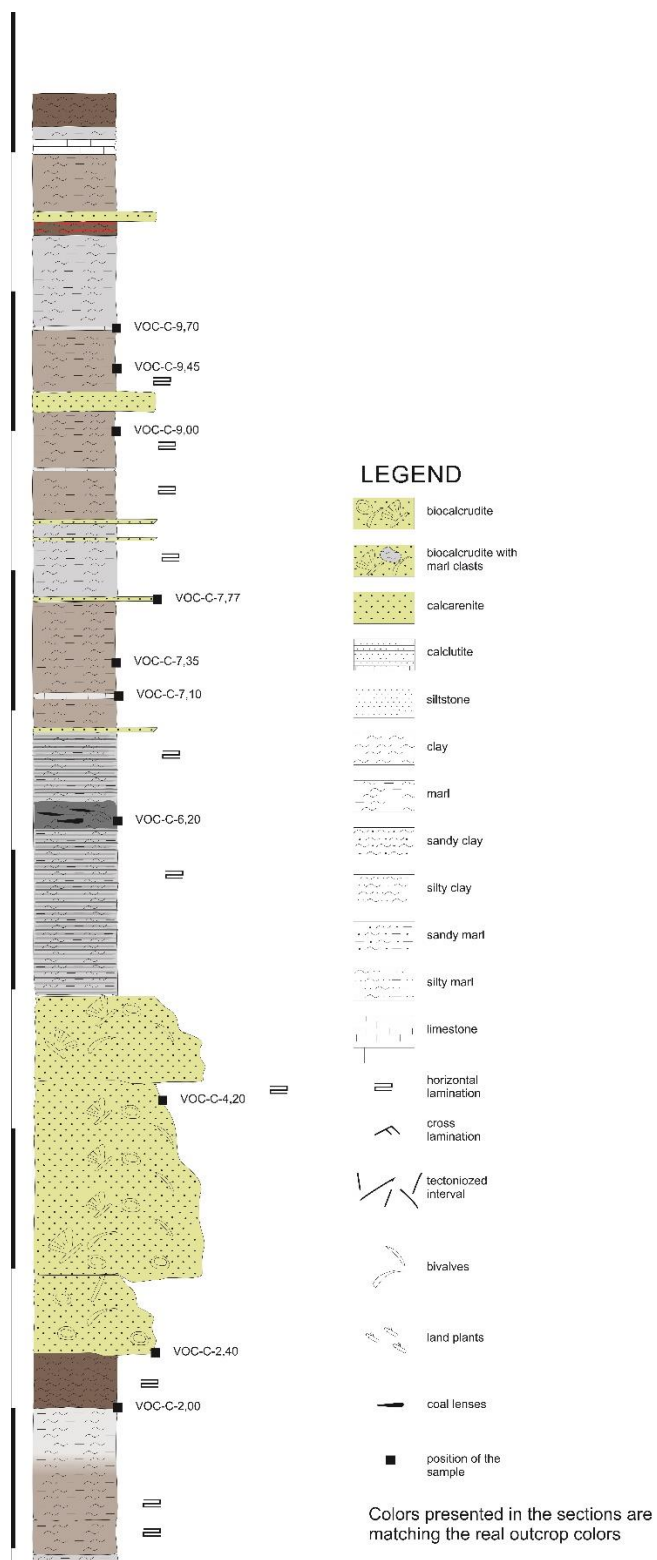
Pretpostavlja se da slijedovi naslaga VOC-A, VOC-C i VOC-D (**prilozi 7-1, 7-2, 7-3**) pripadaju gornjem badenu, dok slijed naslaga VOC-E (**prilog 7-4**) prelazi u sarmat. Krupnozrnate naslage koje pripadaju gornjem badenu nastaju trošenjem vapnenačkih grebena i algalnih livada, nakon čega nastupa prerađivanje valovima i tajdalnim strujama, te konačno materijal biva pretaložen u dublji marinski prostor, gdje se inače taloži lapor. Promjena litologije vidljiva na gornjem dijelu geološkog slijeda VOC-E ukazuje na

jenjavanje tektonske aktivnosti krajem badena i početkom sarmata. Kako tektonska aktivnost jenjava, donos krupnozrnatih sedimenta usporava, te se dominantno taloži lapor.

