

# Mikrofiziografska obilježja pješčenjaka na području V. Črneca, Rude, Samoborsko gorje

---

**Andrić, Daliborka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:121242>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-29**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Daliborka Andrić

**MIKROFIZIOGRAFSKA OBILJEŽJA PJEŠČENJAKA NA  
PODRUČJU V. ČRNECA, RUDE, SAMOBORSKO GORJE**

Seminar III  
Preddiplomski studij geologije

Mentor:  
Prof. dr. sc. Nenad Tomašić

Zagreb, 2021.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

### Seminar III

## MIKROFIZIOGRAFSKA OBILJEŽJA PJEŠČENJAKA NA PODRUČJU V. ČRNECA, RUDE, SAMOBORSKO GORJE

Daliborka Andrić

**Rad je izrađen:** Mineraloško-petrografski zavod, Geološki odsjek  
Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Horvatovac 95, 10 000 Zagreb, Republika Hrvatska

### Sažetak:

U okviru završnog rada opisana su mikrofiziografska obilježja gornjopaleozojskih pješčenjaka na području V. Črneca, Rude, Samoborsko gorje. Terenskim radom prikupljeno je nekoliko uzoraka duž dva izdanka u svrhu daljnjih laboratorijskih i kabinetskih ispitivanja. Cilj rada bio je determinirati i usporediti mikrofiziografske značajke prikupljenih pješčenjaka te načiniti interpretaciju rezultata. Zaključci su temeljeni na rezultatima detaljnih petrografskih analiza upotrebom polarizacijskog mikroskopa te komparacijama s relevantnim i aktualnim znanstvenim publikacijama. Na temelju sveobuhvatnih rezultata istraživanja, uočena je prilična sličnost mikroskopskih karakteristika između proučavanih uzoraka pješčenjaka. Uzorci su klasificirani kao litoareniti, prvenstveno prema procijenjenim postotnim udjelima konstituenata prisutnih u stijeni. Izvorišno područje je primarno sastavljeno od metamorfnih stijena, uz podređenje sedimentne stijene. Pješčenjaci su mineraloški nezreli. Javljaju se alteracije i potiskivanja manje stabilnih konstituenata kroz procese trošenja, dijageneze i transporta. Transport je umjerenog intenziteta i trajanja, dovodeći detritus u sedimentacijski bazen vjerojatne geotektonske pozicije na pasivnom kontinentskom rubu.

**Ključne riječi:** mikrofiziografska obilježja; pješčenjaci; V. Črnec; gornji paleozoik; litoareniti; metamorfne stijene

**Rad sadrži:** 38 + VII stranica, 24 slike, 26 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je pohranjen u:** Središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, PMF, Zagreb

**Mentor:** Dr. sc. Nenad Tomašić, redoviti profesor, PMF, Zagreb

**Ocjenjivači:** Dr. sc. Đurđica Pezelj, izvanredni profesor, PMF, Zagreb

Mr. sc. Dražen Kurtanjek, viši predavač, PMF, Zagreb

**Datum završnog ispita:** 15. srpnja, 2021.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### Seminar III

#### THIN SECTION PROPERTIES OF THE SANDSTONE AT THE V. ČRNEC AREA, RUDE, SAMOBOR MT.

Daliborka Andrić

**Thesis completed in:** Institute of Mineralogy and Petrology

Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb  
Horvatovac 95, 10 000 Zagreb, Republic of Croatia

#### **Abstract:**

In the scope of this paper, thin section properties of the Upper Paleozoic sandstones at the V. Črnek area, Rude, Samobor Mountains, have been described. Through fieldwork, several samples were collected along two outcrops for the purpose of further laboratory and cabinet examinations. The aim of this study was to determine and compare thin section properties of the collected sandstones and to interpret the results. The conclusions are based on the results of detailed petrographic analysis using a polarizing microscope and comparisons with relevant and current scientific publications. Based on the comprehensive research results, a considerable similarity of microscopic characteristics was noticed among the studied sandstone samples. Samples were classified as the lithoarenite, primarily according to the estimated percentages of the constituents present in the rock. The source area is primarily composed of metamorphic rocks, with subordinate sedimentary rocks. The sandstones are mineralogically immature. Alterations and repressions of less stable constituents occur through weathering, diagenetic and transport processes. The intensity and duration of the transport is moderate, bringing detritus into the sedimentation basin of probable geotectonic position at the passive continental margin.

**Keywords:** thin section properties; sandstones; V. Črnek; Upper Paleozoic; lithoarenite; metamorphic rocks

**Seminar contains:** 38 + VII pages, 24 figures, 26 references

**Original in:** Croatian

**Thesis deposited in:** Central Geological Library, Department of Geology, Faculty of Science, Zagreb

**Supervisor:** Nenad Tomašić, Ph.D. Full Professor, Faculty of Science, Zagreb

**Reviewers:** Đurđica Pezelj, Ph.D. Associate Professor, Faculty of Science, Zagreb

Dražen Kurtanjek, M.Sc. senior lecturer, Faculty of Science, Zagreb

**Date of the final exam:** July 15, 2021

**Sadržaj**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Popis korištenih kratica.....</b>                            | <b>V</b>  |
| <b>Popis slika .....</b>  | <b>VI</b> |
| <b>1. Uvod .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2. Geografske i geomorfološke značajke.....</b>              | <b>2</b>  |
| <b>3. Pregled dosadašnjih istraživanja.....</b>                 | <b>5</b>  |
| <b>4. Geološke značajke.....</b>                                | <b>7</b>  |
| 4.1. Geološki smještaj .....                                    | 7         |
| 4.2. Paleogeografija gornjeg paleozoika .....                   | 10        |
| 4.3. Stratigrafija Samoborskog gorja .....                      | 11        |
| 4.3.1. Paleozoik.....   | 11        |
| 4.3.1.1. Gornji perm (P <sub>3</sub> ).....                     | 13        |
| <b>5. Materijali i metode istraživanja .....</b>                | <b>16</b> |
| 5.1. Terenski rad .....   | 16        |
| 5.2. Laboratorijski rad.....                                    | 18        |
| 5.3. Kabinetski rad .....                                       | 19        |
| <b>6. Rezultati.....</b>  | <b>21</b> |
| 6.1. Mikrofiziografska obilježja mikroskopskih preparata .....  | 21        |
| 6.1.2. Optičke značajke najvažnijih sastojaka pješčenjaka.....  | 23        |
| 6.1.3. Optičke značajke minerala teške mineralne frakcije ..... | 28        |
| <b>7. Rasprava .....</b>  | <b>32</b> |
| 7.1. Klasifikacija pješčenjaka .....                            | 32        |
| 7.2. Provenijencija .....                                       | 32        |
| 7.3. Mineraloška zrelost.....                                   | 33        |
| 7.4. Interpretacija mikrofiziografskih obilježja .....          | 33        |
| <b>8. Zaključak.....</b>  | <b>36</b> |
| <b>Literatura .....</b>   | <b>37</b> |

## **Popis korištenih kratica**

m.n.v. – metara nadmorske visine

N- – isključeni analizator

N+ – uključeni analizator

Qtz – kvarc

Fsp – feldspat

Lt – litična čestica

Ms – muskovit

Hem – hematit

Ser – sericit

## Popis slika

|  |    |
|--|----|
| Slika 1: Satelitska snimka Žumberačkog i Samoborskog gorja (grafičko mjerilo = 5 km), uz izdvojenu topografsku kartu istraživanog područja (grafičko mjerilo = 250 m). Točkama 1 i 2 su naznačene lokacije uzorkovanja. ....   | 2  |
| Slika 2: Prikaz glavnih tektonskih jedinica Zagorje-Mid-Transdanubijske zone (grafičko mjerilo = 100 km), uz geološku kartu Samoborskog gorja (grafičko mjerilo = 1 km). ....  | 8  |
| Slika 3: Geološka karta (grafičko mjerilo = 500 m) i pripadni geološki stup područja istraživanja, izvedeni u vidu isječaka Osnovne geološke karte SFRJ 1:100 000, list Zagreb L 33-80. Točkama 1 i 2 su naznačene lokacije uzorkovanja. ....                          | 9  |
| Slika 4: Geološki profil ležišta Rude. ....  | 13 |
| Slika 5: Geološki stup ležišta Rude: 1. Donjotrijaski klastični sedimenti, 2. Anhidrit i gips, 3. Pješčenjaci, 4. Siderit, 5. Konglomerati, 6. Dolomiti, 7. Šejlovi, 2–7. Gornji paleozoik, 8. Rudne žile. ....  | 13 |
| Slika 6: Izdanak prve točke uzorkovanja. Prikupljeni uzorci oznake R1. ....  | 17 |
| Slika 7: Izdanak druge i treće točke uzorkovanja duž donjeg i gornjeg horizonta. Prikupljeni uzorci oznaka R2A i R2B. ....   | 18 |
| Slika 8: Mikroskopski preparati pripremljeni za petrografsku analizu pod polarizacijskim mikroskopom. ....   | 19 |
| Slika 9: Mikropetrografski sastav uzorka R1. Lijevo je fotografija s isključenim analizatorom (N-), a desno s uključenim analizatorom (N+). Kratice: Fsp – feldspat, Lt – litična čestica, Ms – muskovit i Qtz – kvarc. Grafičko mjerilo = 1000 $\mu\text{m}$ . ....   | 22 |
| Slika 10: Mikropetrografski sastav uzorka R2A. Lijevo je fotografija s isključenim analizatorom (N-), a desno s uključenim analizatorom (N+). Kratice: Fsp – feldspat, Lt – litična čestica, Ms – muskovit i Qtz – kvarc. Grafičko mjerilo = 1000 $\mu\text{m}$ . .... | 22 |
| Slika 11: Mikropetrografski sastav uzorka R2B. Lijevo je fotografija s isključenim analizatorom (N-), a desno s uključenim analizatorom (N+). Kratice: Fsp – feldspat, Lt – litična čestica, Ms – muskovit i Qtz – kvarc. Grafičko mjerilo = 1000 $\mu\text{m}$ . .... | 23 |
| Slika 12: Mikrofotografija hematita oko primarnih rubova kvarca i muskovita s isključenim analizatorom (N-). Kratice: Hem – hematit, Qtz – kvarc i Ms – muskovit. Grafičko mjerilo = 100 $\mu\text{m}$ . ....  | 24 |
| Slika 13: Mikrofotografija hematita oko primarnih rubova kvarca i muskovita s uključenim analizatorom (N+). Kratice: Hem – hematit, Qtz – kvarc i Ms – muskovit. Grafičko mjerilo = 100 $\mu\text{m}$ . ....   | 24 |
| Slika 14: Mikrofotografija ortoklasa s isključenim analizatorom (N-; lijevo) i s uključenim analizatorom (N+; desno). Grafičko mjerilo = 100 $\mu\text{m}$ . ....  | 25 |
| Slika 15: Mikrofotografija litične čestice s isključenim analizatorom (N-; lijevo) i s uključenim analizatorom (N+; desno). Grafičko mjerilo = 100 $\mu\text{m}$ . ....  | 26 |
| Slika 16: Mikrofotografija muskovita s isključenim analizatorom (N-; lijevo) i s uključenim analizatorom (N+; desno). Grafičko mjerilo = 200 $\mu\text{m}$ . ....  | 27 |
| Slika 17: Mikrofotografija muskovita i trošenja s isključenim analizatorom (N-; lijevo) i s uključenim analizatorom (N+; desno). Grafičko mjerilo = 100 $\mu\text{m}$ . ....   | 27 |

- Slika 18: Mikrofotografija kvarca, muskovita i sericita s isključenim analizatorom (N-; lijevo) i s uključenim analizatorom (N+; desno). Kratice: Qtz – kvarc, Ms – muskovit i Ser – sericit. Grafičko mjerilo = 200  $\mu\text{m}$ . ..... 27
- Slika 19: Mikrofotografija turmalina s isključenim analizatorom (N-). Primjer pleokroizma. Grafičko mjerilo = 100  $\mu\text{m}$ . ..... 29
- Slika 20: Mikrofotografija turmalina s uključenim analizatorom (N+). Potamnjenje paralelno s izduženjem (lijevo); interferencijske boje 2. reda u položaju maksimalne rasvjete (desno). Grafičko mjerilo = 100  $\mu\text{m}$ . ..... 29
- Slika 21: Mikrofotografija cirkona s isključenim analizatorom (N-). Grafičko mjerilo = 100  $\mu\text{m}$ . ..... 30
- Slika 22: Mikrofotografija cirkona s uključenim analizatorom (N+). Paralelno potamnjenje (lijevo); žive interferencijske boje u položaju maksimalne rasvjete (desno). Grafičko mjerilo = 100  $\mu\text{m}$ . ..... 30
- Slika 23: Mikrofotografija amfibola s isključenim analizatorom (N-). Primjer pleokroizma. Grafičko mjerilo = 100  $\mu\text{m}$ . ..... 31
- Slika 24: Mikrofotografija amfibola s uključenim analizatorom (N+). Interferencijske boje 2. reda u položaju maksimalne rasvjete. Grafičko mjerilo = 100  $\mu\text{m}$ . ..... 31



## 1. Uvod

U sklopu završnog rada provedena je analiza uzoraka pješčenjaka prikupljenih na području Velikog Črneca, duž istočnih obronaka Samoborskog gorja. Područje je vezano za dolinu potoka Rudarska Gradna, u naselju Rude, 25 km zapadno od Zagreba. Geološka istraživanja u Samoborskom gorju odvijaju se kroz čitavo stoljeće s namjerom pobližeg uvida u geološku građu i stvaranja jasnije slike o stratigrafskim i tektonskim odnosima. Samoborsko gorje predstavlja sjeveroistočnu komponentu Žumberačkog gorja, obuhvaćajući nehomogeni prostor, čiji reljef čine brojni planinski grebeni i potočne doline.

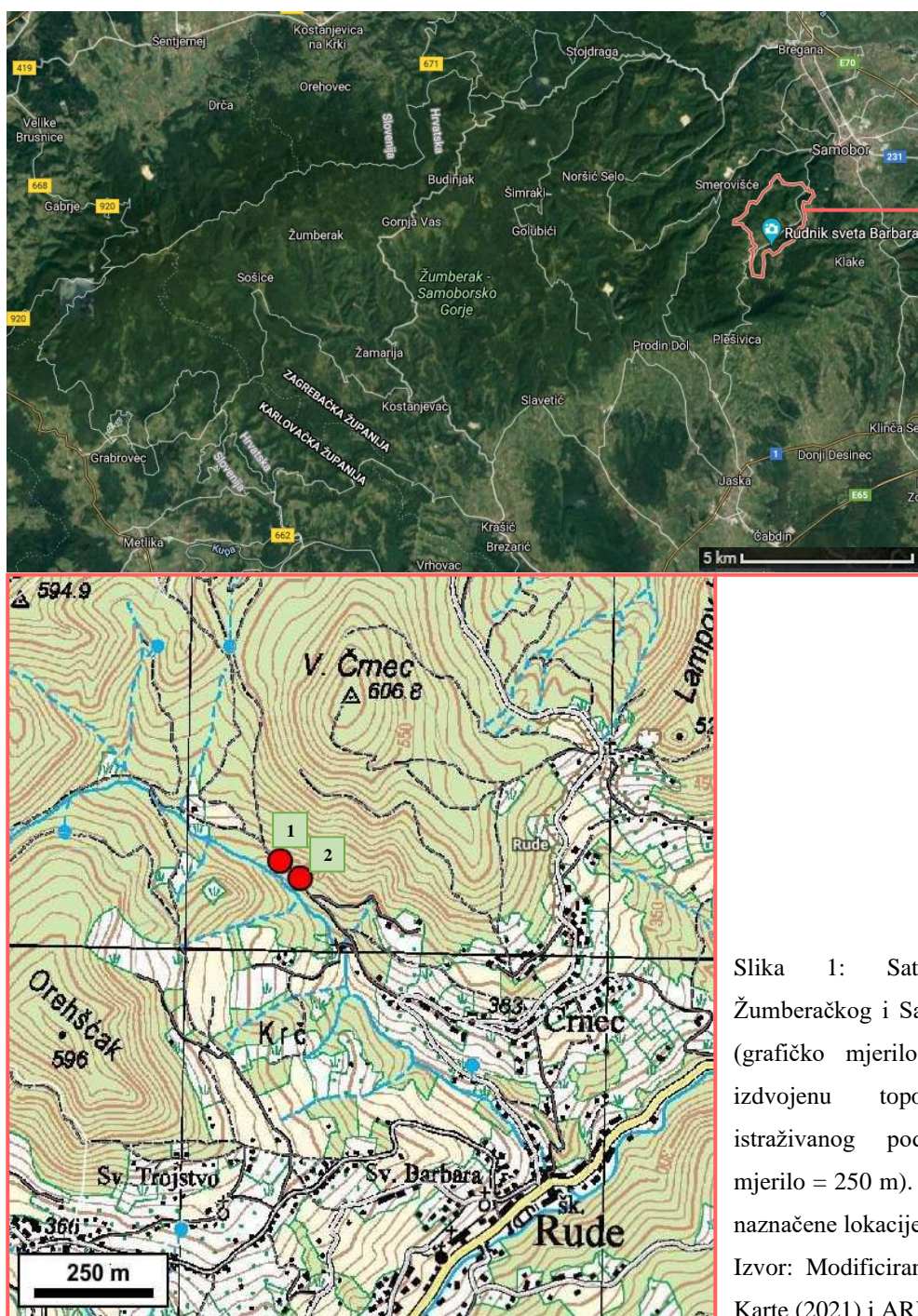
Lokaciju provedbe terenskog rada prvenstveno izgrađuju naslage gornjeg paleozoika, preciznije gornjeg perma (P<sub>3</sub>). Gornjopaleozojske naslage predstavljaju najstarije sedimente Samoborskog gorja, čija se starost procjenjuje na između 250 i 300 milijuna godina. Donji dio naslaga čine crno-sivi glinoviti škriljavci gornjeg karbona, dok je prisutnost svijetlosivih do tamnosivih pješčenjaka permske starosti karakteristična za gornji dio (HERAK, 1956).

