

# Modalni i granulometrijski sastav pijesaka Golubovec Formacije na Vinagori

---

**Plavac, Matej**

**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:217:080002>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-28**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Matej Plavac

**MODALNI I GRANULOMETRIJSKI SASTAV  
PIJESAKA GOLUBOVEC FORMACIJE NA  
VINAGORI**

Seminar III  
Preddiplomski studij geologije

Mentor:  
prof. dr. sc. Marijan Kovačić

Zagreb, 2021.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Seminar III

## MODALNI I GRANULOMETRIJSKI SASTAV PIJESAKA GOLUBOVEC FORMACIJE NA VINAGORI

**Matej Plavac**

**Rad je izrađen:** Mineraloško-petrografski zavod Geološkog odsjeka, Prirodoslovno-matematički fakultet, Horvatovac 95, 10 000 Zagreb

### **Sažetak:**

Analiziran je uzorak pijeska Golubovec formacije iz egera prikupljen na lokalitetu Vinagora u Hrvatskom zagorju. Mokrim sijanjem ustanovljeno je da je riječ o vrlo loše sortiranom pijesku sa značajnim udjelom lutitnog materijala. Udio karbonatne komponente utvrđen kalcimetrijom vrlo je malen. Analizom teške i lake mineralne frakcije ustanovljeno je da većina čestica pijeska potječe iz metamorfnih stijena, primjerice gnajsa, škriljavca ili sijenita. Najzastupljeniji teški minerali su granat, turmalin, kromit, titanit i apatit. Pijesak je alteriran. Transport nije bio dug i vjerojatno nije bilo pretaloživanja. Taloženje se najvjerojatnije odvijalo u relativno niskoenergetskom marinskom ili eventualno prijelaznom okolišu.

**Ključne riječi:** pijesak, bazen Hrvatskog zagorja, Golubovec formacija, eger, teški minerali, granulometrija

**Rad sadrži:** 36 stranica, 15 slika, 4 tablice, 4 dijagrama, 11 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

**Mentor:** prof. dr. sc. Marijan Kovačić

**Ocjenjivači:** prof. dr. sc. Marijan Kovačić, doc. dr. sc. Karmen Fio Firi, mr. sc. Dražen Kurtanjek

**Datum završnog ispita:** 22. rujna 2021.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### Seminar III

## SEDIMENTOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SANDS FROM THE GOLUBOVEC FORMATION ON VINAGORA

**Matej Plavac**

**Thesis completed in:** Division of Mineralogy and Petrography, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 95, Zagreb

#### **Abstract:**

The sand from Egerian Golubovec formation is sampled at the Vinagora site in the area of the Hrvatsko Zagorje. Using the wet sieving method, the sand is determined as very poorly sorted with a significant stake of lutite material. The share of the carbonate component calculated with calcimetry method is minor. After the conducted analysis of heavy and light mineral fraction it is established that majority of the sand grains originate from metamorphic rocks such as gneiss, schist and syenite. The most common heavy minerals are garnet, tourmaline, chromite, titanite and apatite. The sand is altered. Transport was not long and resedimentation probably did not occur. Sedimentation most likely took place in a relatively low-energy marine or eventually transitional environment.