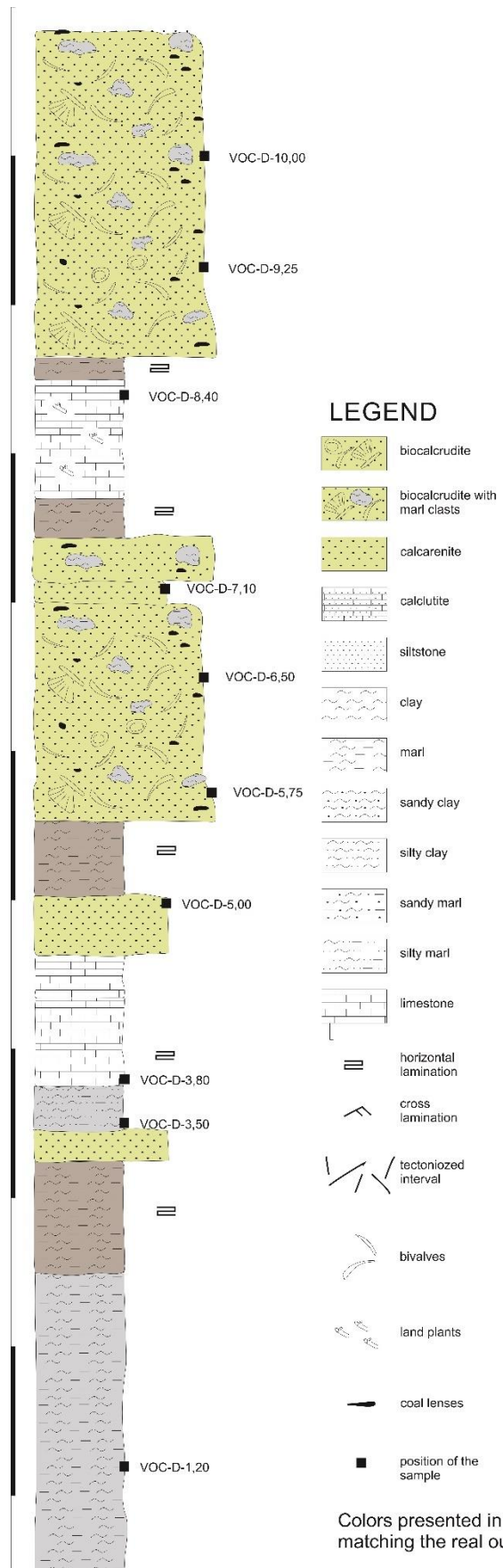
## 7. PRILOZI



**Prilog 7-1:** Geološki stup VOC-A. Nacrtao Doc. dr. sc. Duje Smirčić



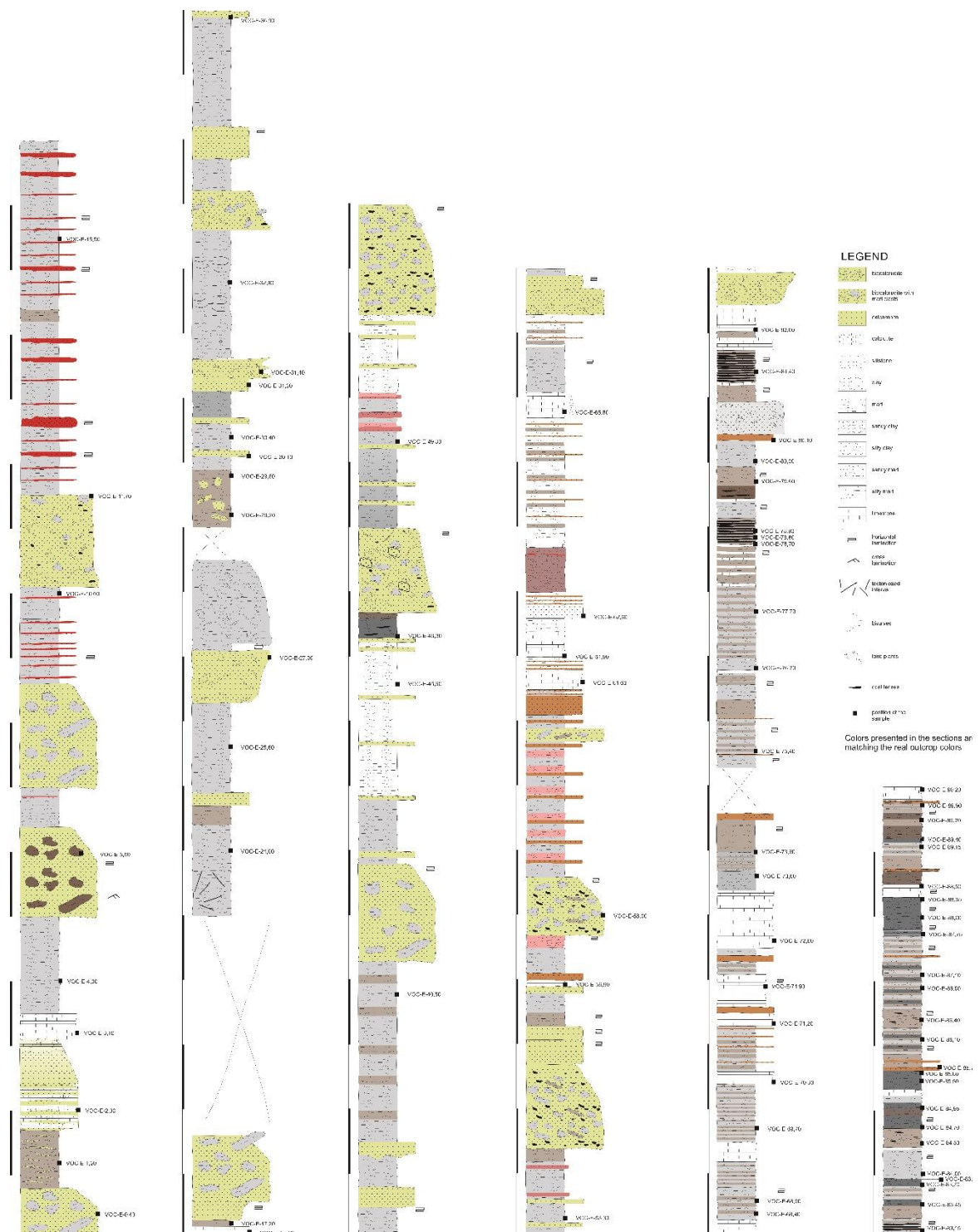
**Prilog 7-2:** Geološki stup VOC-C. Nacrtao Doc. dr. sc. Duje Smirčić.



Colors presented in the sections are matching the real outcrop colors

**Prilog 7-3:** Geološki stup VOC-D. Nacrtao Doc. dr. sc. Duje Smirčić.





Prilog 7-4: Geološki stup VOC-E. Nacrtao Doc. dr. sc. Duje Smirčić.

## 8. LITERATURA

- Balen, D., Massonne, H.-J., Petrinec, Z., 2015. Collision-related Early Paleozoic evolution of a crustal fragment from the northern Gondwana margin (Slavonian Mountains, Tisia Mega-Unit, Croatia): Reconstruction of the P–T path, timing and paleotectonic implications. *Lithos* 232, 211-228.
- Balen, D., Schneider, P., Massonne H.-J., Opitz, J., Luptakova, J., Putiš, M., Petrinec, Z., 2020. The Late Cretaceous A-type alkali-feldspar granite from Mt. Požeška Gora (N Croatia): Potential marker of fast magma ascent in the Europe–Adria suture zone. *Geologica carpathica* 71-4, 361-381.
- Bennet, R.A., Hreinsdóttir, S., Buble, G., Bašić, T., Bačić, Z., Marjanović, M., Casale, G., Gendaszek, A., Cowan, D., 2008. Eocene to present subduction of southern Adria mantle lithosphere beneath the Dinarides. *Geology* 36, 3–6.