Na terenu su prikupljeni uzorci na tri točke duž dva odabrana izdanka lokaliteta Veliki Črnek. Prikupljenim uzorcima pridodane su terenske oznake: R1, R2A i R2B. Analitičkim metodama obuhvaćena je petrografska determinacija uzoraka, odnosno izrada mikroskopskih preparata i provedba analiza petrografskih karakteristika. Pripremljena su po dva izbruska za svaki predio uzorkovanja, čineći ukupno šest mikroskopskih preparata. Razmatranje preparata srednjeznatih klastičnih sedimentnih stijena provedeno je pod petrografskim polarizacijskim mikroskopom. Temeljem mikroskopskih analiza, terenskih makroskopskih opažanja te usporedbe s dostupnom literaturom, određene su mikrofiziografske značajke pješčenjaka.

Primarni cilj ovog rada je istaknuti determinirana mikrofiziografska obilježja pješčenjaka gornjopermske starosti prikupljenih s lokaliteta Veliki Črnek, Rude u Samoborskom gorju, te izložiti prikaz interpretiranih zaključaka u korelaciji s podacima iz različitih znanstvenih radova.

## 2. Geografske i geomorfološke značajke

Prostor istraživanja razmotren u okviru seminarskog rada pretežno je podudaran s Parkom prirode Žumberak – Samoborsko gorje. Uzorkovanje je provedeno na području Velikog Črneca, smještenog u neposrednoj blizini naselja Rude u Samoborskom gorju (Slika 1). Brdsko-planinsko područje u sklopu Parka prirode Žumberak – Samoborsko gorje proteže se na ukupnoj površini od 342 km<sup>2</sup>. Nalazi se jugozapadno od Zagreba, sjevernog dosega određenog državnom granicom sa Slovenijom, dok na jugu ostvaruje kontakt s Pokupljem.



Slika 1: Satelitska snimka Žumberačkog i Samoborskog gorja (grafičko mjerilo = 5 km), uz izdvojenu topografsku kartu istraživanog područja (grafičko mjerilo = 250 m). Točkama 1 i 2 su naznačene lokacije uzorkovanja. Izvor: Modificirano prema Google Karte (2021) i ARKOD (2021).

Područje sadrži dinarske, alpske i panonske značajke. Dinarsku komponentu predstavlja krški reljef s brojnim površinskim i podzemnim krškim oblicima, alpsko obilježje nose strmi i oštri planinski grebeni, dok na panonski karakter ukazuju valovita pobrđa. Žumberačka Sveta Gera (1 178 m.n.v.) je najviši vrh sjeverozapadne Hrvatske. Istočni dio je niži i vrlo raščlanjen te obuhvaća prostor Samoborskog gorja s vrhovima Japetić (879 m.n.v.) i Plešivica (779 m.n.v.).

Općeprihvaćena je podjela Žumberačke gore na Žumberak i Samoborsko gorje, pri čemu prirodne granice predstavljaju doline rijeka Bregane i Drage – Volavčice (BUZJAK i sur., 2011). Samoborski predio se smješta zapadno od Samobora, uz prostiranje od Okića na istoku, duž toka rijeke Bregane na zapadu do Plešivice na jugu i državne granice na sjeveru, sve do naselja Bregana. Obuhvaća krajnji sjeverozapadni rub planinskog lanca Dinarida. Potoci Bregana, Lipovečka i Rudarska Gradna su uvelike utjecali na oblikovanje reljefa te su duboko usječnim koritima podijelile masiv u tri osnovne skupine: Plešivica, Oštrc i Japetić.

Prostor Samoborskog gorja se izdvaja kao jedinstvena cjelina u odnosu na ostatak Žumberačke gore prema nekoliko čimbenika: izrazita raščlanjenost na blokove i hrptove odijeljene duboko usiječenim dolinama, socio-geografska i gospodarska obilježja uvjetovana utjecajem glavnog regionalnog centra Samobor te geološke i morfološke razlike. S obzirom na oblike, hipsometriju, nagibe i raščlanjenost razlikuju se četiri orografska tipa reljefa: nizinski, zavalski, predgorski i gorski. Prisutna je tektonska dezintegracija terena i aktivnost egzogenih procesa, primarno izrazitog erozijskog usijecanja tekućica. Posljedično se javlja reljefna heterogenost obilježena s više odvojenih i različito orijentiranih gorskih blokova, pri čemu je otežano definiranje osnovnog pružanja gorja (BUZJAK i sur., 2011).

U neposrednom gorskom zaleđu Samobora veliku ulogu u oblikovanju reljefa nose padinski i fluvijalni procesi, čime je razvijena relativno gusta mreža dolina. Iz rasporeda dolinske mreže vidljivo je protezanje vodotoka duž glavnih tektonskih zona. Fluviokrški i krški procesi prevladavaju na manjim zaravnjenim područjima. Tektonski predodređena paralelna struktura mreže tekućica Samoborskog gorja ukazuje na primarnu prisutnost rasjeda smjera sjeveroistok-jugozapad i sjever-jug. Doline prate tektonski razmrvljene zone. Odstupanja od generalnih smjerova otjecanja opažaju se u područjima s lokalnim izdizanjem blokova, dovodeći do razvoja radijalnog ili centrifugalnog tipa riječne mreže.

Recentni rasjedni pokreti utječu na smjer otjecanja i intenzitet erozijskog procesa, pri čemu su prisutne doline dubokih usjeka (BUZJAK i sur., 2011).

Rude predstavljaju naselje udaljeno otprilike 5 km jugozapadno od Samobora i 25 km zapadno od Zagreba. Smještaj odgovara prostoru između gorja Oštrc i Plešivica, odnosno obroncima Samoborskog gorja. Utvrđene zemljopisne koordinate geografskog položaja iznose 45°46'01" sjeverne širine i 15°40'01" istočne dužine, dok je najveća nadmorska visina određena na 280 m. Naselje nastaje u dolinskom proširenju, kao prostoru akumulacije fluvijalnog materijala (BUZJAK i sur., 2011). Kroz mjesto protječe potok Rudarska Gradna te presijeca dolinu Rudarska draga (PETRIĆ, 2011).

Veliki Črnec je izdvojeni šumoviti vrh smješten na grebenu Oštrc s istočne strane Samoborskog gorja, odnosno 1 km od Ruda i 4 km jugozapadno od Samobora. U doticaju je sa sjeveroistočnim dijelom granice Parka prirode Žumberak – Samoborsko gorje. Najveća nadmorska visina doseže 607 m.

### 3. Pregled dosadašnjih istraživanja

O rudarstvu i geološkoj građi Samoborskog gorja postoji niz objavljenih radova, omogućavajući rekonstrukciju glavnog toka provedenih geoloških istraživanja. Uvid u dosadašnja istraživanja područja od interesa izveden je u vidu kompilacije tumača za list Zagreb (ŠIKIĆ i sur., 1979) te uvodnih segmenata iznesenih u radovima „Geologija Samoborskog gorja“ (HERAK, 1956) i „Geologija ležišta željezne i bakrene rude u Rudama kraj Samobora“ (ŠINKOVEC, 1971).

Rudarenje u Rudama već u 18. stoljeću postaje poznato u onodobnoj Europi, na što ukazuje vjerojatno najstariji objavljeni geološki rad na temu Samoborskog gorja, kojeg iznosi HACQUET 1784. godine. Opisuje pojave bakrene i željezne rude u Rudama i geološku građu okolnog područja. Ističe kako je u Rudama najrasprostranjeniji gnajs s lećama i žilicama halkopirita.

VUKOTINOVIĆ u razdoblju od 1855. do 1874. piše o gornjokrednim fosilima Samoborskog gorja te geologiji rudišta bakra i željeza. 1855. godine iznosi izvještaj o otvaranju rudnika u Rudama. 1878. dodatno piše o geološkim prilikama Ruda i okolnog područja, uz spomen željeznih i bakrenih ruda, grauvaka, gipsa, trijaskih dolomita i nulipornih vapnenaca. LIPOLD (1858) izrađuje kartu Krško – Brežice – Samobor (1:75 000). STUR (1861/62, 1863) predstavlja pregled građe šireg predjela Samoborskog gorja te utvrđuje stratigrafski slijed. Popis minerala pronađenih u Rudama sastavlja KIŠPATIĆ (1878, 1901). GORJANOVIĆ-KRAMBERGER razmatra geološku građu i problematiku tektonskih odnosa Samoborskog i Žumberačkog gorja u okviru brojnih radova, popraćenih geološkim kartama (1:75 000). 1884. godine daje petrografski opis paleozojskih sedimenata, pripisujući im donjokarbonsku starost. Stvaranje halkopirita vezuje uz dijabaze i porfirite naselja Manja Vas. 1892. godine započinje s geološkim snimanjem Samoborskog i Žumberačkog gorja, dok 1894. objavljuje prikupljene rezultate i preglednu geološku kartu.

POLJAK (1911, 1933) objavljuje pregled geotektonskih odnosa Hrvatsko-slavonskog gorja, u sklopu kojega razmatra položaj Samoborskog gorja, dok u zasebnom prilogu opisuje geomorfologiju. Faunu srednjotrijaskih vapnenaca Gregurić brijega i geološke odnose predočava SALOPEK (1912, 1918, 1936). TUĆAN (1919) ističe prisutnost ruda te korisnih minerala Samoborskog gorja. U periodu od 1929. do 1944., u svrhu dopuna i ispravaka Gorjanovićeve geološke karte, ŠUKLJE objavljuje niz radova s analizama

stratigrafskih odnosa. 1929. godine utvrđuje bogatu miocensku faunu Zaprešić brijega, dok 1942. spominje manju rasprostranjenost karbonskih sedimenata, popraćenih ulošcima hematita i limonita. JENKO (1942, 1944) također radi na reambulaciji karata, pri čemu objavljuje dva izvještaja.

1956. godine MALEZ opisuje paleolitske nalaze kod Samobora. Iste godine HERAK daje pregled geološke građe i kartu (1:50 000) užeg predjela Samoborskog gorja. Ujedno pruža do tada najdetaljniji opis geologije okolice Ruda i geološku kartu (1:25 000). U suradnji s ŠKALECOM (1967) objavljuje fosilnu dokumentaciju za permske naslage u dolini Bregane. SILA (1959) provodi kartiranje duž relacije Samobor – Sv. Nedelja. Miocenske puževe Zaprešić brijega proučava PAVLOVSKY (1959, 1960). 1962. godine JURKOVIĆ prikazuje geološku građu ležišta Rude, dok JOVANOVIĆ izvještava o kvarcnim pijescima u predjelu Grdanjaca. RAMOVŠ (1965) uvrštava paleozojske klastite Bregane i Samobora u period perma. Pregled podataka o ležištu željeza i bakra u Rudama iznosi ŠINKOVEC (1971). ŠIFTAR (1989) donosi zaključak o permskoj starosti naslaga gipsa kod Ruda, temeljen na provedenoj izotopnoj analizi sumpora.

Novija istraživanja:

PALINKAŠ i sur. (2010) obrađuju genezu siderit-polisulfid-barit-hematit mineralizacije Ruda, s obzirom na geološka opažanja, hidroterme i izotopni sastav sulfida i sulfata. STRMIĆ PALINKAŠ i sur. (2013) utvrđuju utjecaj ležišta Rude na okolne ekosisteme. FIO FIRI i sur. (2016) provode determinaciju mikrofosilnog sastava, određuju njihov stratigrafski značaj i mikrofacijese, rekonstruiraju slijed naslaga gornjeg perma i donjeg trijasa te predlažu približnu stratigrafsku poziciju perm-trijas granice na području Samoborskog gorja.

## 4. Geološke značajke

Samoborsko gorje karakterizira složena geološka građa i strukturni sklop, proizlazeći iz zahvaćenosti cjelokupnog područja geotektonskom aktivnošću kroz geološku povijest. Kompleksni strukturno-tektonski odnosi prisutnih litoloških jedinica uzrokuju heterogenost reljefa, pojave raznovrsnih taložnih okoliša i učestale facijesne diferencijacije. Pritom su formirane stijene različitog petrografskog sastava i litoloških obilježja.

U stijenama niskometamornog kompleksa, u okviru paleozojskih i mezozojskih naslaga Samoborskog gorja, prisutni su reversni rasjedi različitog intenziteta, bore i prateće deformacijske strukture (TOMLJENOVIC, 2002). Snažan utjecaj tektonike pokazuje i česta poremećenost rudnih žila unutar rudnih tijela, uz sadržaj zdrobljenih minerala (HERAK, 1956).

Razmatrani teren obilježava djelomični nedostatak provodnih fosila i značajna tektonska poremećenost. Uporište u stratigrafsko-tektonskoj interpretaciji i raščlanjivanju pružaju jasno izražene transgresivne diskordancije (HERAK, 1956).