**Keywords:** sand, Hrvatsko Zagorje basin, Golubovec formation, Egerian, heavy minerals, granulometry

**Seminar contains:** 36 pages, 15 figures, 4 tables, 4 diagrams, 11 references

**Original in:** Croatian

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

**Supervisor:** prof. dr. sc. Marijan Kovačić

**Reviewers:** prof. dr. sc. Marijan Kovačić, doc. dr. sc. Karmen Fio Firi, mr. sc. Dražen Kurtanjek

**Date of the final exam:** 22nd September 2021

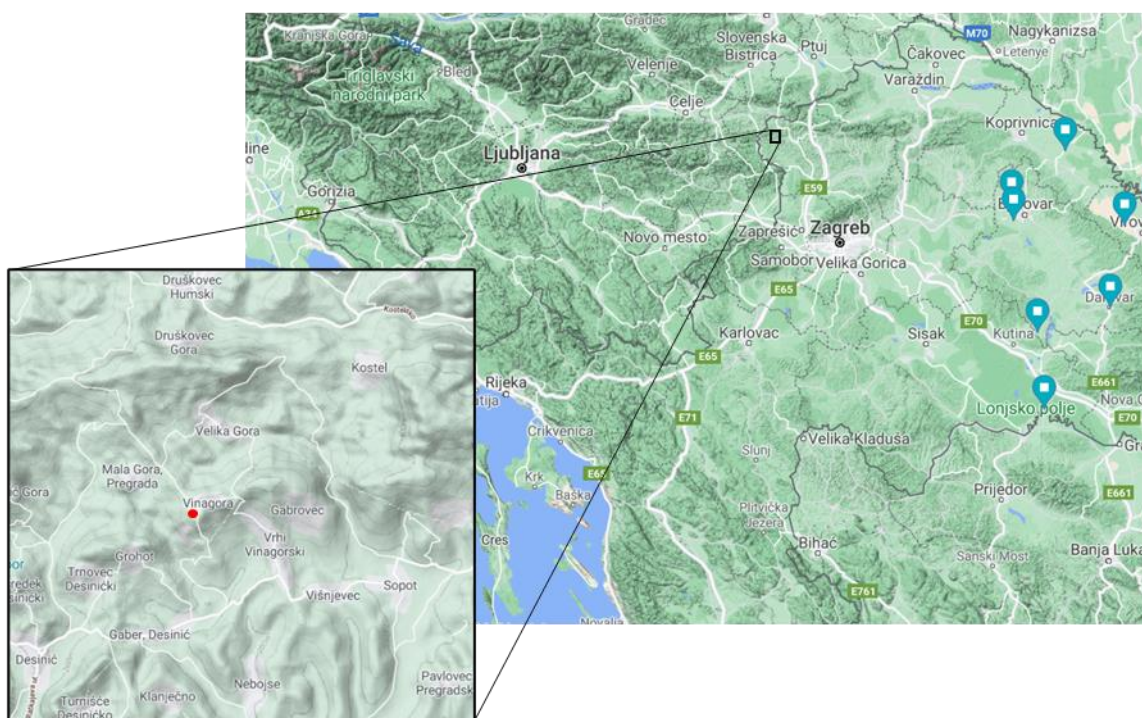
**Sadržaj**

1.	Uvod .....	1
2.	Pregled dosadašnjih istraživanja.....	2
3.	Geološki položaj .....	3
3.1.	Razvoj Panonskog bazena .....	3
3.2.	Neogen Hrvatskog zagorja .....	5
4.	Metode istraživanja.....	8
4.1.	Terenska istraživanja.....	8
4.2.	Mokro sijanje.....	8
4.3.	Analiza sadržaja CaCO <sub>3</sub> .....	10
4.4.	Separacija teške i lake mineralne frakcije .....	12
4.5.	Izrada mikroskopskih preparata .....	15
4.6.	Mikroskopiranje .....	16
5.	Rezultati istraživanja .....	17
5.1.	Granulometrijski sastav .....	17
5.2.	Sadržaj karbonatne komponente .....	19
5.3.	Modalni sastav.....	20
6.	Rasprava .....	29
7.	Zaključak .....	31
8.	Literatura .....	32

## 1. Uvod

Panonski bazenski sustav na prostoru Republike Hrvatske tijekom starijeg miocena bio je diferenciran na veći, Sjevernohrvatski bazen koji je obuhvaćao prostor gotovo cijele srednje Hrvatske i manji, bazen Hrvatskog zagorja koji se prostire na sjeverozapadu Hrvatske prema granici sa Slovenijom (PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018). U Sjevernohrvatskom bazenu taloženje se odvijalo u kontinentalnim i aluvijalnim uvjetima, dok je taloženje u bazenu Hrvatskog zagorja bilo brakičnog i marinskog karaktera (PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018). Od sredine badena taložni su se uvjeti u oba bazena ujednačili i generalno prate prijelaz srednjomiocenskog Središnjeg Paratethysa u brakično Panonsko jezero mlađeg miocena te slatkovodno jezero Slavonija i kontinentalne uvjete taloženja tijekom pliocena (PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018).

Na zasjeku uz cestu usred naselja Vinagora (slika 1) prisutni su izdanci donjomiocenskih naslaga bazena Hrvatskog zagorja koje pripadaju Golubovec formaciji iz mlađeg egera. Riječ je o smeđesivim pijescima koji su u svrhu ovog rada podvrgnuti mokrom sijanju, kalcimetriji te mikroskopskoj analizi lake i teške frakcije radi ustanovljavanja granulometrijskog i modalnog sastava te analize provenijencije.



Slika 1. Lokacija na kojoj je uzrokovan pijesak u naselju Vinagora u Hrvatskom zagorju (preuzeto s Google Maps).

## **2. Pregled dosadašnjih istraživanja**

Prema listu Rogatec Osnovne geološke karte SFRJ 1:100 000 (ANIČIĆ & JURIŠA, 1984) naslage uzrokovanog pijeska kronostratigrafski pripadaju gornjem oligocenu i donjem miocenu. Klastiti egerske starosti koji izdanjuju na području Hrvatskog zagorja u starijoj literaturi nazivaju se 'Socka slojevi' i 'Hornerski slojevi' (HALAMIĆ i sur., 2009). Riječ je o antiklinalnim strukturama općenitog pružanja istok-zapad u kojima prevladavaju pijesci, pješčenjaci, šljunci i konglomerati, a prisutni su i lapori, gline, siliti, ugljen i tufovi (HALAMIĆ i sur., 2009). Prema nekim autorima, na temelju mikropaleontoloških istraživanja, ugljenonosne naslage iz okolice Pregrade kojima je starost prethodno određena kao oligocen – miocen ne mogu se poistovijetiti sa 'Socka slojevima' u Sloveniji jer su od njih mlađe i pripadaju najstarijem miocenu (ŠIKIĆ & JOVIĆ, 1969).