- Brek, M., Špišić, M., Brčić, V., Mišur, I., Kurečić, T., Miknić, M., Avanić, R., Vrsaljko, D., Slovenec, D., 2016. Rocky-shore unconformities marking the base of Badenian (Middle Miocene) transgressions on Mt. Medvednica basement (North Croatian Basin, Central Paratethys). *Facies* 62, 18.
- Ćorić, S., Pavelić, D., Rögl, F., Mandić, O., Vrabac, S., Avanić, R., Vranjković, A., 2009. Revised Middle Miocene datum for initial marine flooding of North Croatian Basins (Pannonian Basin System, Central Paratethys). *Geol. Croat.* 62, 31–43.
- Evamy, B. D. & Sherman, D. J., 1962. The application of chemical staining techniques to the study of diagenesis in limestones.– *Proc. Geol. Soc.*, 1599, 102.
- Harzhauser, M., Mandić, O., 2008. Neogene lake systems of Central and South-Eastern Europe: faunal diversity, gradients and interrelations. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 260, 417–434.
- Harzhauser, M., Piller, W.E., 2007. Benchmark data of a changing sea – palaeogeography, palaeobiogeography and events in the Central Paratethys during the Miocene. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 253, 8–31.
- Horváth, F., 1995. Phases of compression during the evolution of the Pannonian Basin and its bearing on hydrocarbon exploration. *Mar. Petrol. Geol.* 12, 837–844.
- Jamičić, D., Brkić, M., Crnko, J. & Vragović, M., 1987. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tumač za list L33-96 Orahovica (68 str.). Geološki zavod Zagreb (1986), Savezni geološki zavod, Beograd.