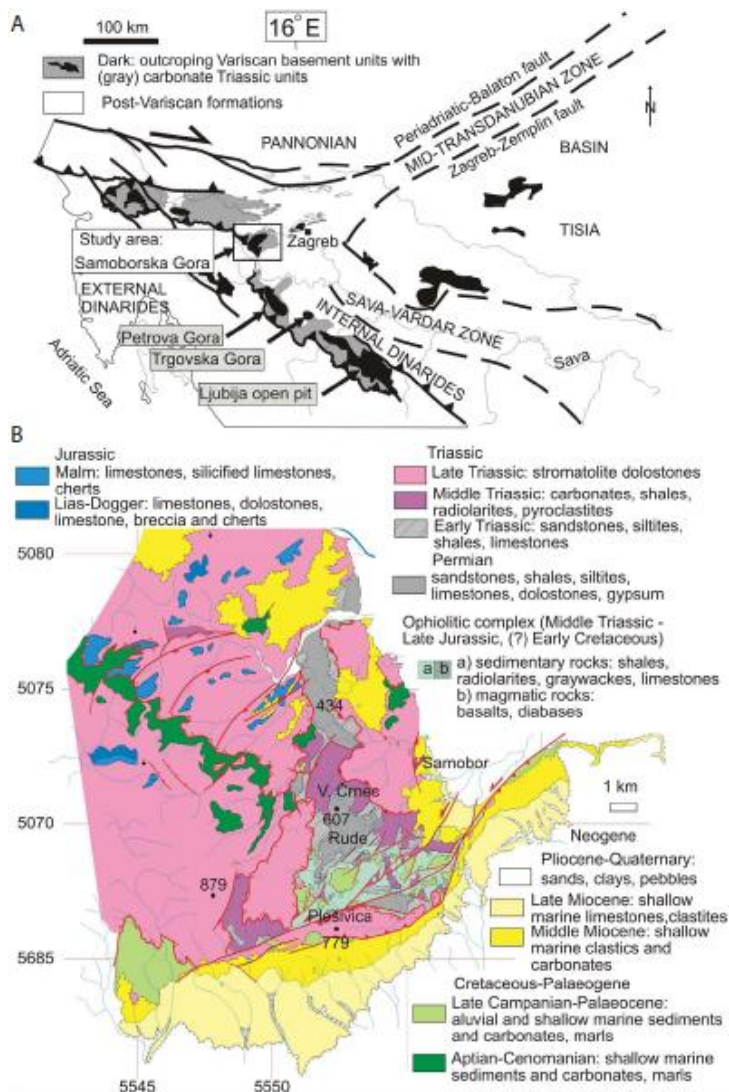
### 4.1. Geološki smještaj

Samoborsko gorje je smješteno unutar zapadnog predjela Zagorje-Mid-Transdanubijske zone (ZMTZ), odnosno Savske jedinice. Jedinice ukomponirane u ZMTZ pokazuju kombinaciju alpskih i dinaridskih karakteristika, uključujući elemente Vanjskih i Unutrašnjih Dinarida (Slika 2). Takva granična zona je pozicionirana između dva istaknuta rasjedna sustava: Periadriatski-Balaton lineament na sjever-sjeverozapadu i Zagreb-Zemplin lineament na jug-jugoistoku (PALINKAŠ i sur., 2010).

Samoborsko gorje je sastavljeno od paleozojskih, mezozojsko-paleogenskih i neogenskih formacija. Autohton predstavljaju dvije cjeline: 1) Paleozojska jedinica sastavljena od tamnosivih škriljavaca, šejlova i pješčenjaka gornjeg karbona. Oplićavanje sedimentacijskog bazena postupno dovodi do faze okopnjavanja, uz taloženje sitnozrnatih do krupnozrnatih pješčenjaka s proslojcima konglomerata, dolomita i evaporita. Slijedi nekonformno prekrivanje klastično-karbonatnom jedinicom donjeg trijasa, popraćeno sedimentacijom srednjo i gornjotrijaskog karbonatno-laporovitog taloga s povremenim pojavama rožnjaka; 2) Kredni melanž je pretežno sastavljen od bazalta i dijabaza unutar šejlova, grauvaka, konglomerata, radiolarita i vapnenaca mezozojske starosti, uz

prekrivenost neogenskim sedimentima. Moguće produkte faze trijaskog riftovanja čine vulkanske stijene, često u vidu bazaltno-spilitnih jastučastih lava. Alohton je predstavljen litotipovima mezozojske karbonatne platforme (PALINKAŠ i sur., 2010).

U sklopu permskih nemetamorfoziranih klastita prisutne su siderit-polisulfid-barit-kvarc naslage, kao svojstvena pojava naselja Rude u blizini Samobora. Naslage su ograničene na rani intrakontinentalni rifting u sjeverozapadnom predjelu Neotethys oceana te su razmještene duž pasivnog kontinentanskog ruba Gondwane (PALINKAŠ i sur., 2010).

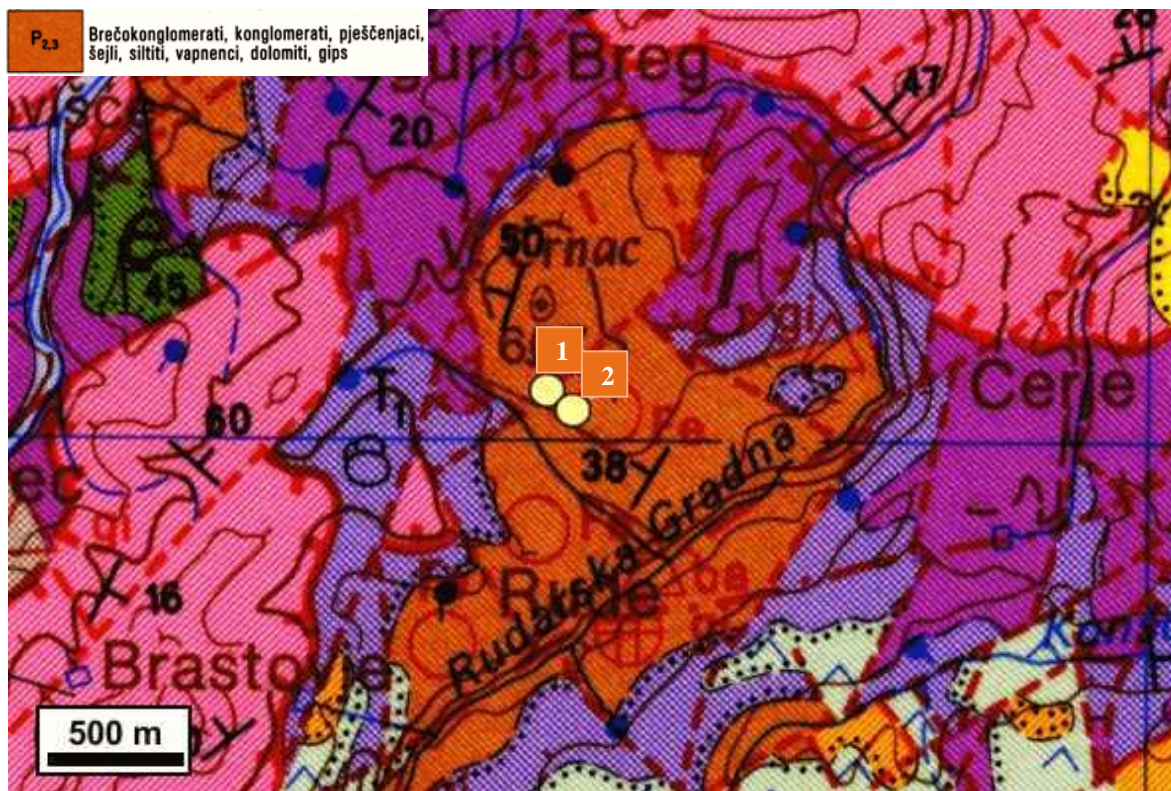


Slika 2: Prikaz glavnih tektonskih jedinica Zagorje-Mid-Transdanubijske zone (grafičko mjerilo = 100 km), uz geološku kartu Samoborskog gorja (grafičko mjerilo = 1 km).

Izvor: PALINKAŠ i sur. (2010): Permian-polysulphide-siderite-barite-haematite deposit Rude in Samoborska Gora Mts., Zagorje-Mid-Transdanubian zone of the Internal Dinarides. *Geologia Croatica*, 63/1, str. 96; izvorno prema PAMIĆ, J. i TOMLJENVIĆ, B. (1998); TOMLJENVIĆ, B. (2002).

Prema isječku Osnovne geološke karte, list Zagreb (ŠIKIĆ i sur., 1978), vidljiva je pripadnost naslaga šireg područja rasponu od gornjeg paleozoika do holocena (Slika 3). Obuhvaćen je predio istraživanog terena, odnosno okolica V. Črneca, s naslagama gornjeg paleozoika, točnije srednjeg i gornjeg perma (P<sub>2,3</sub>). U sastav su pretežno ukomponirani brečokonglomerati, konglomerati, pješčenjaci, šejlovi, siltiti, vapnenci, dolomiti i gips.





|                   |         |                  |  |  |
|-------------------|---------|------------------|--|--|
| P A L E O Z O I K | P e r m | P.T              | Do 50  | Grauvakni i subarkozni pješčenjaci, šejli, siltiti i gips  |
|                   |         | P <sub>2,3</sub> | > 350  | Pješčenjaci, šejli, siltiti, kvarcni konglomerati i breče; u mlađem dijelu vapnenci, dolomiti i gips<br><i>Gymnocodium belerophontis</i> , <i>Atractylopiopsis lastensis</i> , <i>Pachyphloia reicheli</i> , <i>Hemigordius harltoni</i> i dr. |
|                   |         | P <sub>1</sub> ? | ?  | Škriljavi siltiti i subgrauvake, rekristalizirani vapnenci i dolomiti, kvarc-sericitski i kvarc-kloritski škriljci, kvarciti i mramori   |
|                   | Karbon  | D,C?             | ?  | <b>Metamorfozirani vulkanogeno-sedimentni kompleks</b><br>Parametamorfiti: škriljave grauvske i siltiti, rekristalizirani vapnenci i dolomiti, filiti, muskovit-kloritski i kvarc-muskovitski škriljci, mramori, cipolinski škriljci i dr.     |
| Devon             | D,C?    | ?                | Ortometamorfiti: zeleni škriljci, metamorfozirani gabri, dijabazi i doleriti |  |

Slika 3: Geološka karta (grafičko mjerilo = 500 m) i pripadni geološki stup područja istraživanja, izvedeni u vidu isječaka Osnovne geološke karte SFRJ 1:100 000, list Zagreb L 33-80. Točkama 1 i 2 su naznačene lokacije uzorkovanja.

Izvor: Modificirano prema ŠIKIĆ i sur. (1978). Savezni geološki zavod, Beograd.

## 4.2. Paleogeografija gornjeg paleozoika

Cjeloviti prikaz geoloških zbivanja za vrijeme gornjeg paleozoika primarno je temeljen na knjizi „Historijska geologija 1, Prekambrij i Paleozoik“ (BUCKOVIĆ, 2006), koja objedinjuje recentne geološke spoznaje i znanstvene radove.

Gornji karbon karakterizira zatvaranje zapadnog dijela Paleotethysa, odnosno kolizija Starog crvenog kontinenta i Gondwane, pri čemu započinje hercinska orogeneza. Izdižu se planinski lanci Mauritanida i južnih Apalača, Ouachita planine te Hercinidi. Hun mikrokontinent kolidira sa Sibirijom, rezultirajući zatvaranjem Prototethysa. Tijekom srednjeg-gornjeg perma nastupa kolizija Sibirijske sa sjeverom Starog crvenog kontinenta, uz izdizanje planinskog lanca Ural. Kolizijama kontinentskih fragmenata u sklopu hercinske orogeneze nastaje jedinstveni superkontinent nazvan Pangea, uz okruženost oceanom Panthalassa. Sjeverni predio predstavlja Laurazija, a južni Gondwana.

Paleotethys ocean separira Stari crveni kontinent od Gondwane. Na predjelu Gondwane oko južnog pola, tijekom raspona karbon-gornji perm, stvaraju se kontinentski ledenjaci. Sjeverni i istočni predio Starog crvenog kontinenta obilježava formiranje značajne količine ugljena. U plitkom moru zapadnog dijela talože se vapnenci i evaporiti, dok se prema jugu javljaju kopneni riječni sedimenti starog crvenog pješčenjaka. Na šelfnim površinama se talože karbonati, a južnije dubokomorski crni šejlovi.

Gornji paleozoik je razdoblje velikih klimatskih razlika između ekvatorijalnog i polarnog prostora. Najveće količine ugljena formirane su tijekom gornjeg karbona na nižim i višim geografskim širinama. Odvila se intenzivna karbonsko-srednjopermska oledba Gondwane (Karoo oledba).

Perm obilježavaju klimatsko-vegetacijske promjene. Oštar klimatski gradijent i složeni topografski odnosi uzrokuju izrazitu diferenciranost permske flore. Početkom perma na jugu Gondwane i sjeveru Laurazije su izražene kontinentske oledbe, dok krajem perma nastupa zatopljenje klime. Novouspostavljeni suhi i vrući klimatski uvjeti oko ekvatora dovode do stvaranja debelih naslaga evaporita na plitkomorskim šelfnim prostorima. Perm obilježava nastanak najvećih koncentracija kamene soli u čitavoj povijesti Zemlje (naslage rudnog kamena). Sušna klima dovodi i do stvaranja ugljena iz obilja zaostalog biljnog materijala papratnjača. Na prijelazu u srednji perm dolazi do emerzije i mjestimice intenzivne erozije, pri čemu se u zaostalim marinskim paleodepresijama talože pješčenjaci

i konglomerati, dok se u rasponu od mlađeg dijela srednjeg perma do njegova kraja taloži karbonatna serija.

Za gornjopermsku tektonsku aktivnost, ponajprije uz završnu fazu hercinske orogeneze, vezuje se nastanak ležišta željezne i bakrene rude Samoborskog gorja (ŠIKIĆ i sur., 1979), dok se kroz završne faze alpske orogeneze odvija konačno izdizanje (HERAK, 1956). S obzirom na osebujno pružanje sjeverozapadnih hrvatskih planina, paleogeografski položaj Samoborskog gorja nije u cijelosti razjašnjen (SREMAC, 2012).

### 4.3. Stratigrafija Samoborskog gorja

HERAK (1956) u sklopu prirodoslovnog istraživanja objavljuje rad „Geologija Samoborskog gorja“, uz pripadnu geološku kartu i tri profila, predstavljajući sistematski pregled geološke građe užeg predjela Samoborskog gorja. Najstarije naslage na području Samoborskog gorja pripadaju paleozoiku, dok su dominantno zastupljene mezozojske naslage, osobito trijasko starosti. Uzorci prikupljeni na terenu odgovaraju gornjopaleozojskim sedimentima, preciznije gornjopermskim pješčenjacima.

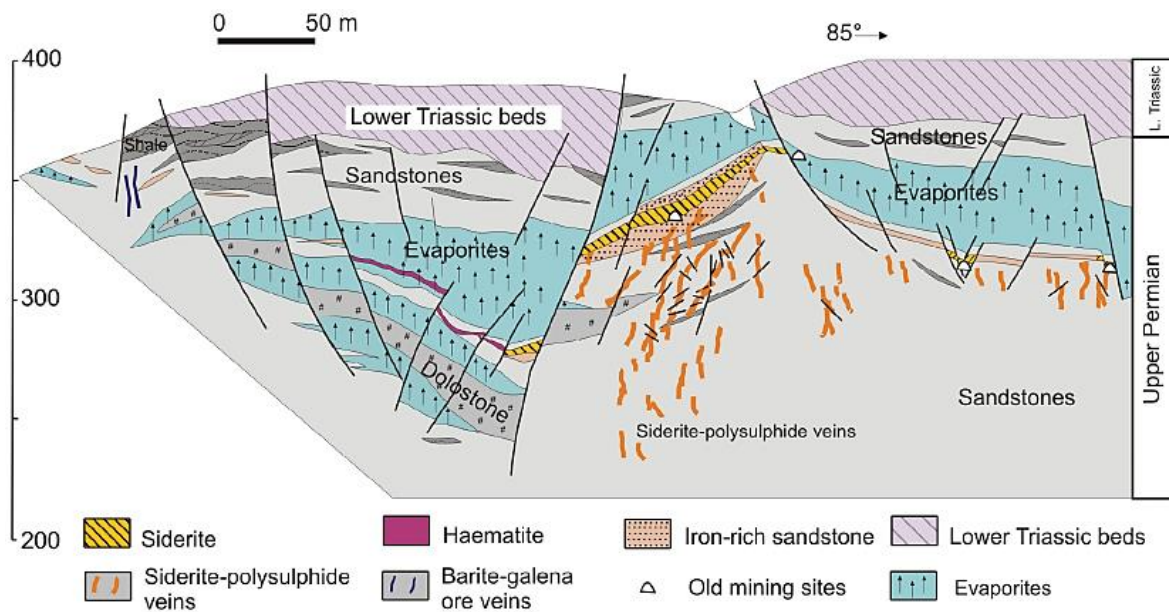
#### 4.3.1. Paleozoik

Paleozojske naslage Samoborskog gorja karakterizira prisutnost željezne i bakrene rude. STUR (1863) prvi pokušava preciznije odrediti stratigrafiju paleozojskih naslaga, temeljem biljnih ostataka iz pješčanih škriljavaca duž relacije Rude – Plješivica. Slabo očuvane biljne ostatke vezuje za rod crvotočina *Sigillaria*. SALOPEK (1936) ističe da se prema daljnjim istraživanjima vjerojatno radi o gornjem karbonu. JENKO (1942) pronalazi ostatke preslice *Calamites cf. carinatus* STERNBERG unutar pješčanih tinjčastih škriljavaca Marijagoričkih brda. Izvodi zaključak da je riječ o gornjem karbonu, kojem pridružuje i kamene konglomerate te krovinske pješčenjake. Krovinsku pješčano-konglomeratičnu seriju čine crveni sitnozrnati pješčenjaci gredenskog tipa, pretežno smješteni uz kontakt paleozoika s verfenom (Gradišće i Mali Črnc). Crvena obojenost ukazuje da nisu nastali u karbonu za vrijeme humidne klime, nego u permu u aridnim klimatskim uvjetima. Između članova gornjeg karbona i perma nalazi se serija pješčenjaka i konglomerata.