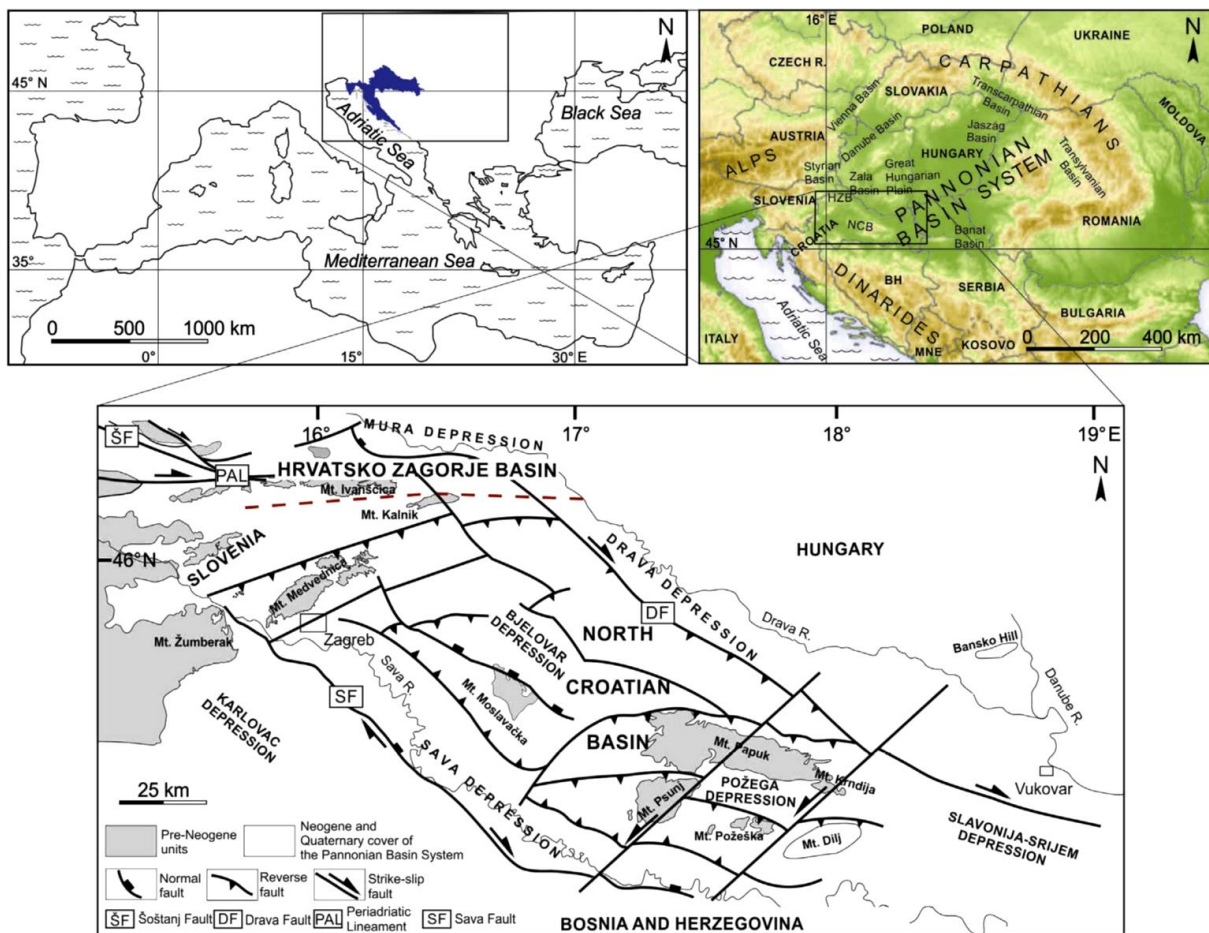
Marinski do brakični egerski klastiti Hrvatskog zagorja litostratigrafski pripadaju dvjema formacijama: gornjooligocenskoj Meljani formaciji iz ranog egera i donjomiocenskoj Golubovec formaciji iz kasnog egera (AVANIĆ i sur., 2021). Glavninu sedimentata Golubovec formacije čine pijesci i lapori istaloženi u progradirajućim sustavima obala i prodelte, no prisutni su i piroklastiti, konglomerati i proslojci smeđeg ugljena (AVANIĆ i sur., 2018). Prisustvo piroklastičnih stijena i andezita u Golubovec formaciji posljedica je egerskog sinsedimentnog vulkanizma. (AVANIĆ i sur., 2018). Nakon taloženja naslaga Golubovec formacije uslijedila je kratka emerzija zbog čega je gornja granica prema članu Vučji Jarek koji pripada egenburškoj Macelj formaciji erozijska i transgresivna (AVANIĆ i sur., 2021).

Udio karbonata u gornjooligocenskim i donjomiocenskim sedimentima s područja lista Rogatec Osnovne geološke karte SFRJ varira od 0% do 30%, a u sastavu prozirnih minerala teške mineralne frakcije prevladavaju klorit, cirkon, turmalin, rutil, granat, staurolit i kijanit, no prisutni su i amfiboli, epidot te apatit (ANIČIĆ & JURIŠA, 1985). Prevladavajuće čestice u pješčenjacima i pijescima egerske starosti u Hrvatskom zagorju podrijetlom su iz metamorfnih stijena (HALAMIĆ i sur., 2009).

### 3. Geološki položaj

#### 3.1. Razvoj Panonskog bazena

Postupnim izdizanjem planinskih lanaca Dinarida, Alpa, Helenida i Taurusa uslijed kolizije Afričke i Euroazijske litosferne ploče u kasnom eocenu i mlađem oligocenu dolazi do razdvajanja oceana Zapadnog Tethysa u južni krak kojeg čini Sredozemno more i u sjeverni krak koji se naziva Paratethys. Najveći dio miocenskog Središnjeg Paratethysa obuhvaća Panonski bazen ograničen Alpama, Karpatima i Dinaridima (slika 2). Periodične veze Središnjeg Paratethysa s okolnim marinskim prostorom diktirale su relativnu razinu mora i taložne uvjete unutar bazena koji su varirali od mjestimice kontinentalnih do marinskih i brakičnih te zatim jezerskih i ponovno kontinentalnih (PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018).



Slika 2. Lokacija Panonskog bazena. Bazen Hrvatskog zagorja i Sjevernohrvatski bazen odvojeni su crvenom crtkanom linijom (preuzeto iz PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018).