- Jamičić, D., 1983. Strukturni sklop metamorfnih stijena Krndije i južnih padina Papuka, *Geol vjesnik Zagreb* 36: 51–72
- Jamičić, D., 1995. The role of sinistral strike-slip faults in the formation of the structural fabric of the Slavonian Mts. (Eastern Croatia). *Geol. Croat.* 48, 155–160.
- Kovačić, M., Marković, F., Ćorić, S., Pezelj, Đ., Hernitz-Kučenjak, M., Premec-Fuček, V., Balen, D., 2015. Geological section Nježić - Badenian marine sediments with tuff, Excursion Guide-book, 5th Croatian Geological.
- Kováč, M., Andreyeva-Grigorovich, A., Bajraktarević, Z., Brzobohatý, R., Filipescu, S., Fodor, L., Harzhauser, M., Nagymarosy, A., Oszczytko, N., Pavelić, D., Rögl, F., Saftić, B., Sliva, L., Studencka, B., 2007. Badenian evolution of the Central Paratethys Sea: paleogeography, climate and eustatic sea level changes. *Geol. Carpath.* 58, 579–606.
- Kováč, M., Hudáčková, N., Halássová, E., Kováčová, M., Holcová, K., Oszczytko-Clowes, M., Báldi, K., Less, Gy, Nagymarosy, A., Ruman, A., Klučiar, T., Jamrich, M., 2017. The Central Paratethys palaeoceanography: a water circulation model based on microfossil proxies, climate, and changes of depositional environment. *Acta. Geol. Slovaca* 9, 75–114.
- Magyar, I., 1995. Late Miocene mollusc biostratigraphy in the eastern part of the Pannonian Basin (Tiszántúl, Hungary). *Geol. Carpath.* 46, 29–36.
- Malvić, T., 2012. Review of Miocene shallow marine and lacustrine depositional environments in Northern Croatia. *Geol. Q.* 56, 493–504.
- Mandic, O., de Leeuw, A., Bulić, J., Kuiper, K.F., Krijgsman, W., Jurišić-Polšak, Z., 2012. Paleogeographic evolution of the southern Pannonian Basin:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age constraints on the Miocene continental series of northern Croatia. *Int. J. Earth Sci.* 101, 1033–1046.
- Mandic, O., Kurečić, T., Neubauer, T.A., Harzhauser, M., 2015. Stratigraphic and palaeogeographic significance of lacustrine molluscs from the Pliocene *Viviparus* beds in Central Croatia. *Geol. Croat.* 68, 179–207.
- Marković, F., 2017. Miocenski tufovi Sjevernohrvatskog bazena. Doktorski rad.
- Matoš, B., Tomljenović, B., Trenc, N., 2014. Identification of tectonically active areas using DEM: a quantitative morphometric analysis of Mt. Medvednica NW Croatia. *Geol. Q.* 58, 51–70.
- Matoš, B., Pérez-Peña, J.V., Tomljenović, B., 2016. Landscape response to recent tectonic deformation in the SW Pannonian Basin: evidences from DEM-based morphometric analysis of the Bilogora Mt. area, NE Croatia. *Geomorphology* 263, 132–155.