Pretežno je riječ o kontinuiranoj klastičnoj sedimentaciji Samoborskog gorja tijekom gornjeg karbona i dijela perma (Slika 4 i Slika 5). Izdvojena su dva nivoa: 1) Naslage

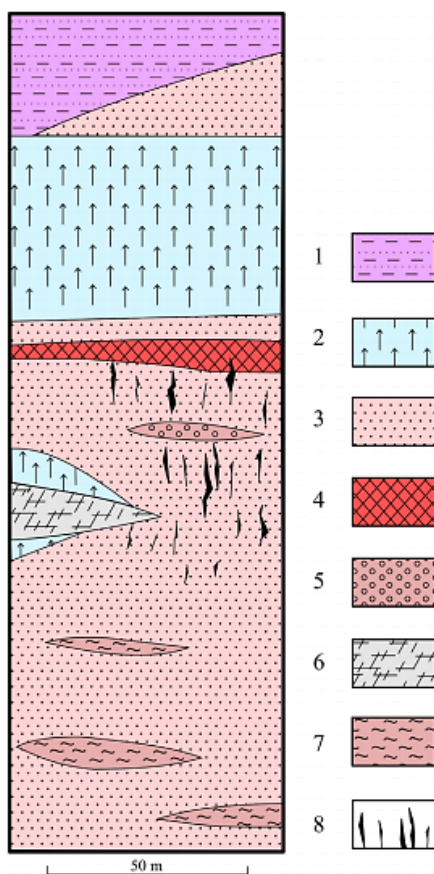
gornjeg karbona – bazu čine tamni glineni škriljavci, koji trošenjem mogu požutjeti. Javljaju se i tamni pješčani tinjčasti škriljavci i sitnozrnati pješčenjaci. Ponegdje su prisutni tamni dolomiti s organskim ostacima, siderit, hematit, halkopirit, barit, ankerit te konglomerati. Moguća je permska starost pješčenjačko-rudnog segmenta. Rudne komponente prate deblje naslage gipsa; 2) Naslage perma – gornji dio čine svijetli, gusti, sitno do krupnozrnati pješčenjaci te krupnozrnati kvarcni konglomerati s fragmentima starije serije, mjestimice hematitnim vezivom, limonitnim obojenjem te izraženom škriljavosti. Ponegdje su prisutni crveni pješčenjaci sa žutim limonitnim pjegama. Zapadno zaleđe Velikog Črneca tvore crveni tinjčasti pješčani škriljavci, pretpostavljene pripadnosti krovini paleozojskih naslaga.

Gornji paleozoik je prisutan u različitim tektonskim oblicima. Na sjeveru započinje u dolini Bregane uzvodno od Breganskog sela te se nastavlja preko Kožlaka, Rebra, Lavovih draga, Ludvić potoka, Gradišća, Lipovačke Gradne i Peskovčaka do ušća Pozorin potoka. U sastav su ukomponirani pješčenjaci, konglomerati te škriljavci. Sitnozrnati sedimenti i orudjenja se pojavljuju uz put Lipovačka Gradna – Bošnjačko selo. Jugozapad Bošnjačkoga sela uključuje pješčane tinjčaste škriljavce, pješčenjake i gips. Područje Gvozda karakterizira površinsko izbijanje škriljavaca, pješčenjaka i konglomerata. Između Dugih zdenaca i Braslovja, obuhvaćajući Veliki Črnek i Rude, proteže se najveći prodor paleozojskih naslaga. Primarno sadrže sitnozrnate sedimente, uz prisutnost rudnih tijela i gipsa. Na području Črneca su razvijeni konglomerati i pješčenjaci, s mjestimičnom integracijom segmenata crvenih pješčenjaka. Manji prodor se nalazi u potoku Konščici, u vidu pješčanih glinenih škriljavaca i pješčenjaka, dok uži pojasevi istovrsnih škriljavaca obilježavaju Terhajski greben. Stariji nivo paleozoika, uz predjele s pješčenjacima i konglomeratima, zahvaća veću površinu grebena Poljanica.



Slika 4: Geološki profil ležišta Rude.

Izvor: PALINKAŠ i sur. (2010): Permian–polysulphide–siderite–barite–haematite deposit Rude in Samoborska Gora Mts., Zagorje–Mid–Transdanubian zone of the Internal Dinarides. *Geologia Croatica*, 63/1, str. 96; izvorno prema ŠINKOVEC (1971).



Slika 5: Geološki stup ležišta Rude: 1. Donjotrijaski klastični sedimenti, 2. Anhidrit i gips, 3. Pješčenjaci, 4. Siderit, 5. Konglomerati, 6. Dolomiti, 7. Šejlovi, 2–7. Gornji paleozoik, 8. Rudne žile.

Izvor: BILIĆ, Š. i GARAŠIĆ, V. (2021): Petrological characteristics of clastic sedimentary rocks from the St. Barbara ore mine in Rude near Samobor. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 36(1), str. 123; izvorno prema ŠINKOVEC (1971).

#### 4.3.1.1. Gornji perm (P<sub>3</sub>)

Za detaljniji prikaz obilježja gornjopermskih naslaga razmatranog terena prvenstveno je upotrebljena geološka karta mjerila 1:100 000 i pripadni tumač lista Zagreb (ŠIKIĆ i sur., 1978, 1979).

ŠIKIĆ i sur. (1979) također iznose pregled prostiranja naslaga gornjeg perma, navodeći njihovu zapaženost u središnjim predjelima Samoborskog gorja, u vidu pružanja od Mokrica do Pozorin potoka. Prema jugu su otkrivene u području Velikog Črneca, Ruda (Rudarske Gradne) i Braslovja, dok su podređeno zastupljene u dolinama potoka Lipovečke Gradne i Konščice te na grebenu u blizini Terhaja. Najjužniji izdanci su smješteni u području sela Poljanice i potoka Okičnice.

Permske naslage obilježava široki litofacijsni sastav, no uglavnom je riječ o pješčenjacima s prijelazima u kvarcne konglomerate i brečokonglomerate, uz prisutne uloške i proslojke šejlova i siltita. Permski klastiti pružaju naznake sličnosti s permskim molasnim facijesom gredenskog tipa. Od davnina su u dolini Rudarske Gradne poznata ležišta željezne i bakrene rude vezana za permske klastite. Učestala je impregnacija željezovitom komponentom u vidu hematita i/ili limonita, rezultirajući tamnosivom, sivo-smeđom ili crvenkasto-smeđom obojenošću klastita. Permski pješčenjaci su klasificirani primarno kao feldspatsko-litoklastične i litoklastične grauivake, dok je podređenija prisutnost kvarc-grauivaka. Grupu psamitsko-psefitskih stijena čine konglomeratične kvarc-grauivake, kvarc-grauivakni konglomerati i polimiktni brečokonglomerati. Učestali je prelazak šejlova u sitnozrnate šejlove i siltite.

Ekvivalente mlađih klastita, na području Breganskog Sela i doline Lipovečke Gradne, predstavljaju gornjopermski tamnosivi i sivi vapnenci, dolomitični vapnenci i dolomiti s tankim proslojcima šejlova. Naslage gipsa, genetski vezane uz karbonate, otkrivene su u dolinama Rudarske i Lipovečke Gradne te u sklopu rasjedne zone sjevernih padina Plešivice. Rudarenjem su također pronađeni dolomiti s anhidritom i gipsom, smješteni unutar orudnjenih klastita. Pretpostavlja se njihova pripadnost karbonatno-evaporitnom slijedu, zajedno s površinskim izdancima. Dolomiti su sitno do srednjozrnati, mozaične strukture te je utvrđen postanak dijela dolomita procesom dolomitizacije fosilifernih vapnenaca. Vapnenci pripadaju strukturnim tipovima mikrita, kalkarenita i biokalkarenita, uz čestu dolomitizaciju. U sastav karbonata mogu biti uključene glinovite primjese i nakupine pirita. Sadržaj terigenih čestica uvjetuje prelazak vapnenaca u kalcisiltite. Rudarskim radovima je utvrđena primarna pozicija evaporita, dok se površinske pojave vezuju za tektonske kontakte. Ovisno o željezovitim i glinovitim komponentama, evaporiti mogu biti bijele, sive, zelenkasto-sive ili crvene boje. Slojevi su tanki te sadrže ponešto barita ili male udjele detritičnog kvarca.

Gornjopermska starost karbonata, evaporita i orudnjenja je dokazana pomoću fosila. Mikrofosili gornjeg perma u dolomitno-vapnenim stijenama Breganskog Sela i doline Lipovečke Gradne dokazuju starost mlađih komponenata permske serije. Vapnenci iz kamenoloma Lipovečke Gradne sadrže ostatke amonita.

Donja granica permske serije je neutvrđena te se pretpostavlja kontinuirani slijed starijeg dijela klastičnih naslaga u srednji perm. Površinski nije determiniran magmatizam, koji u kasnoj fazi hercinske orogeneze pruža hidrotermalne otopine za nastanak ekshalacijsko-sedimentnih ležišta željeza i bakra u Samoborskom gorju.

## 5. Materijali i metode istraživanja

U svrhu izvedbe seminarskog rada provedena su terenska, laboratorijska i kabinetska istraživanja.

### 5.1. Terenski rad

Uzorkovanje je provedeno početkom ožujka 2021. godine na području Velikog Črneca, u blizini naselja Rude. Naselje je locirano otprilike 5 km jugozapadno od Samobora, sa smještajem na obroncima Samoborskog i Žumberačkog gorja, između Oštrca i Plešivice. Dolinom se proteže potok Rudarska Gradna te stara prometnica Samobor – Plešivica – Jastrebarsko.

Terenskim obilaskom omogućilo se razmatranje stvarnih asocijacija stijena, čime su olakšani procesi identifikacije i interpretacije u daljnim analizama. Terenski rad je obuhvaćao: pregled terena, orijentiranje u prostoru i pozicioniranje na karti određivanjem pripadnih koordinata lokacija izdanaka, fotografiranje izdanaka te prikupljanje odabranih uzoraka za kasniju provedbu laboratorijskih i kabinetskih analiza.

Istraživani predio Velikog Črneca predstavlja pristupačan i prohodan dio terena s prilično trošnim, odnosno slabije očuvanim izdancima na prostoru uz šumsku stazu. Međuprostori su prekriveni većom količinom tla i površinskog nanosa te su neznatno obrasli vegetacijom. Proučeni su raspoloživi izdanci kao osnovni izvori geoloških informacija na terenu. Nalaze se uz desnu stranu šumske staze, gledano u odnosu na prilaz šumovitom predjelu s ceste obližnjeg naselja.

Naslage razmatranog dijela terena pripadaju najstarijim naslagama Žumberačko – Samoborskog gorja, odnosno paleozojskim sedimentima, sežući pretežno u gornji perm. Temeljem makroskopskih opažanja, izravno su na terenu prepoznati pješčenjaci s proslojcima i lećama slabo sortiranih konglomerata. Pješčenjaci su svijetlo do tamnosive obojenosti te je primijećena prisutnost tinjaca temeljem karakterističnog staklastog do sedefastog sjaja. Na pojedinim uzorcima su prisutne narančasto-crvenkaste ovojnice, vjerojatno kao posljedica alteracija te presvlačenja i impregnacija hematitom, koji se obično nalazi kao vrlo tanka prevlaka uz primarne rubove zrna ili dovodi do crvenog obojenja autigenih minerala glina i feldspata.



Po završetku detaljnog pregleda i osvrta na prisutne izdanke, provedeno je ciljano uzorkovanje na tri točke duž dva odabrana izdanka (Slika 6 i Slika 7). Prikupljeni su uzorci pješčenjaka za koje su, neposrednim makroskopskim opažanjima, zamijećene određene karakteristike na osnovu kojih se međusobno razlikuju (npr. veličina zrna, obojenost, prisutnost alteracija), s namjerom naknadne determinacije mikroskopskih obilježja. Prva točka uzorkovanja nalazi se u dubljem predjelu šumske staze, a neposredno nakon ulaska u šumu smještene su točke prikupljanja uzoraka s donjeg i gornjeg horizonta izdanka. Pažljivo je odabrano i prikupljeno nekoliko odlomaka stijena u plastične vrećice, koje su vodootpornim markerom naznačene pripadajućim oznakama za svaku točku uzorkovanja. Točki prvog izdanka je pridružena oznaka R1, dok se R2A odnosi na donji i R2B na gornji horizont drugog izdanka.

Nakon uzorkovanja, prikupljeni uzorci su donešeni u laboratorij Mineraloško-petrografskog zavoda Geološkog odsjeka na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u svrhu pripreme mikroskopskih preparata i provođenje daljnjih analiza.



Slika 6: Izdanak prve točke uzorkovanja. Prikupljeni uzorci oznake R1.



Slika 7: Izdanak druge i treće točke uzorkovanja duž donjeg i gornjeg horizonta. Prikupljeni uzorci oznaka R2A i R2B.

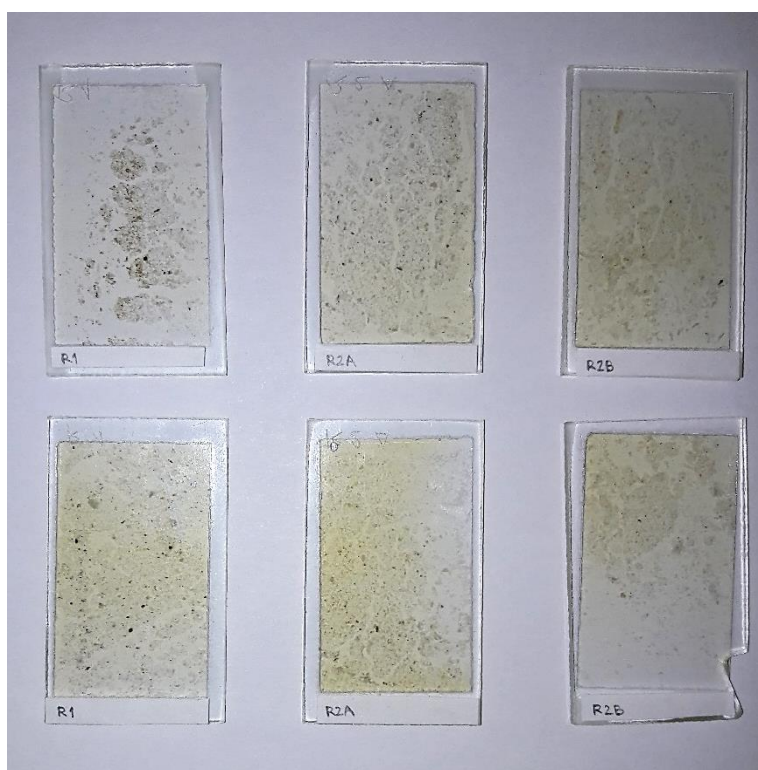
## 5.2. Laboratorijski rad

U laboratoriju Mineraloško-petrografskog zavoda uzorci su pripremljeni standardnom metodom izrade izbrusaka iz konsolidiranih stijena, s namjerom kasnije provedbe petrografske analize pod polarizacijskim mikroskopom.