Na prostoru Republike Hrvatske unutar Panonskog bazena tijekom ranog miocena postojala su dva taložna bazena: veći, Sjevernohrvatski bazen koju obuhvaća gotovo cijeli prostor sjeverne Hrvatske i manji, bazen Hrvatskog zagorja koji se proteže prema Sloveniji



(slika 2) (PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018). Taložni uvjeti u ova dva bazena ujednačeni su u srednjem badenu (PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018). Sjevernohrvatski bazen geotektonski predstavlja ekstenzijski prostor kontinentalnog riftovanja u kojemu su formirane četiri depresije od kojih je najstarija i najveća Drava depresija. S obzirom na to, razvoj Sjevernohrvatskog bazena može se podijeliti na sin-riftnu fazu koja je trajala od otnanga do srednjeg badena i na post-riftnu fazu koja je trajala od kasnog badena do kvartara (PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018). Tijekom sin-riftne faze taloženje je bilo pod utjecajem normalnog listričkog rasjedanja, vulkanske aktivnosti i eustatičkih transgresivno-regresivnih ciklusa, dok je tektonski režim tijekom post-riftne faze u Sjevernohrvatskom bazenu bio kompresijski. Upravo stoga, sin-riftna faza razvoja Sjevernohrvatskog bazena općenito prati prijelaz kontinentalnih uvjeta u marinske, a post-riftna faza prijelaz marinskih u kontinentalne taložne uvjete (PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018). Granica sin-riftnih i post-riftnih naslaga uočava se u podini gornjobadenskih naslaga kao rotacijsko izdizanje rasjednih blokova i erozija starijih, sin-riftnih naslaga (PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018).

Tijekom egera i egenburga bazen Hrvatskog zagorja bio je rubni dio Središnjeg Paratethysa te se taloženje u njemu odvijalo u marinskim do brakičnim uvjetima pod utjecajem plime i oseke (AVANIĆ i sur., 2021), dok je prostor Sjevernohrvatskog bazena bio emergirano kopno. Tijekom glavnine otnanga nastavlja se marinsko taloženje u bazenu Hrvatskog zagorja uz mjestimično taloženje u aluvijalnim uvjetima da bi tijekom kasnog otnanga i karpata prevladavali slatkovodni jezerski okoliši uz znatno taloženje piroklastičnog materijala (AVANIĆ i sur., 2018). U isto vrijeme, tijekom otnanga i karpata, sedimentacija u Sjevernohrvatskom bazenu bila je kontinentalnog karaktera u eolskim, aluvijalnim i salina okolišima (PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018). U bazenu Hrvatskog zagorja tijekom ranog badena, nakon kratke emerzije, sedimentacija se odvijala u marinskim uvjetima obalnog lica (AVANIĆ i sur., 2018.), a prostor Sjevernohrvatskog bazena tada je bio hidrološki otvoreno slatkovodno jezero ili sustav jezera u kojima je taloženje popraćeno eksplozivnim vulkanizmom (PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018). Uslijed srednjobadenske transgresije, odnosno plavljenja „Badenskog mora“ došlo je do ujednačavanja taložnih uvjeta na prostoru cijele sjeverne Hrvatske. Sjevernohrvatski bazen je tijekom srednjeg badena prošao kroz dva transgresivno-regresivna marinska ciklusa praćena vulkanizmom i prekinuta kratkim jezerskim intervalom (PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018). Nakon sin-riftne faze došlo je do erozije i blokovskog uzdizanja starijih naslaga na koje u *onsetu* naliježu transgresivne marinske naslage gornjeg badena. Krajem badena ponovno dolazi do regresije i mjestimične emerzije (PAVELIĆ &

KOVAČIĆ, 2018). Sarmatsko je more pod utjecajem tektonike i donosa terigenog materijala postalo plitko, zatvoreno i reduciranog saliniteta da bi na prijelazu iz sarmata u panon prije 11,6 milijuna godina konačnim odvajanjem Središnjeg Paratehysa od okolnih morskih prostora nastalo brakično Panonsko jezero (PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018). Na području Hrvatske naslage panona dijele se na najstarije i plitkovodne *croatica* naslage, *banatica* i *abichi* naslage taložene uslijed produbljivanja bazena te *rhomboidea* naslage progradirajućih delti i deltnih ravnica nastale zapunjavanjem bazena krajem panona (PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018). U cernikianu je zapunjavanjem Panonskog jezera nastalo slatkovodno jezero Slavonija (PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018). Zbog kompresijskog tektonskog režima, reaktivacije starijih rasjeda, uzdizanja terena i erozije tijekom pleistocena taloženje se odvijalo samo mjestimice, vezano uz fluvijalne i aluvijalne okoliše, u manjim lokalnim jezerima ili u vidu glacioeolskog sedimenta, lesa (PAVELIĆ & KOVAČIĆ, 2018).

### 3.2. Neogen Hrvatskog zagorja

Na području Hrvatskog zagorja na površini su najzastupljenije neogenske naslage (slika 3). Potkraj oligocena i početkom miocena taloženje se odvijalo samo u sjevernom dijelu koji je bio dio taložnog bazena Hrvatskog zagorja, dok je južni dio na prostoru Sjevernohrvatskog bazena bio emergirano kopno. Na eocensku podlogu transgresivno naliže gornjooligocenska Meljani formacija iz starijeg egera koju čine progradirajući plitkovodni marinski sedimenti i sedimenti prodelte (AVANIĆ i sur., 2018). Nakon toga uslijedilo je taloženje pijesaka, lapora, konglomerata i piroklasitita Golubovec formacije početkom miocena, u kasnom egeru. Izražen terigeni utjecaj i brojni proslojci ugljena u Golubovec formaciji ukazuju na blizinu kopna i progradirajući trend kretanja obalne linije (AVANIĆ i sur., 2018). Piroklastične stijene i andeziti u Golubovec formaciji nastali su uslijed sinsedimentnog vulkanizma vezanog uz regionalne rasjede na području Hrvatskog zagorja. Koncem egera na području bazena Hrvatskog zagorja nastupa emerzija.