- Matošević, M., 2023: Petrography of the Upper Miocene sandstones from the North Croatian Basin: Understanding the genesis of the largest reservoirs in the southwestern part of the Pannonian Basin System. *Geologica Carpatica* 74, 2 155-179.
- Mutić, R., 1969. Neogene magmatic activity on the south-western slopes of Mt. Medvednica (Mt. Zagreb). *Geol. vjesnik* 22, 423–438.
- Márton, E., Pavelić, D., Tomljenović, B., Avanić, R., Pamić, J., Márton, P., 2002. In the wake of a counterclockwise rotating Adriatic microplate: Neogene paleomagnetic results from northern Croatia. *Int. J. Earth Sci.* 91, 514–523.
- Pamić, J., 1997. Volcanic rocks of the area between Sava and Drava Rivers, and Baranja (Croatia). *Časopis Nafta, Zagreb*, pp. 225.
- Pavelić, D., 1998: Early to middle Miocene facies succession in lacustrine and marine environments on the southwestern margin of the Pannonian Basin System (Croatia). *Geologica Carpatica* 49, 6 433-443.
- Pavelić, D., Kovačić, M., 1999. Lower Miocene alluvial deposits of the Požeška Mt. (Pannonian Basin, northern Croatia): cycles, megacycles and tectonic implications. *Geol. Croat.* 52, 67–76.
- Pavelić, D., Avanić, R., Kovačić, M., Vrsaljko, D., Miknić, M., 2003. An outline of the evolution of the Croatian part of the Pannonian Basin System. *Field Trip Guidebook, Zagreb*, pp. 155–161.
- Pavelić, D., Kovačić, M., Banak, A., Jiménez-Moreno, G., Marković, F., Pikelj, K., Vranjković, A., Premužak, L., Tibljaš, D., Belak, M., 2016. Early Miocene European loess: A new record of aridity in southern Europe. *Geol. Soc. Am. Bull.* 128, 110–121.
- Pavelić, D., Kovačić, M., 2018. Sedimentology and stratigraphy of the Neogene rift-type North Croatian Basin (Pannonian Basin System, Croatia). *Marine and Petroleum Geology* 91, 455–469.
- Pavelić, D., 2001. Tectonostratigraphic model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System. *Basin Res.* 13, 359–376.
- Pavelić, D., 2005. Cyclicality in the evolution of the Neogene North Croatian basin (Pannonian Basin System). In: Mabesoone, J.M., Neumann, V.H. (Eds.), *Cyclic Development of Sedimentary Basins*. *Dev. Sedim. Elsevier* 57, pp. 273–283.
- Piller, W., Harzhauser, M., Mandić, O., 2007. Miocene Central Paratethys stratigraphy – current status and future directions. *Stratigraphy* 4, 151–168.

- Popov, S.V., Rögl, F., Rozanov, A.Y., Steininger, F.F., Shcherba, I.G., Kováč, M., 2004. Lithological-Paleogeographic maps of Paratethys. 10 Maps, Late Eocene to Pliocene. *Cour. Forsch.-Inst. Senckenb* 250, 1–46.
- Royden, L.H., 1988. Late cenozoic tectonics of the Pannonian Basin System. *AAPG Mem*, vol. 45. pp. 27–48.
- Rögl, F., 1999. Mediterranean and Paratethys. Facts and hypotheses of an Oligocene to Miocene paleogeography (short overview). *Geol. Carpath.* 59, 339–349.
- Šumanovac, F., Markušić, S., Engelsfeld, T., Jurković, K., Orešković, J., 2017. Shallow and deep lithosphere slabs beneath the Dinarides from teleseismic tomography as the result of the Adriatic lithosphere downwelling. *Tectonophysics* 712–713, 523–541.
- Tomljenović, B., Csontos, L., 2001. Neogene–Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac basins, Croatia). *Int. J. Earth Sci.* 90, 560–578.
- Ustaszewski, K., Herak, M., Tomljenović, B., Herak, D., Matej, S., 2014. Neotectonics of the Dinarides–Pannonian Basin transition and possible earthquake sources in the Banja Luka epicentral area. *J. Geodyn.* 82, 52–68.
- Vrsaljko, D., Pavelić, D., Miknić, M., Brkić, M., Kovačić, M., Hećimović, I., Hajek-Tadesse, V., Avanić, R., Kurtanjek, N., 2006. Middle Miocene (Upper Badenian/Sarmatian) palaeoecology and evolution of the environments in the area of Medvednica Mt. (North Croatia). *Geol. Croat.* 59, 51–63.