Ukupno je izrađeno šest mikroskopskih preparata (Slika 8), odnosno po dva preparata za svaku zonu uzorkovanja na izdancima lokaliteta Veliki Črnec, Rude u Samoborskom gorju. Preparati su naznačeni velikim slovom R i pripadnim brojem s obzirom na točku uzorkovanja (R1, R2A i R2B).

Izrada mikroskopskih preparata se provodi na način da se iz uzorka stijene, upotrebom rotirajuće dijamantne pile, prvotno izrežu tanke pločice na debljinu oko 4 mm. Porozni ili drobljivi materijali se impregniraju te se pločice reduciraju na veličinu predmetnog stakalca. Strana uzorka koja se namjerava zalijepiti smolom na predmetno stakalce se izravna i ispolira abrazivnim prahovima odgovarajuće granulacije, kako bi se uklonile

nepravilnosti i osigurala glatka površina. Pločice se zagrijavaju te lijepe na predmetna stakalca smolom, tzv. kanadskim balzomom s indeksom loma u iznosu 1,54. Nakon što su se zalijepljene pločice ohladile, slijedi stanjivanje grubim brušenjem na rotirajućoj ploči uz prah. Zatim se provodi fino brušenje na ravnoj staklenoj podlozi upotrebom praha odgovarajuće zrnatosti, od najgrubljeg prema najfinijem, do debljine koja omogućuje mikroskopsko promatranje i analizu. Adekvatne debljine tankih prereza stijene trebaju iznositi od 0,02 do 0,03 mm, osiguravajući providnost i jasnoću kontura mineralnih zrna te interferencijskih boja. Indikatore optimalne debljine preparata predstavljaju kvarcna zrna, odnosno njihove karakteristične bijele i sive interferencijske boje 1. reda opažane u uvjetima s uključenim analizatorom. Završetkom brušenja preparati se oblažu pokrovnim stakalcima, pri čemu se za pričvršćivanje također upotrebljava smola.



Slika 8: Mikroskopski preparati pripremljeni za petrografsku analizu pod polarizacijskim mikroskopom.

### 5.3. Kabinetski rad

U sklopu kabinetskog istraživanja provedena je mikroskopska analiza pripremljenih izbrusaka uzorkovanih pješčenjaka. Analiza je načinjena upotrebom petrografskog polarizacijskog mikroskopa u polarizacijskoj prolaznoj svjetlosti, kao temeljna metoda geološkog istraživanja. Optičke metode su primijenjene s ciljem determinacije glavnih i

sporednih konstituenata mineralnog sastava te određivanja ostalih mikrofiziografskih svojstava stijena i pripadnih minerala.

Polarizacijski mikroskop predstavlja instrument namijenjen provođenju mikroskopskih analiza u linearno polariziranoj svjetlosti, pri čemu se mogu brzo i pouzdano utvrditi mikrofiziografske značajke stijena i minerala. U konstrukciju polarizacijskog mikroskopa ukomponirane su dvije nikolove prizme: polarizator i analizator. Izvor propušta svjetlost kroz prvi polarizacijski filter, tzv. polarizator, koji polarizira svjetlost prevodeći je u linearnu. Linearno polarizirana svjetlost vibrira samo u jednoj ravnini te se usmjerava prema okretnom stoliću s mikroskopskim preparatom. Svjetlost prolazi kroz objektiv, uz mogućnost daljnjeg propuštanja kroz drugi polarizacijski filter, tzv. analizator, i u konačnici prolazi duž tubusa s okularom. Analizator ostvaruje uvjete za interferenciju te se po potrebi može uključiti ili isključiti. Istovjetan je polarizatoru, s izuzetkom titrajne ravnine zakrenute za  $90^\circ$  u odnosu na titrajnu ravninu polarizatora. Analizator propušta svu svjetlost u slučaju kada je os analizatora paralelna s osi polarizatora, dok u međusobno okomitom odnosu ne propušta svjetlost.

Proučavanja su provedena s isključenom kondenzorskom lećom, u ortoskopskim uvjetima, kada snop paralelnih zraka svjetlosti pada na površinu preparata pod pravim kutom. Bez uključenog analizatora razmatrane su navedene karakteristike mineralnog presjeka: oblik i veličina zrna, prisutnost kalavosti, reljef, vlastita boja te pojava pleokroizma. S uključenim analizatorom opažane su interferencijske boje i potamnjenje.

Mikroskopiranje u polarizacijskoj prolaznoj svjetlosti je provedeno petrografskim polarizacijskim mikroskopom Zeiss AxioLab, s povećanjima u rasponu od 25x do 200x, čija se opća primjena ogleda u određivanju mineraloško-petrografskih obilježja stijena, ruda i ostalih mineralnih sirovina, mikroskopsko-petrografskoj analizi s interpretacijom facijesa te analizi minerala teške frakcije. Naknadno su snimljene fotografije mikroskopskih uzoraka digitalnom kamerom Canon EOS 500D, izravno pričvršćenom iznad mikroskopa. Upotrebom računalnog programa EOS Utility omogućilo se reguliranje postavki kamere i neposredno snimanje preko računala. Izbrusci su fotografirani u ortoskopskim uvjetima, s isključenim (N-) i uključenim analizatorom (N+), pri odgovarajućim povećanjima objektiva (2,5x i 10x).

## 6. Rezultati

Na šest mikroskopskih izbrusaka gornjopermskih pješčenjaka provedene su analize petrografskih karakteristika, temeljem kojih su proizašli određeni rezultati. Preparatima uzoraka prvog izdanka pridružena je oznaka R1, dok su za preparate drugog izdanka izvedene oznake R2A i R2B, obilježavajući uzorke prikupljene zasebno s donjeg i gornjeg horizonta. Iznesen je pregled i opis dobivenih rezultata, koji obuhvaćaju identifikaciju glavnih, sporednih i akcesornih komponenata mineralnog sastava pješčenjaka, određivanje sastava veziva i prikaz pripadnih mikrofiziografskih značajki.

### 6.1. Mikrofiziografska obilježja mikroskopskih preparata

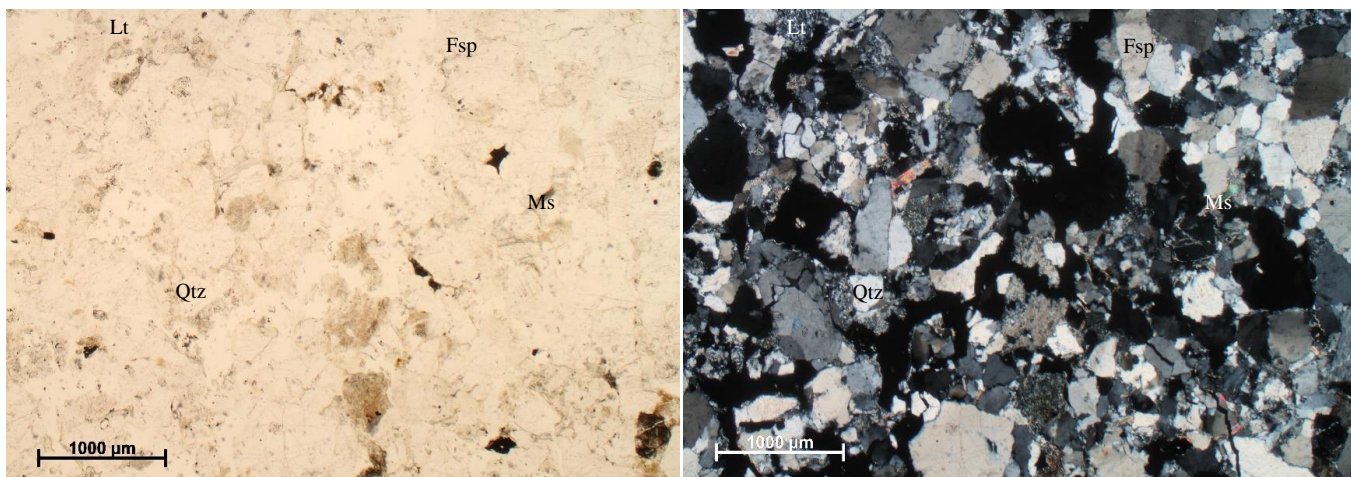
Provedenim mikropetrografskim analizama utvrđena je sličnost petrografskih karakteristika između mikroskopskih izbrusaka ispitivanih pješčenjaka, iako su makroskopski zamijećene pojedine specifičnosti na temelju kojih su uzorkovani na terenu (Slika 9, Slika 10 i Slika 11).

Polarizacijskim mikroskopom determinirani su konstituenti mineralnog sastava tankih izbrusaka pješčenjaka. Strukturu prvenstveno čine detritična zrna, sitnozrnati matriks i pore. Mikropetrografski sastav je prilično varijabilan s obzirom na tipove čestica i kemizam, pri čemu je ponajviše određen tipovima fragmenata stijena. Većinski su prisutni kemijski stabilniji minerali. Kvarc, litične čestice i podređeniji feldspati predstavljaju glavne detritične konstituente, dok se kao sporedni ističu detritični listići tinjaca, ustanovljene pripadnosti muskovitu. Osim navedenih mineralnih faza, detektirana je prisutnost akcesornih minerala u sklopu teške mineralne frakcije s pojavama turmalina, cirkona te amfibola, vjerojatne pripadnosti hornblendi.

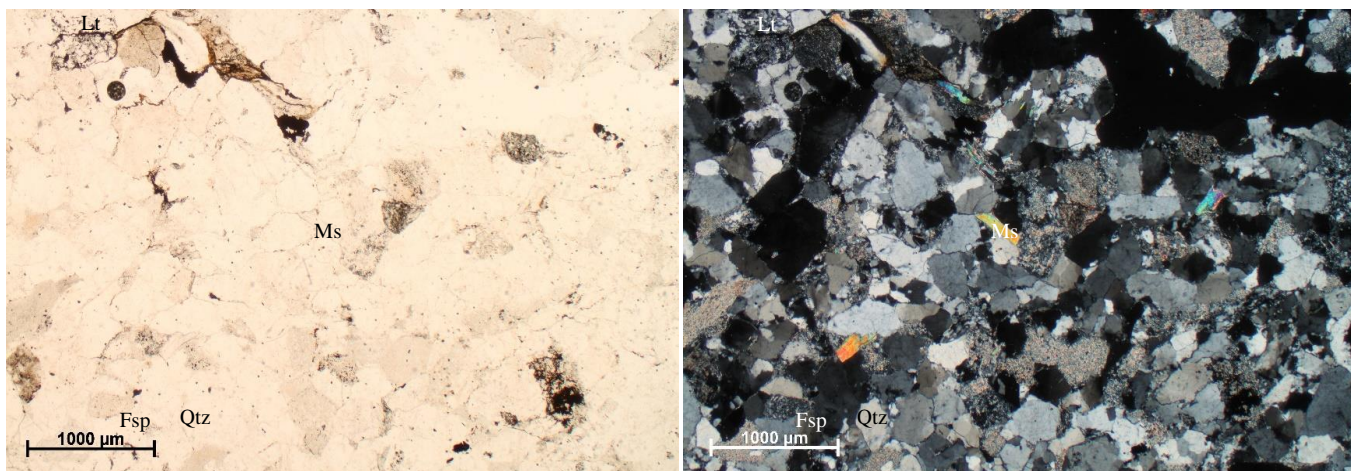
Uz sastav, veličina zrna je osnovna opisna karakteristika sedimentnih stijena, velikog značaja pri determinaciji vrste stijene. Utvrđena je srednjezrnatost s najčešćim promjerom detritičnih zrna u iznosu oko 0,5 mm. Također su prilično zastupljene i manje čestice, uz mjestimične pojave fragmenata većih dimenzija.

Zrna su uglata do poluzaobljena i relativno raspucana. Izostanak istaknutijih pravilnih geometrijskih kontura ukazuje na hipidiomorfne i alotriomorfne presjeke. Primijećena je srednje dobra sortiranost i slaganje zrna u okviru gustog pakiranja, čime zrna pretežno ostvaruju međusobni kontakt.

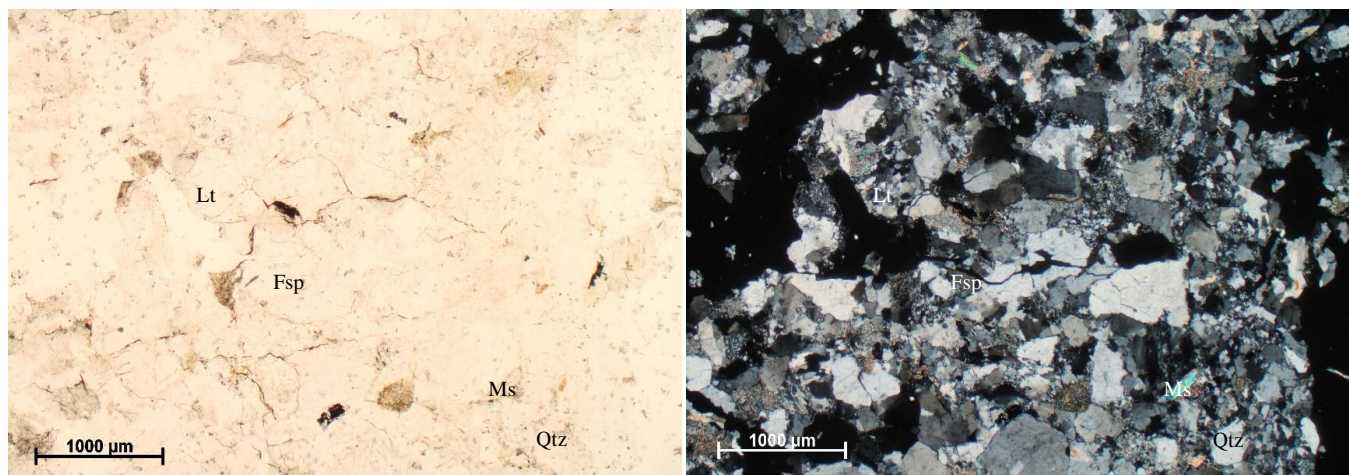
Relativno dobro slaganje zrna te gusto pakiranje reducira udio veziva, što se ponajprije ogleda u količinski neznatnoj prisutnosti primarnog matriksa u usporedbi s detritičnim sastojcima. Matriks predstavlja sitnozrnati materijal, dimenzija manjih od 30  $\mu\text{m}$ , čiji sastav obuhvaća sericit, minerale glina, sitne detritične fragmente kvarca i organskog materijala. Cement je autigena mineralna komponenta, kalcitnog ili kvarcnog kemijskog sastava, izlučena u međuzrnski prostor, smanjujući poroznost.



Slika 9: Mikropetrografski sastav uzorka R1. Lijevo je fotografija s isključenim analizatorom (N-), a desno s uključenim analizatorom (N+). Kratice: Fsp – feldspat, Lt – litična čestica, Ms – muskovit i Qtz – kvarc. Grafičko mjerilo = 1000  $\mu\text{m}$ .



Slika 10: Mikropetrografski sastav uzorka R2A. Lijevo je fotografija s isključenim analizatorom (N-), a desno s uključenim analizatorom (N+). Kratice: Fsp – feldspat, Lt – litična čestica, Ms – muskovit i Qtz – kvarc. Grafičko mjerilo = 1000  $\mu\text{m}$ .



Slika 11: Mikropetrografski sastav uzorka R2B. Lijevo je fotografija s isključenim analizatorom (N-), a desno s uključenim analizatorom (N+). Kratice: Fsp – feldspat, Lt – litična čestica, Ms – muskovit i Qtz – kvarc. Grafičko mjerilo = 1000 µm.