Transgresivno na stijene Golubovec formacije naliže pijesci, glaukonitni pijesci i tufovi Macelj formacije iz egenburga i ranog otnanga (AVANIĆ i sur., 2021). Macelj formacija iz Hrvatskog zagorja podijeljena je na četiri člana: član Vučji Jarek, član Čemernica, član Lipni Vrh i član Vrbno (AVANIĆ i sur., 2021). Taloženje plitkomorskih sedimenata člana Vučji Jarek u *onsetu* na Golubovec formaciju prati relativan porast razine mora u Središnjem Paratethysu (AVANIĆ i sur., 2018). Produbljivanjem taložnog okoliša u prijelaznoj zoni pod utjecajem plime i oseke istaloženi su glinovito-siltozni pijesci Čemernica člana Macelj formacije

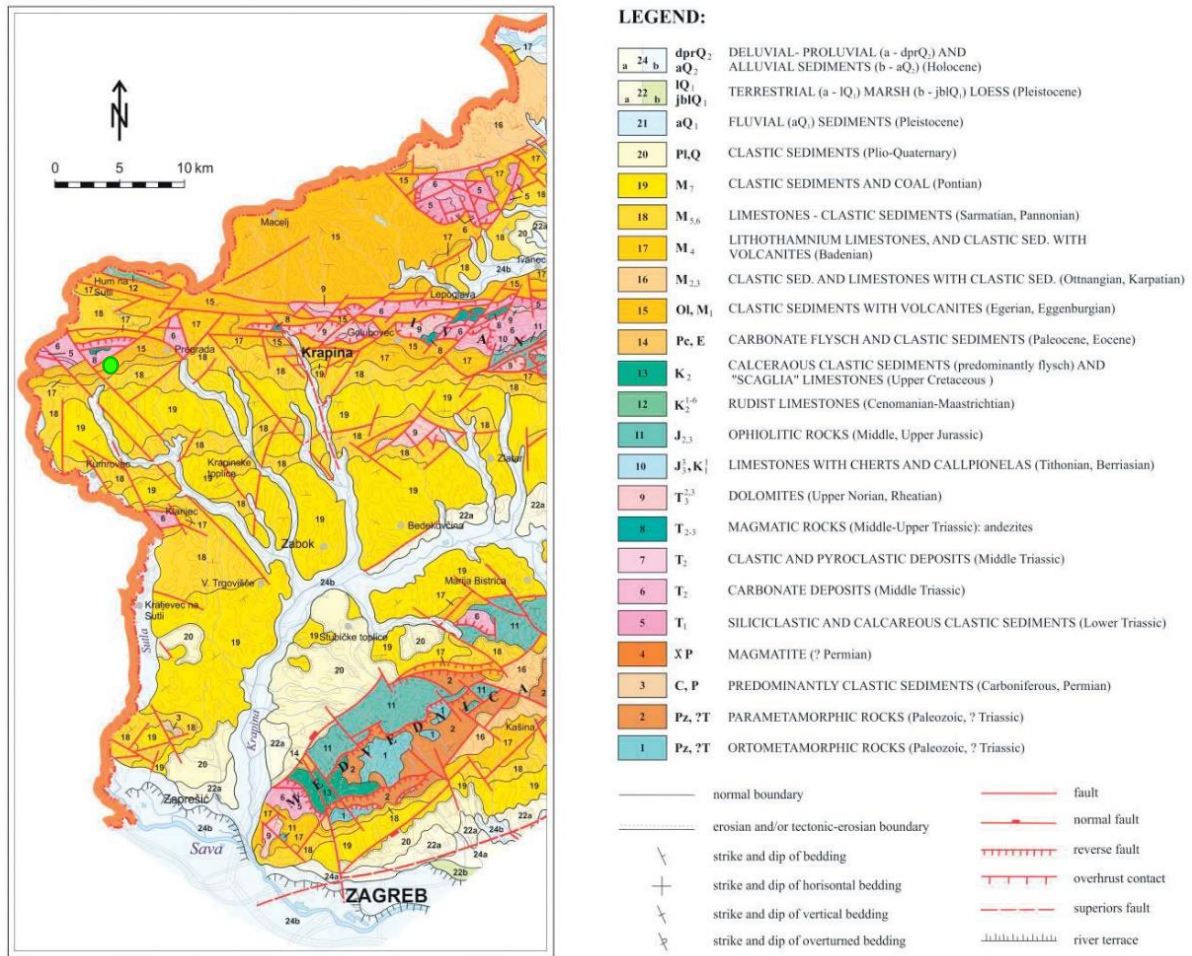
(AVANIĆ i sur., 2021). Nakon toga slijede konglomerati i pješčenjaci člana Lipni Vrh nastali uslijed riječne erozije izdignutih dijelova Ravne gore, Strahinščice i Ivanščice te taloženja u uvjetima delte, prodelte i obalnog lica (AVANIĆ i sur., 2018). Porastom razine mora na vrhu Macelj formacije istaložene su naslage člana Vrbno kojeg čine plimni i potplimni pijesci, lapori, bentonitne gline i tufovi iz kasnog egenburga i ranog otnanga (AVANIĆ i sur., 2021). U regresivnoj taložnoj sekvenciji u bazenu Hrvatskog zagorja istaloženi su tufovi i kalcitični siltiti Bednja formacije u prijelaznoj zoni tijekom otnanga te pijesci i šljunci Crkovec formacije iz priobalja za vrijeme karpata (AVANIĆ i sur., 2018).