Pod polarizacijskim mikroskopom detaljnije je razmotren tanki izbrusak specifikacije R1 s namjerom izdvajanja mikrofotografija koje će ilustrirati morfologiju uzoraka pješčenjaka.

### 6.1.2. Optičke značajke najvažnijih sastojaka pješčenjaka

#### Kvarc

Kvarc je najstabilniji i dominantno zastupljen mineralni konstituent, pri čemu ponegdje doseže gotovo 75 % ukupnog udjela detritičnih zrna.

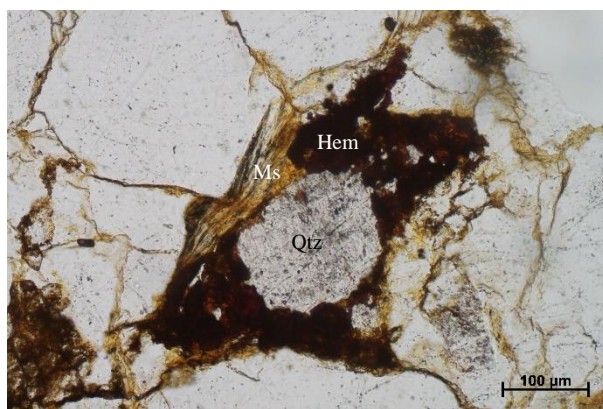
Zrna variraju veličinom i oblikom, no najčešće su prisutna relativno uglata do slabo zaobljena zrna, hipidiomorfni do alotriomorfni presjeka. Kontakti među zrnima su nepravilni. Zamijećena je trošnost kristalnih površina, mjestimični lomovi i usitnjenost. Razlikuju se monokristalni i polikristalni tipovi kvarcni zrna. Monokristalni kvarc je prepoznat kao pojedinačno zrno, bez pretrpljenog naprezanja. Polikristalni kvarc je manje stabilan, sastavljen od dvaju ili više kvarcni jedinki, okarakteriziranih izduženim kristalima preferirane orijentacije i različitog potamnjenja prilikom promatranja s uključenim analizatorom. Polikristalna kvarcna zrna su pribrojana litičnim česticama.

Zrna odlikuje nizak reljef, izostanak kalavosti i bezbojnost. Interferencijske boje odgovaraju bijeloj i sivoj boji 1. reda. Ponegdje su primijećene šupljine ispunjene fluidom, crnog obojenja u prolaznom i srebrnog obojenja u reflektiranom svjetlu, te inkluzije manjih kristalića drugih minerala.

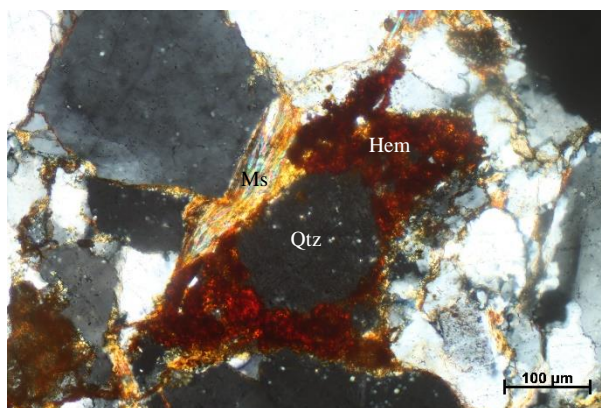
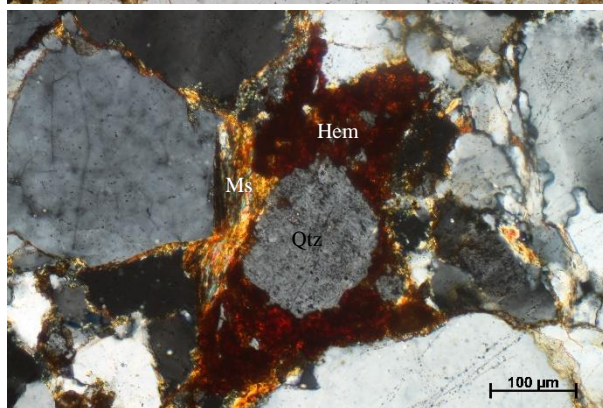
U uvjetima uključenog analizatora kvarc potamni četiri puta, dok je u presjecima okomito na optičku os stalno taman. Razlikuju se kvarcna zrna jednolikog i nejednolikog

(unduloznog) potamnjenja. Kvarc nejednolikog potamnjenja je odraz naprezanja kristalne rešetke te se vezuje za zrna manje stabilnosti, čime je podložniji trošenju. Prema tome, veći je udio monokristalnih zrna jednolikog potamnjenja u odnosu na polikristalna zrna nejednolikog potamnjenja.

Uočena je pojava hematita u vidu tanke crveno-smeđe prevlake oko primarnih rubova kvarca i muskovita (Slika 12 i Slika 13). Riječ je o presvlačenju i impregnaciji sedimenata hematitom, rezultirajući narančasto-crvenim obojenjem pojedinih segmenata pješčenjaka pri makroskopskom opažanju.



Slika 12: Mikrofotografija hematita oko primarnih rubova kvarca i muskovita s isključenim analizatorom (N-). Kratice: Hem – hematit, Qtz – kvarc i Ms – muskovit. Grafičko mjerilo = 100 µm.



Slika 13: Mikrofotografija hematita oko primarnih rubova kvarca i muskovita s uključenim analizatorom (N+). Kratice: Hem – hematit, Qtz – kvarc i Ms – muskovit. Grafičko mjerilo = 100 µm.

### **Feldspati**

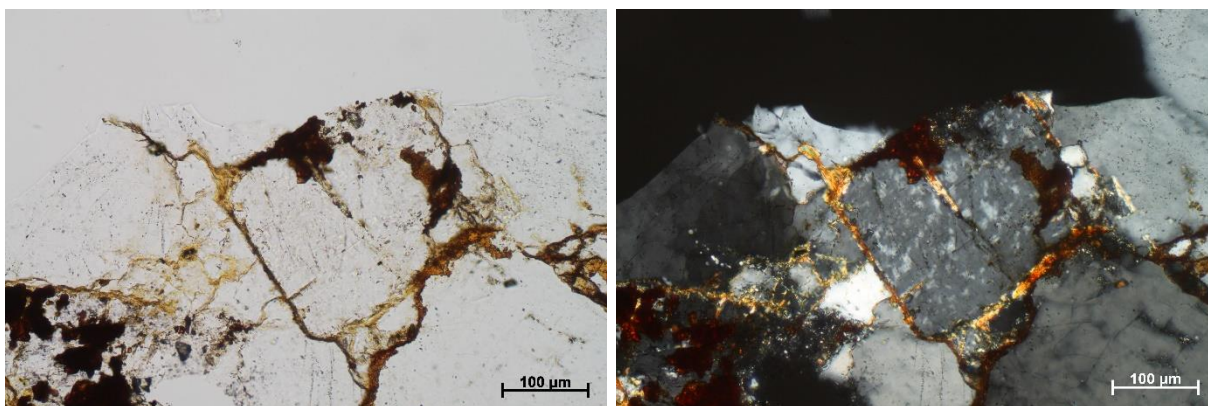
Feldspati su podređenije zastupljeni u usporedbi s ostalim glavnim konstituentima pješčenjaka, čineći do 5 % udjela ukupnog sadržaja. Pojavljuju se u okviru dvije serije: alkalijski feldspati i plagioklasi. Prevladavaju alkalijski feldspati, ponajprije ortoklas, dok su plagioklasi količinski neznatno zastupljeni.

Veća prisutnost ortoklasa je posljedica njegove veće stabilnosti u odnosu na plagioklas. Javlja se u vidu hipidiomorfnih do alotriomorfni presjeka, obično kratkoprizmatskog



habitusa (Slika 14). Ponegdje se kristali lome duž ploha srastanja, dok je kalavost teško vidljiva. Sličnog je izgleda kvarcu s obzirom na slabo izražen reljef te bezbojna zrna. Malo je svježih detritičnih zrna, češće su kristalne površine zamućene produktima izmjena. Najčešće su alterirani procesom sericitizacije, uslijed trošenja i djelovanja hidrotermalnih otopina, s obzirom da su mehanički i kemijski slabije otporni. Izmjena se odvija pod utjecajem minerala glina, konkretno sericita, započinjući zahvaćanjem središta zrna. Interferencija se javlja u sivo do sivo-bijeloj boji 1. reda. Potamnjenje je koso ili paralelno prema pukotinama kalavosti.

Od plagioklasa učestalija je pojava stabilnijeg albita nego anortita s tendencijom dijagenetske izmjene u albit. Mjestimice su opažena slomljena zrna. Na površini kiselih plagioklasa također su prisutni znakovi trošenja i slaba providnost kao posljedice izmjena u sericit. Prepoznatljivi su polisintetski sraslaci te bijele do žute interferencijske boje 1. reda.



Slika 14: Mikrofotografija ortoklasa s isključenim analizatorom (N-; lijevo) i s uključenim analizatorom (N+; desno). Grafičko mjerilo = 100 µm.

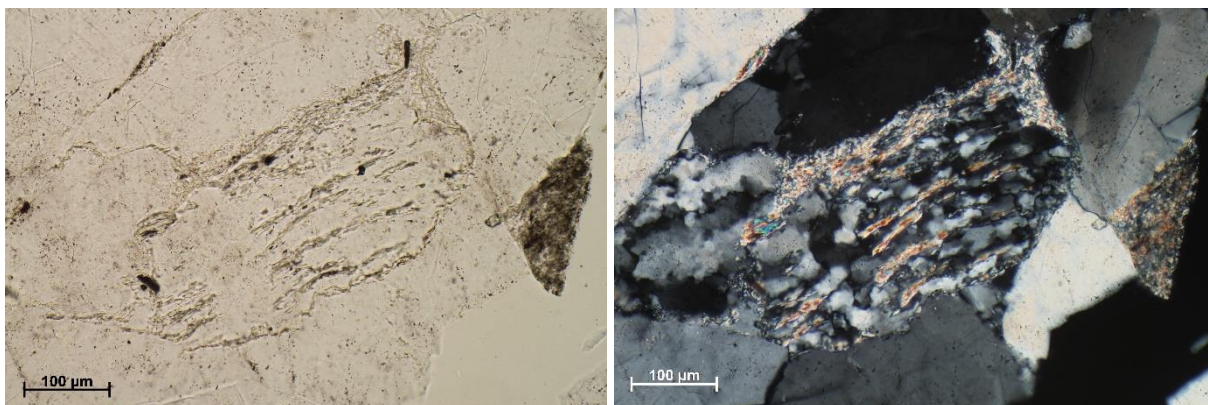
### **Litične čestice**

Uz kvarc i feldspate, litične čestice su najučestaliji i najznačajniji sastojci pješčenjaka, pri čemu je procijenjeno da čine više od 25 % ukupnog udjela zrna. Litične čestice se nazivaju i odlomcima stijene, s obzirom da nastaju procesom trošenja stijene, a podrazumijevaju detritične klaste sastavljene od najmanje tri kristalne jedinice istovjetnog ili različitog minerala. Opažene litične čestice primarno odgovaraju polikristalnom kvarcu, dok je manji dio vjerojatne pripadnosti fragmentima pelitnih sedimentnih stijena.

Polikristalna kvarcna zrna uvelike nalikuju na odlomke kvarcita i kvarc-sericitnih škriljavaca. Kvarcni sastav ujedno upućuje na pripadnost detritusu metamorfnih stijena

niskog stupnja metamorfizma. Podređenija je pripadnost sedimentnim stijenama siltozno-pješčanog i pelitnog tipa.

Litične čestice su djelomično uglate (Slika 15). Prisutne su različite veličine pojedinačnih zrna sastavljenih od kvarcnih jedinki pretežno hipidiomornog presjeka, uz ostvareni linijski ili suturirani kontakt. Moguće je opaziti fragmente s preferirano orijentiranim kristalima izduženog rasta. Mjestimično je otežano razlikovanje litičnih čestica od sitnozrnatog muljevitoz matriksa kao posljedica kompakcije i dijagenetskih alteracija.



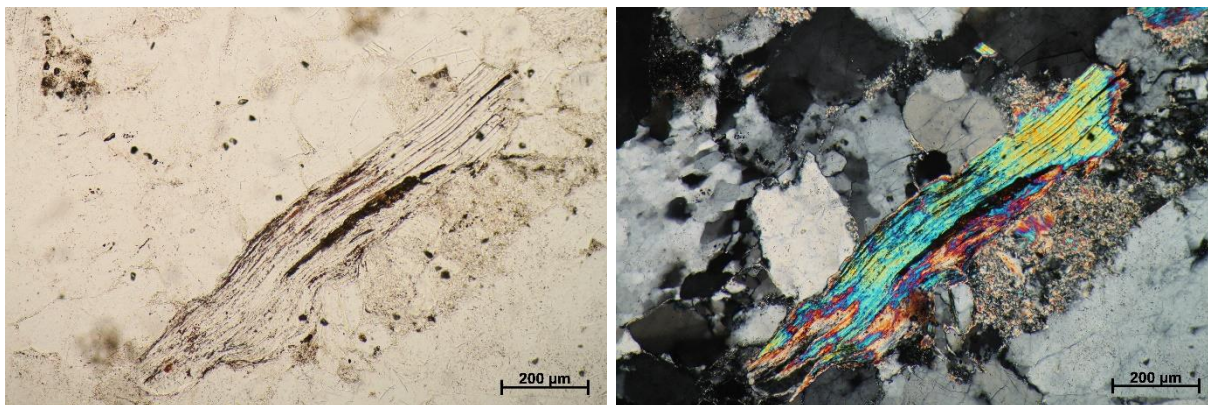
Slika 15: Mikrofotografija litične čestice s isključenim analizatorom (N-; lijevo) i s uključenim analizatorom (N+; desno). Grafičko mjerilo = 100 µm.

### **Tinjci**

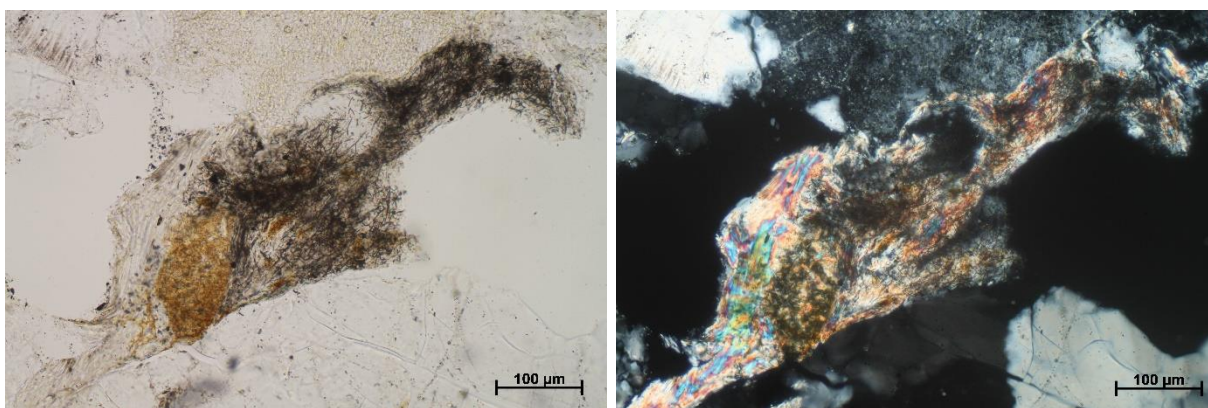
Tinjci su podređeniji konstituenti, čineći otprilike 3 %-tni udio u ukupnom sastavu detritusa. Opaženi su detritični listići muskovita te prisutnost sericita u sklopu izmjena feldspata.