Nešto južnije, na području Hrvatskog zagorja koje pripada tadašnjem Sjevernohrvatskom bazenu tijekom otnanga u aluvijalnim uvjetima odvijalo se taloženje šljunaka s lećama pijeska i silta Daranovci formacije (AVANIĆ i sur., 2018). Od kraja otnanga do srednjeg badena u slatkovodnom jezeru dolazi do taloženja Glavnica formacije koja se sastoji od tri člana: najstarijeg i plitkovodnog člana Vukov Dol kojeg čine kongerijski vapnenci i ugljen, dubokovodnog člana Košćević od lapora s proslojcima pijeska iz prodelte te od najmlađeg člana Franci kojeg čine konglomerati s lećama pijeska i silita istaloženim na prodelti i na čelu delte, što ukazuje na ponovno oplićavanje (AVANIĆ i sur., 2018).

Nakon emerzije s početka badena, na prostoru bazena Hrvatskog zagorja taložene su transgresivne krupnozrnate naslage člana Trstenik (AVANIĆ i sur., 2018). Daljnim relativnim porastom razine mora u srednjem badenu, kada dolazi do ujednačavanja taložnih uvjeta u Sjevernohrvatskom bazenu i u bazenu Hrvatskog zagorja, započinje taloženje lapora Vejalnica formacije na šelfu te biokalkrudita i biokalkarenita Vrapče formacije u plićim, priobalnim dijelovima Hrvatskog zagorja (AVANIĆ i sur., 2018).

Na badenske sedimente konformno naliježu plitkomorski konglomerati, vapnenci i kalkareniti Pećinka formacije te pelitni dubokovodni sedimenti formacije Dolje (AVANIĆ i sur., 2018). Krajem sarmata došlo je do regresije i formiranja brakičnog Panonskog jezera u kojemu dolazi do taloženja glinovitih plitkovodnih vapnenaca Croatica formacije koji postupno prelaze u dubokovodne lapore formacije Medvedski Breg (AVANIĆ i sur., 2018). Progradacijom riječnih sustava prema jugu tijekom panona formirala se Andraševac formacija koja ukazuje na postupno zapunjavanje taložnog okoliša, odnosno zatvaranje jezera (AVANIĆ i sur., 2018). Uslijed regresije tijekom kasnog panona taloženi su deltni sedimenti formacije Nova Gradiška te sedimenti delte i aluvijalne ravnice Pluska formacije (AVANIĆ i sur., 2018).

Posljedično tome, tijekom pliocena sedimentacija na prostoru Hrvatskog zagorja odvijala se na aluvijalnim ravnica te u manjim lokalnim jezerima i barama.



Slika 3. Geološka karta Hrvatskog zagorja (preuzeto iz AVANIĆ i sur., 2018). Zelenom točkom označen je lokalitet na kojemu je prikupljen uzorak za istraživanje.

## 4. Metode istraživanja

### 4.1. Terenska istraživanja

Krajem ožujka 2021. u sklopu SEDBAS projekta financiranog od strane Hrvatske zaklade za znanost odrađen je terenski dio istraživanja opisanog u ovom radu. Na području naselja Vinagora (slike 1 i 3), u zasjeku duljine oko sedamdeset metara uz cestu uzrokovano je oko pola kilograma hrđastog svijetlosmeđeg nelitificiranog pijeska. Uzorak je pohranjen u vrećicu za uzorke i fotografirana je lokacija uzrokovanja (slika 4). Prema Osnovnoj geološkoj karti (ANIČIĆ & JURIŠA, 1984) uzrokovane naslage pripadaju kronostratigrafskoj jedinici oligocen – miocen, dok su litostratigrafski određene kao Golubovec formacija iz kasnog egera (DEDIĆ i sur., 2014; AVANIĆ i sur., 2018). Pijesci čine samo donjih dvadesetak metara zasjeka, na njih diskonformno nalježu lapori i vapnenci badena.



Slika 4. Zasjek na kojemu je uzrokovan pijesak za kasnija laboratorijska istraživanja (fotografirala L. Majetić).

### 4.2. Mokro sisanje

Metodom četvrtanja u nekoliko koraka izdvojeno je otprilike između 100 i 150 g uzrokovanog pijeska koji će se podvrgnuti mokrom sisanju. Izdvojen uzorak izvagan je u papirnoj lađici na