Muskovit je prilično kemijski stabilan i rezistentan mineral, često preferirane orijentacije paralelno laminama. Javlja se u vidu nepravilnih i mjestimice deformiranih listićavih ili pravokutnih presjeka (Slika 16 i Slika 17). Vidljiv je umjereno visok reljef s izraženim pukotinama kalavosti. U polariziranom svjetlu je bezbojan, dok pod prekrštenim nikolima pokazuje intenzivne interferencijske boje 2. reda. Potamnjenje je paralelno ili gotovo paralelno prema pukotinama kalavosti. Za pojedina zrna vezuju se pojave trošenja.

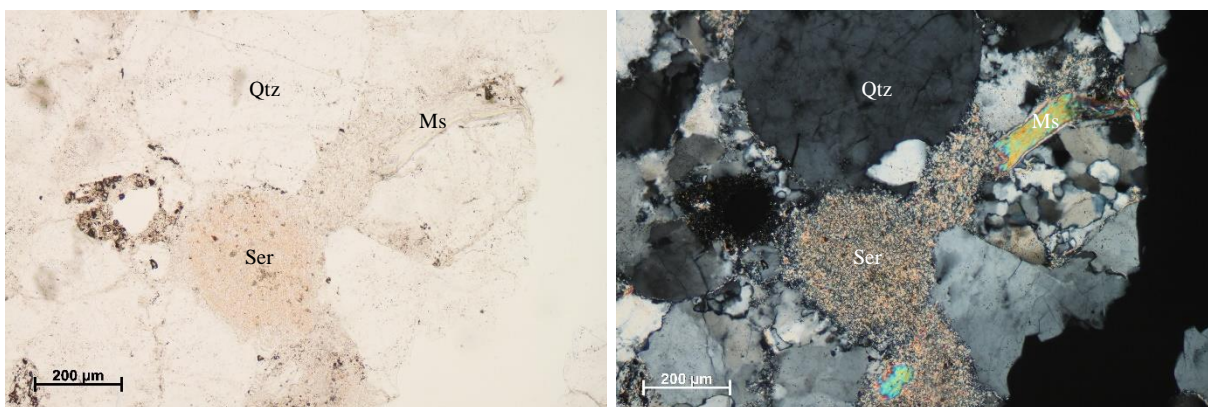
Sericit predstavlja sitnolistićavi tinjac, najčešćeg postanka hidrotermalnom alteracijom feldspata. Prema petrografskim karakteristikama prilično je sličan muskovitu. Proces sericitizacije primarno zahvaća zrna ortoklasa i kiselih plagioklasa, najprije započinjući izmjenom središta zrna (Slika 18).



Slika 16: Mikrofotografija muskovita s isključenim analizatorom (N-; lijevo) i s uključenim analizatorom (N+; desno). Grafičko mjerilo = 200 µm.



Slika 17: Mikrofotografija muskovita i trošenja s isključenim analizatorom (N-; lijevo) i s uključenim analizatorom (N+; desno). Grafičko mjerilo = 100 µm.



Slika 18: Mikrofotografija kvarca, muskovita i sericita s isključenim analizatorom (N-; lijevo) i s uključenim analizatorom (N+; desno). Kratice: Qtz – kvarc, Ms – muskovit i Ser – sericit. Grafičko mjerilo = 200 µm.

## **Minerali glina**

Minerali glina su prisutni u matriksu pješčenjaka. S obzirom na porijeklo mogu biti detritični i autigeni. Najčešći minerali glina su: illit, kaolinit i smektit. Dijagenetskim procesima mogu prijeći u druge minerale glina ili nastati trošenjem mineralnih zrna, osobito feldspata.

Određivanje mikrofiziografskih značajki minerala glina pod polarizacijskim mikroskopom je ograničeno izrazito malim dimenzijama zrna ispod 0,004 mm. Obično su listićavog oblika i preferirane orijentacije paralelno slojevitosti.

### **6.1.3. Optičke značajke minerala teške mineralne frakcije**

Uz najzastupljenije minerale u pješčenjacima, praćena je pojava podređenijih komponenata u sklopu teške mineralne frakcije. Riječ je o akcesornim mineralnim zrnima u koncentracijama do 1 %. U zajednici teških minerala prepoznate su pojave turmalina, cirkona i amfibola.

Pretežno su prisutni stabilniji teški minerali. Promjera su manjeg od kvarcnih zrna kao posljedica veće specifične gustoće. Specifična gustoća teških minerala se kreće u rasponu od  $2,85 \text{ gcm}^{-3}$  do  $2,88 \text{ gcm}^{-3}$ , dok za kvarc i feldspate iznosi oko  $2,60 \text{ gcm}^{-3}$  u vidu lake mineralne frakcije. Teška mineralna frakcija se od ostatka sedimenta obično odvaja teškim tekućinama.

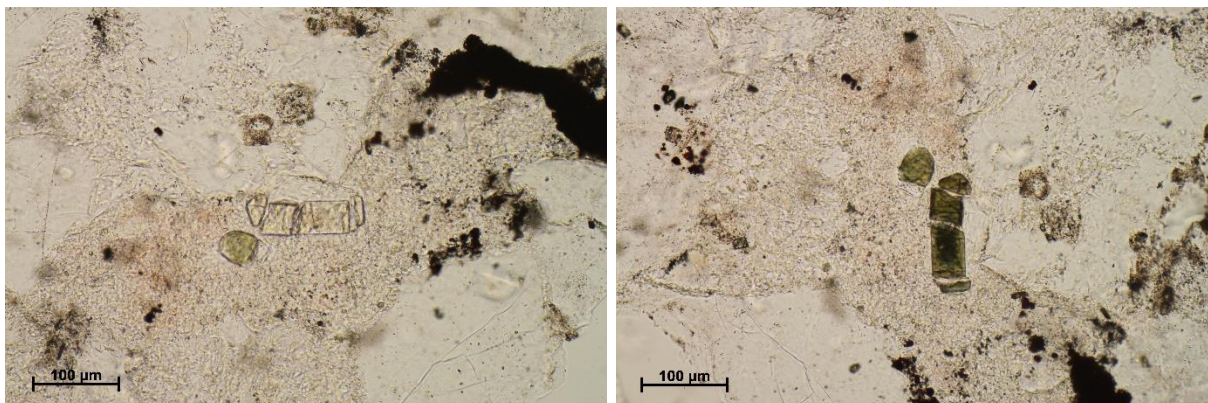
## **Turmalin**

Turmalin predstavlja vrlo stabilan teški mineral, prilično otporan na kemijsko trošenje i abraziju ishodišne stijene.

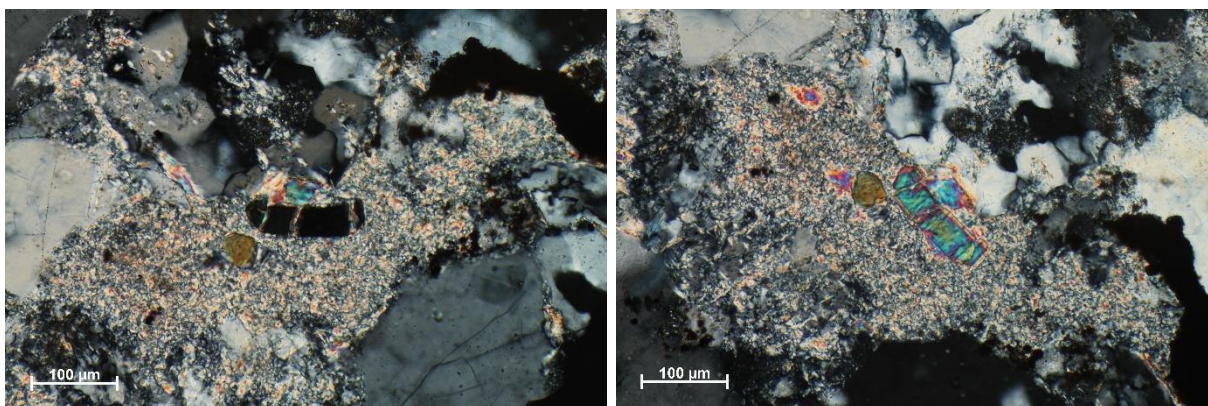
Uzdužni presjeci odgovaraju prizmatskim do štapićastim oblicima, dok su poprečni presjeci trigonskih kontura. Vrhovi i bridovi su zaobljeni. Prisutne su slabije vidljive nepravilne pukotine poprečnog pružanja. Na kristalnim površinama zrna mjestimice se opaža raspucanost, mrljaste nečistoće te zonalnost.

Srednje je visokog reljefa, bez kalavosti. Najčešće je zelenkasto-žutog obojenja te pokazuje izraženi pleokroizam (Slika 19). Svjetlija obojenost zrna javlja se prilikom paralelnog odnosa izduženja presjeka s titrajnom ravninom polarizatora. Tamnija obojenost zrna odraz je okomitog odnosa izduženja prema titrajnoj ravnini polarizatora.

Interferencijske boje odgovaraju živim bojama 2. reda te su djelomice prekrivene izraženom vlastitom bojom. Potamni paralelno sa smjerom izduženja (Slika 20).



Slika 19: Mikrofotografija turmalina s isključenim analizatorom (N-). Primjer pleokroizma. Grafičko mjerilo = 100 µm.



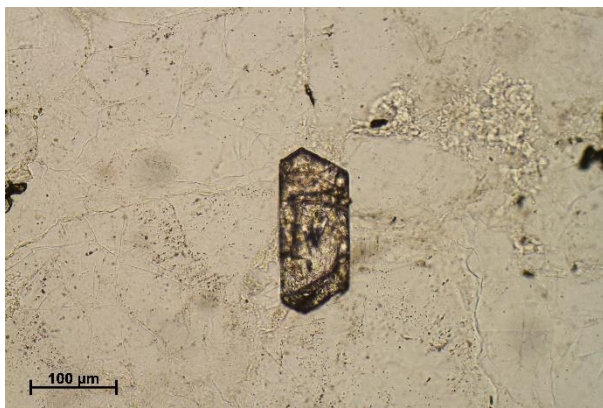
Slika 20: Mikrofotografija turmalina s uključenim analizatorom (N+). Potamnjenje paralelno s izduženjem (lijevo); interferencijske boje 2. reda u položaju maksimalne rasvjete (desno). Grafičko mjerilo = 100 µm.

## **Cirkon**

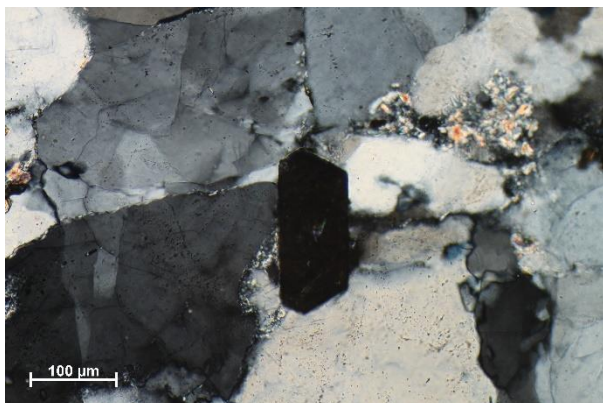
Cirkon je teški mineral značajne rezistentnosti na kemijsko trošenje i abraziju matičnih stijena.

Karakteristični su idiomorfni, prizmatični i bipiramidalni kristali manjih dimenzija. Pojedina zrna su nepravilno zaobljena. Vidljive su pukotine i tamni obrubi (Slika 21).

Jasno je izraženog i visokog reljefa. Obično je bezbojno-žućkastog obojenja i jake interferencije, pri čemu su najčešće zapažene plave, zelene, ružičaste i žute interferencijske boje. Zamijećena je zonalna građa, odnosno nekoliko zona boja istovremene pojavnosti. Pokazuju paralelno potamnjenje (Slika 22).



Slika 21: Mikrofotografija cirkona s isključenim analizatorom (N-). Grafičko mjerilo = 100 μm.



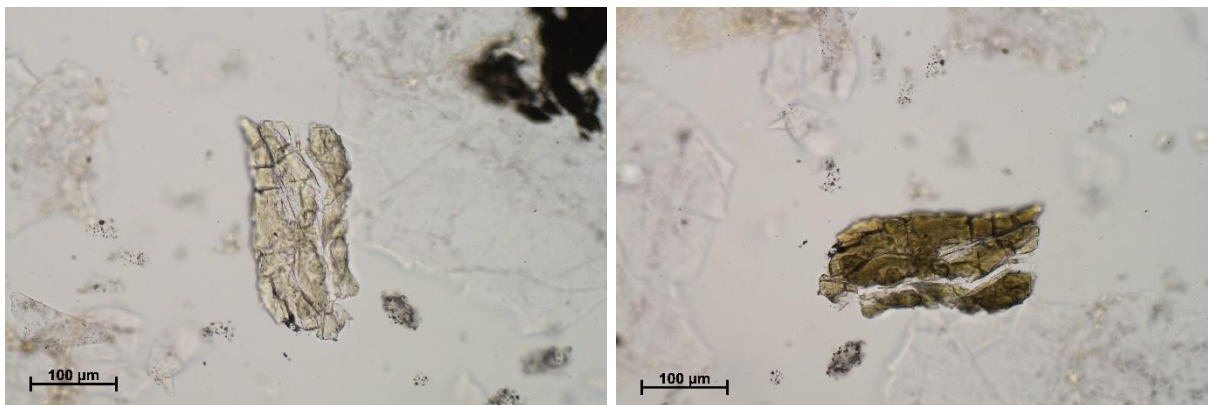
Slika 22: Mikrofotografija cirkona s uključenim analizatorom (N+). Paralelno potamnjenje (lijevo); žive interferencijske boje u položaju maksimalne rasvjete (desno). Grafičko mjerilo = 100 μm.

### Amfibol

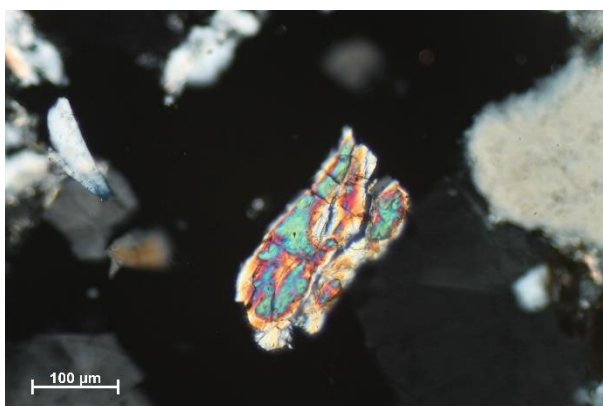
Amfiboli su podložniji kemijskom trošenju u odnosu na ostale teške minerale pješčenjaka. Pretpostavljena je pripadnost grupi hornblende.

Pretežno su opaženi pravokutni uzdužni presjeci s hipidiomorfno do alotriomorfno razvijenim zrnima. Krajevi su često zaobljeni te se javlja zonalnost. U pojedinim zrnima su prisutne inkluzije.

Reljef je visok s pukotinama kalavosti u paralelnom odnosu prema duljim stranicama. Mjestimice se opaža raspuknutost usporednog pružanja s prizmatskom kalavošću. Boja je smečkasto-žuta, uz jasan pleokroizam (Slika 23). Interferiraju u živim bojama 2. reda (Slika 24), pri čemu interferencijske boje mogu biti djelomično ili potpuno prekrivene vlastitom bojom. Potamnjenje je koso.



Slika 23: Mikrofotografija amfibola s isključenim analizatorom (N-). Primjer pleokroizma. Grafičko mjerilo = 100 µm.



Slika 24: Mikrofotografija amfibola s uključenim analizatorom (N+). Interferencijske boje 2. reda u položaju maksimalne rasvjete. Grafičko mjerilo = 100 µm.

## 7. Rasprava

U sklopu seminarskog rada provedena je analiza mikrofiziografskih karakteristika gornjopermskih pješčenjaka s područja V. Črneca, u okolici Ruda. Razmatranjima i usporedbama determinirana je značajna sličnost proučavanih mikroskopskih preparata prikupljenih uzoraka. U ovom poglavlju iznesena je pretpostavka klasifikacije, rekonstrukcija provenijencije, opis mineraloške zrelosti i interpretacija mikrofiziografskih obilježja pješčenjaka.