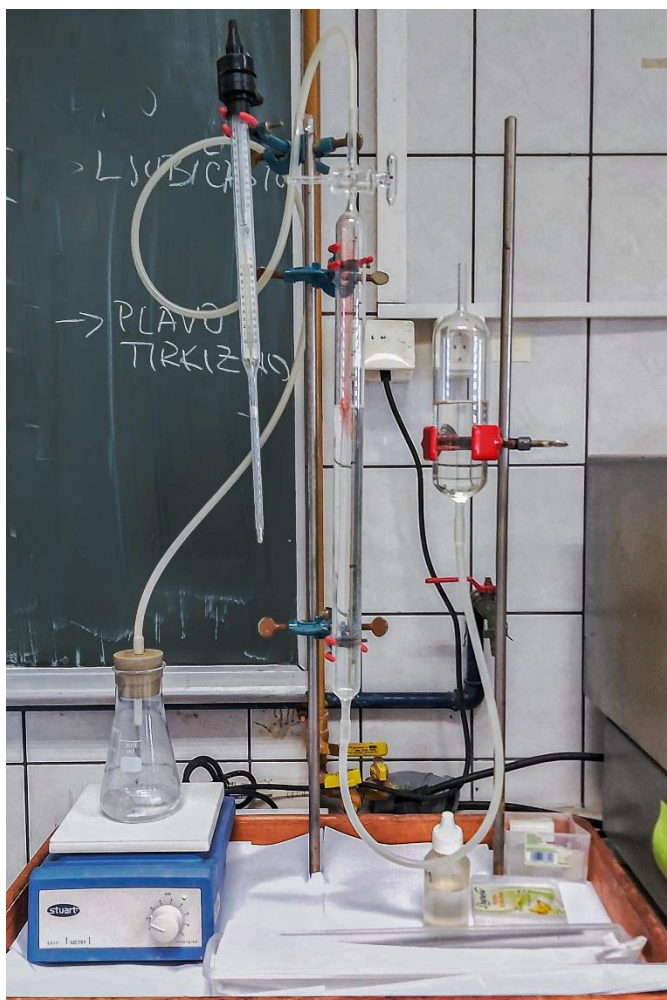
tehničkoj vagi. Izvagani pijesak istresen je na set od standardnih šest sita na tresilici (slika 5). Nakon uključivanja tresilice sita su polijevana vodom iz boce štrcaljke. Kistom su razdvajana slijepljena zrna kako bi se pospješilo ispiranje. Trešnja sita, voda i rad kistom omogućavaju prolazak sitnijih zrna kroz sito. Nakon pet do deset minuta kroz najgornje sito više ne prolaze čestice te se stoga ono skida s tresilice. Frakcija zaostala na situ oprezno se pomoću vode iz štrcaljke i posebne posude prebacuje u Petrijevu zdjelicu na kojoj je prethodno napisana oznaka uzorka i veličina frakcije. Ispražnjeno se sito zatim opsežno ispire vodovodnom vodom, stavlja u ultrazvučnu kadu na pet minuta te se još ispere i destiliranom vodom. Ukoliko je sito tada u potpunosti čisto i ne sadrži tragove sedimenta, stavlja se na sušenje. Isti postupak ponovljen je za sve frakcije i sva sita uzimajući u obzir da je za najsitnije frakcije postupak delikatniji te da je bilo potrebno sita otvora promjera 125  $\mu\text{m}$  i 63  $\mu\text{m}$  nekoliko puta staviti u ultrazvučnu kadu kako bi se u potpunosti očistila od sedimenta. Voda koja prolazi kroz sita za vrijeme trešnje skupljena je pomoću cijevi u posebnu prikladno označenu staklenu posudu sa strane. Izdvojene frakcije pijeska u označenim Petrijevim zdjelicama ostavljene su da se suše na sobnoj temperaturi preko vikenda. Osušene pojedinačne frakcije uz pomoć kista prebačene su u male prikladno označene papirnate vrećice na koje je tehnička vaga prethodno tarirana. Nakon vaganja na tehničkoj vagi vrećice sa sedimentom pričvršćene su spajalicom i izračunati su maseni udjeli pojedinih frakcija u uzorku.



Slika 5. Aparatura za mokro sisanje.

### 4.3. Analiza sadržaja $\text{CaCO}_3$

Kalcimetrija ili određivanje sadržaja karbonata u rahlim sedimentima i tlima određuje se neizravno volumetrijskim mjerenjem ugljikova dioksida koji se iz prisutnih karbonata razvije djelovanjem klorovodične kiseline. Za to se koristi Scheiblerov kalcimetar (slika 6), aparatura koja se sastoji od Erlenmeyerove tikvice s poklopcem iz kojeg ide gumena cijev i u kojoj se nalaze ampula za kiselinu i magnet-miješalica, uređaja koji pokreće miješalicu te od dvije povezane staklene cijevi. Prva staklena cijev na sebi ima ventil i mjernu skalu te je gumenom cijevi spojena s tikvicom i drugom staklenom cijevi koja sadrži zakiseljenu vodu.



Slika 6. Scheiblerov kalcimetar, aparatura za određivanje sadržaja karbonata u rahlim sedimentima.

Prije određivanja sadržaja karbonata u uzorku potrebno je provesti probu na standardu čistog  $\text{CaCO}_3$  radi dokazivanja ispravnosti rada uređaja. U tu svrhu na analitičkoj vagi izvagane su dvije odvage od otprilike 300 mg bijelog praha standarda  $\text{CaCO}_3$ . Jedna odvaga čistog kalcijevog karbonata oprezno je pomoću vode prenesena u Erlenmeyerovu tikvicu. Prilikom