### 7.1. Klasifikacija pješčenjaka

Prodiskutirana je klasifikacija uzoraka pješčenjaka temeljena isključivo na mikroskopskim istraživanjima pod polarizacijskim mikroskopom i gruboj procjeni postotnog udjela prisutnih konstituenata. Petrografskim analizama je otkriveno da su uzorci nakon taloženja dijelom izloženi utjecaju hidrotermalnih otopina, otežavajući provedbu klasifikacije.

Primijenjena je klasifikacija pješčenjaka prema PETTIJOHN i sur. (1987), koja se zasniva prvenstveno na mineralnom sastavu i sadržaju matriksa. Analizirani uzorci su determinirani kao čisti pješčenjaci ili areniti s obzirom da matriks čini manje od 15 % udjela. Nadalje je izvedena pretpostavka pripadnosti litoarenitima, smatrajući da je veća zastupljenost litičnih čestica u odnosu na feldspate.

Litični areniti su pješčenjaci s više od 25 % litičnih čestica, čime nadmašuju udio feldspata. Detritični matriks obuhvaća vrlo mali udio od ukupnog sadržaja. Mineraloškim sastavom i makroskopskim izgledom (sivkasto obojenje) slični su grauvakama, no djeluju čišće. PETTIJOHN i sur. (1987) iznose općeniti odnos udjela glavnih konstituenata u sastavu litoarenita: kvarc < 75 %, litične čestice 25 – 100 % te feldspati < 25 %.

### 7.2. Provenijencija

Taloženje litičnih arenita vezuje se za velike prostore sa snažnom erozijom petrografski različitog terena, s kojeg je detritus transportiran u sedimentacijski bazen. Teren je primarno sastavljen od metamorfnih stijena, uz podređeniju prisutnost sedimentnih stijena. Uvjeti intenzivnog kemijskog i mehaničkog trošenja dovode do raspadanja manje rezistentnih odlomaka stijena, koji dijelom prelaze u otopljeno stanje i dijelom u



sitnozrnati epimatriks. Za litoarenite su općenito karakteristični taložni okoliši poput dubokomorskih okoliša, delta i velikih riječnih tokova (TIŠLJAR, 1994).

Moguće je da potječu od izdizanja i erozije deformiranih donjo i srednjopaleozojskih slojeva. Fragmenti stijena se mogu postupno s vremenom mijenjati, ukazujući na izdizanje u izvorišnom području, kojim su razni tipovi stijena izloženi trošenju (TUCKER, 2001).

### 7.3. Mineraloška zrelost

Uzorkovani pješčenjaci su relativno mineraloški nezreli kao posljedica velike brzine produkcije sedimenata iz suprakrustalnih izvora te kraćeg do umjereno dugog transporta. Riječ je o relativno brzim procesima transporta i taloženja, bez značajnije prerade te ograničenog intenziteta kemijskog i mehaničkog trošenja, ili o smještaju veće blizine izvorišnom području (TUCKER, 2001).

Mineraloška zrelost sedimenata procjenjuje se temeljem detritičnih sastojaka. Obilježava ih nezreli mineraloški sastav s većom količinom kemijski i mehanički nestabilnih zrna, obuhvaćajući čestice nestabilnih stijena, nestabilne teške minerale te feldspate. Procesi abrazije ili prerade sedimenata doveli su do uklanjanja određenog dijela nestabilnijih čestica (TUCKER, 2001).

Na niži stupanj zrelosti sedimenata ukazuje nekoliko čimbenika: uglatost detritičnih zrna, umjereni udio kvarcnih zrna, neznatna prisutnost teških minerala te veći udio nestabilnih konstituenata.

### 7.4. Interpretacija mikrofiziografskih obilježja

**Kvarc** je dominantno zastupljen mineral, što je odraz njegove otpornosti i stabilnosti prilikom mehaničkih i kemijskih trošenja u matičnim stijenama te tijekom procesa transporta i dijageneze. Najčešće su prisutna alotriomorfna zrna, blago zaobljena abrazijom, uz mjestimično trošne kristalne površine, manje lomove i usitnjenost. Time se zaključuje da je transport bio umjerenog trajanja i intenziteta.

Na moguće porijeklo iz metamornih stijena ukazuje mjestimična prisutnost polikristalnog kvarca i kvarca nejednolikog (unduloznog) potamnjenja. Nejednoliko potamnjenje sadrže zrna manje stabilnosti i lakšeg trošenja te se javlja kao posljedica naprezanja kristalne rešetke. Vezuje se za kvarc iz metamornih stijena, osobito onih

izloženih postkristalnim deformacijama ili nastalih kristalizacijom pri visokim tlakovima i temperaturama. Omjer monokristalnog i polikristalnog kvarca ili jednolikog potamnjenja u odnosu na nejednoliko predstavlja indikator indeksa zrelosti, čime je potvrđena manja mineraloška zrelost sedimenata.

Opaža se nešto veći udio monokristalnih zrna jednolikog potamnjenja u odnosu na polikristalna zrna nejednolikog potamnjenja, što je posljedica čestog potiskivanja manje stabilnih zrna kvarca kroz procese trošenja, transporta i dijageneze. Takav omjer potvrđuje zaključak o transportu detritusa umjerenog trajanja i dužine.

Hematit oko primarnih rubova kvarca je slabo kristaliziran, najvjerojatnije dijagenetskog postanka, pri čemu željezo potječe od unutarstojnog otapanja detritičnih silikata. Rezultira crvenkastim makroskopskim obojenjem segmenata uzoraka. ŠINKOVEC (1971) iznosi da željezo u manjim rudnim tijelima, odgovarajuće udaljenosti od sideritnih tijela, precipitira kao hematit.

**Feldspati** su mehanički manje stabilni od kvarcnih zrna, što dovodi do veće sklonosti razaranju prilikom procesa transporta. Također su kemijski nestabilniji, zbog lakoće kojom hidroliziraju. Cirkulacija hidrotermalnih otopina uzrokovana je riftnim magmatizmom tijekom gornjeg perma (PALINKAŠ i sur., 2010). Humidna klima izvorišnog područja doprinosi kemijskom trošenju i s time u vezi razaranju feldspata (TUCKER, 2001). Posljedično podložnosti otapanju, mogu biti djelomično ili potpuno uklonjeni kroz proces dijageneze. Lako i brzo trošenje feldspata vezuje se za sredine s djelovanjem slabo kiselih otopina. Na procese trošenja i izmjena ponajprije ukazuju mutne i slabo providne kristalne površine. TUCKER (2001) navodi kako većina feldspata u sedimentima pripada prvom ciklusu sedimentacije.

Veća prisutnost ortoklasa posljedica je njegove veće stabilnosti u odnosu na zrna plagioklasa te češće pojave u stijenama kontinentske podloge iz kojih potječu značajne količine pješćanih naslaga.

**Litične čestice** pretežno odgovaraju odlomcima metamorfnih stijena, koji su najčešće zastupljeni fragmentima gnajsova i škriļjavaca niskog do visokog stupnja metamorfizma. Sastav prisutnih litičnih čestica ukazuje na porijeklo od suprakrustalnih stijena izloženih izdizanju i eroziji (TUCKER, 2001).

BILIĆ i GARAŠIĆ (2021) iznose činjenicu da izostanak fragmenata magmatskih stijena ukazuje na mogući smještaj sedimentacijskog bazena na pasivnom rubu, čime bi nastanak pješčenjaka bio vezan za trošenje kontinentnog, najvjerojatnije recikliranog, sedimentnog materijala.

**Tinjci** su najčešće pločastog habitusa, pa se lako potiskuju iz vjetrom nošenih sedimenata. Zastupljenost tinjaca izravno je proporcionalna s porastom količine matriksa i smanjenjem veličine zrna.

Muskovit je kemijski stabilniji i zastupljeniji u sedimentima u usporedbi s biotitom, koji je češći u izvorišnim stijenama. Sericit se javlja kao sitnolistićavi varijetet muskovita, predstavljajući produkt hidrotermalnih alteracija feldspata. Izostanak biotita je tipična karakteristika pješčenjaka starijih geoloških razdoblja i pretaloženih pješčenjaka (TUCKER, 2001).

**Minerali glina** mogu biti detritični ili autigeni. Pomoću polarizacijskog mikroskopa nije moguće prepoznati detritične minerale glina. Neposredno nakon procesa taloženja, može nastupiti mehanička infiltracija glina u sastav pješčenjaka (TUCKER, 2001).

Prema TUCKER (2001) pješčenjaci obuhvaćaju glavne grupe minerala glina: kaolinit, illit, klorit, smektit i miješanoslojni minerali glina. Moguća je dijagenetska izmjena u druge minerale glina te nastanak iz drugih mineralnih konstituenata, osobito feldspata.

**Teški minerali** su u stijenama izvorišnog područja jednako podložni trošenju kao i drugi minerali, pri čemu se otapaju. Obično su mehanički dovoljno otporni da izdrže abraziju tijekom transporta.

U sklopu teške mineralne frakcije opažena su zrna turmalina, cirkona i amfibola. Prevladavaju stabilniji teški minerali, što ukazuje na relativno intenzivnija i dugotrajnija kemijska i mehanička trošenja ishodišnih stijena.

## 8. Zaključak

Temeljem provedene petrografske analize na šest mikroskopskih izbrusaka pješčenjaka gornjopermske starosti, izvedeni su sljedeći glavni zaključci:

- uzorkovani pješčenjaci su neznatnih mikrofiziografskih razlika;
- obzirom da matriks čini < 15 % udjela riječ je o čistim pješčenjacima ili arenitima. Nadalje se pretpostavlja pripadnost litoarenitima. Kvarc je najzastupljeniji mineralni konstituent (< 75 %) uslijed velike otpornosti i stabilnosti. Slijede litične čestice (> 25 %), nadmašujući zastupljenost feldspata (do 5 %). Litične čestice odgovaraju odlomcima metamornih stijena. Iz grupe feldspata prisutnija su zrna ortoklasa, odražavajući veću stabilnost i učestalost u kontinentskoj podlozi. Podređenije konstituente predstavljaju tinjci (muskovit i sericit; oko 3 %) i teški minerali (turmalin, cirkon i amfibol; do 1 %). Izostanak biotita odgovara pješčenjacima starijih geoloških razdoblja i pretaloženim pješčenjacima. Sastavom matriksa obuhvaćeni su: sericit, minerali glina, sitni detritični fragmenti kvarca i organskog materijala;
- taloženje se provodi na petrografski složenom terenu s izraženijom erozijom. Primarni sastav čine metamorfne stijene, dok su podređenije sedimentne i moguće resedimentirane stijene. Sastav litičnih čestica dokazuje porijeklo od suprakrustalnih stijena izloženih izdizanju i eroziji. Proces transporta umjerenog trajanja i intenziteta dovodi detritus u sedimentacijski bazen, čija geotektonska pozicija vjerojatno odgovara pasivnom kontinentskom rubu. Taložni okoliš može biti dubokomorski okoliš, delta ili veliki riječni tok;
- nestabilnija zrna se raspadaju i potiskuju kroz procese trošenja, transporta i dijageneze. Nakon taloženja nastupa utjecaj cirkulacije hidrotermalnih otopina, uslijed gornjopermskog riftnog magmatizma, uzrokujući alteracije. Sericit predstavlja produkt hidrotermalnih izmjena feldspata;
- pješčenjaci su mineraloški nezreli kao posljedica brze izvedbe iz suprakrustalnih sedimenata te kraćeg do umjerenog transporta. Izostaje značajnija prerada, ograničeni su intenziteti trošenja ili je riječ o većoj blizini izvorišnog područja. Čimbenici nižeg stupnja zrelosti su: uglatost, umjereni udio kvarcnih zrna, neznatna prisutnost teških minerala te učestaliji nestabilni konstituenti.

## Literatura

BILIĆ, Š., GARAŠIĆ, V. (2021): Petrological characteristics of clastic sedimentary rocks from the St. Barbara ore mine in Rude near Samobor. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 36(1), str. 121–135.

BUCKOVIĆ, D. (2006): *Historijska geologija 1, Prekambrij i Paleozoik*. Ebook, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 79–99.

BUZJAK, N., DUJMOVIĆ, I., FELETAR, D., FELETAR, P., HOLJEVAC, Ž., IBRIŠEVIĆ, R., PETRIĆ, H., RAGUŽ, J., RAZUM, S., SIJERKOVIĆ, M., SOMEK, P., VOJAK, D., ŽEGAREC PEHARNIK, M., ŽELLE, M. (2011): *Samobor, zemljopisno-povijesna monografija*. Samobor, Meridijani, 820 str.

GRAKALIĆ, D. (2006): Rude stoljetni centar rudarstva. *Meridijani* br. 101, 39–53.

HERAK, M. (1956): *Geologija Samoborskog gorja*. *Acta geol.*, 1 (Prir. istraž. 27), Jugosl. akad. znan. i umjetn., Zagreb, 49–73.

PALINKAŠ, L. A., BOROJEVIĆ ŠOŠTARIĆ, S., STRMIĆ PALINKAŠ, S., PROCHASKA, W., SPANGENBERG, J., CUNA, S., ŠINKOVEC, B. (2010): Permian–polysulphide–siderite–barite–haematite deposit Rude in Samoborska Gora Mts., Zagorje–Mid–Transdanubian zone of the Internal Dinarides. *Geologia Croatica*, 63/1, 93–115.

PAMIĆ, J., TOMLJENOVIĆ, B. (1998): Basic geological data from the Croatian part of the Zagorje–Mid–Transdanubian Zone. *Acta Geol. Hungarica*, 41/4, 389–400.

PETRIĆ, H. (2011): *Samobor i okolica u ranome novom vijeku*. U: *Samobor, zemljopisno-povijesna monografija*, FELETAR, D. (ur.). Samobor, Meridijani, str. 237–321.

PETTIJOHN, F. J., POTTER, P. E., SIEVER, R. (1987): *Sand and sandstone*. Springer-Verlag, New York, 2. izdanje, 553 str.

SREMAC J. (2012): Influence of terrestrial sedimentation in Pennsylvanian rocks of Croatia. *Geologia Croatica*, 65/3, 273–282.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A. (1978): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Zagreb L 33-80*. Savezni geološki zavod, Beograd.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A. (1979): *Tumač Osnovne geološke karte SFRJ 1:100 000, list Zagreb L 33-80*. Savezni geološki zavod, Beograd, 75 str.

ŠINKOVEC, B. (1971): Geologija ležišta željezne i bakrene rude u Rudama kraj Samobora. Geološki vjesnik, Zagreb, 24, 165–181.

TIŠLJAR, J. (1994): Sedimentne stijene. Školska knjiga, Zagreb, 422 str.

TOMLJENović, B. (2002): Strukturne značajke Medvednice i Samoborskog gorja. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 208 str.

TUCKER, M. E. (2001): Sedimentary Petrology. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 261 str.; prijevod MEDUNIĆ, G. (2008): Petrologija sedimenata. AZP Grafis, Samobor, 261 str.

---

Internetski izvori:

<https://www.parkovihrvatske.hr/park-priode-zumberak-samoborsko-gorje> (pristupljeno: 7. 3. 2021.)

<https://gojzeki.com/samoborsko-gorje-ostrc/> (pristupljeno: 13. 3. 2021.)

<http://www.ostrc.hr/rude.html> (pristupljeno: 13. 3. 2021.)

<https://hpd-japetic.hr/kt-7-veliki-crnc-607-m/> (pristupljeno: 13. 3. 2021.)

<http://www.hpd-kapela.hr/> (pristupljeno: 13. 3. 2021.)

<https://enciklopedija.hr/> (pristupljeno: 8. 4. 2021.)

<https://proleksis.lzmk.hr/> (pristupljeno: 8. 4. 2021.)

<https://www.google.hr/maps> (pristupljeno: 10. 6. 2021.)

<http://www.arkod.hr/> (pristupljeno: 14. 6. 2021.)

<https://planinarenje.hr/podrucja/samoborsko-gorje> (pristupljeno: 26. 6. 2021.)