toga korišteno je što manje vode kako se naknadno ne bi previše razrijedila kiselina. Plastična ampula od 5 ml napunjena 1:1 otopinom HCl-a pomoću pincete oprezno je spuštena u tikvicu sa standardom i magnetom pazeći da se kiselina ne prolije kako se ne bi prerano pokrenula reakcija. Nakon toga tikvica je zatvorena pluto čepom koji je navlažen vodom kako bi čep bolje prijanjao uz stijenke tikvice radi sprječavanja bježanja plina iz nje. Gumene cijevi namještene su tako da nigdje ne budu presavijene i da je omogućen protok plina kroz njih. Ventil na cijevi s mjernom skalom vrlo polagano okrenut je za krug i pol te vraćen nazad u početni položaj kako bi razina vode u cijevi bila točno 100 ml. U tom trenutku ključno je da je razina vode u obje cijevi jednaka. Prije samog početka reakcije izmjereni su uvjeti tlaka i temperature u laboratoriju. Zatim je uključena miješalica čime se prolijeva kiselina iz ampule i počinje kemijska reakcija unutar tikvice. Tada dolazi do razvijanja CO<sub>2</sub> i spuštanja razine vode u staklenoj cijevi s mjernom skalom. Stoga je potrebno paralelno sa spuštanjem razine vode u prvoj cijevi oprezno primiti drugu staklenu cijev i spuštati ju niz stativ tako da razina tekućine u objema cijevima bude identična. Miješalica je ugašena nakon što je pušteno da reakcija traje oko pet minuta te je na mjernoj skali očitana volumen razvijenog CO<sub>2</sub> i izračunat je udio karbonata pomoću formule:

$$w(\text{CaCO}_3, \%) = \frac{V(\text{CO}_2, \text{ml}) \times F \times 2,274 \times 100(\%)}{m(\text{uzorak, mg})}$$

pri čemu je F težina 1 ml CO<sub>2</sub> očitana iz prikladne tablice za uvjete tlaka i temperature u kojima je pokus proveden. Nakon toga aparatura je vraćena u početni položaj, tikvica, magnet i ampula oprani su te je isti postupak, uz ponovno očitavanje tlaka i temperature neposredno prije pokusa, ponovljen i za drugu odvagu standarda CaCO<sub>3</sub>. Aparatura funkcionira ispravno ukoliko je za obje odvage standarda udio CaCO<sub>3</sub> približno 100 %.

Mala količina polaznog uzorka pijeska usitnjena je pomoću ahatnog tarionika i na analitičkoj vagi izmjerene su tri odvage usitnjenog pijeska od otprilike 300 mg. U svrhu kvalitativnog određivanja karbonata u uzorku prije same kalcimetrije mala količina neizvaganog usitnjenog pijeska stavljena je na satno staklo na što je dodano nekoliko kapi 1:1 otopine HCl-a. Identičan postupak određivanja sadržaja CaCO<sub>3</sub> proveden za standarde ponovljen je za sva tri uzorka uz ponovno očitavanje uvjeta tlaka i temperature prije svakog pojedinačnog pokusa.

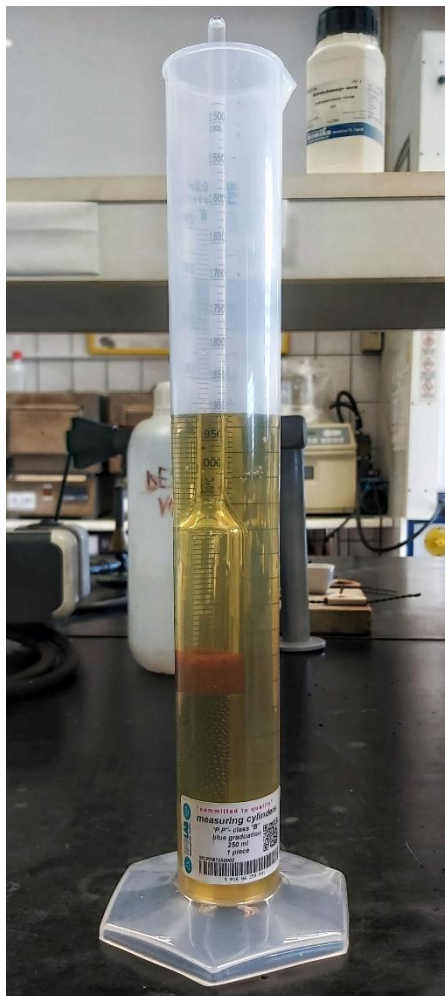


#### 4.4. Separacija teške i lake mineralne frakcije

Prije analize teške i lake mineralne frakcije najprije je potrebno iz najsitnije frakcije dobivene mokrim sijanjem u kojoj je veličina zrna od 63 do 125  $\mu\text{m}$  procesom odglinjavanja dobiti čiste čestice pijeska bez gline. U tu svrhu pijesak iz najsitnije frakcije stavljen je u laboratorijsku čašu u koju je zatim dodano oko 300 ml destilirane vode. Brzim miješanjem staklenim štapićem dolazi do odvajanja pijeska koji pada na dno čaše i gline koja ostaje u suspenziji i uzrokuje замуćenje. Nakon nekoliko minuta oprezno je dekantirana voda s glinom u zasebnu posudu iznad koje je sito otvora promjera 63  $\mu\text{m}$  na kojemu će se zadržati čestice vrlo sitnog pijeska. U laboratorijsku čašu s istaloženim pijeskom ponovno je dodano oko 300 ml vode i cijeli postupak ponovljen je četiri puta. Nakon toga pijesak zaostao na situ oprezno je vraćen u čašu s ostatkom pijeska u koju je zatim ponovno dodano oko 300 ml vode. Čaša s vrlo sitnim pijeskom i vodom stavljena je u ultrazvučnu kadu na otprilike pet minuta uz konstantno miješanje da bi se ubrzao proces odglinjavanja. Nakon toga ponovno je dekantirana voda s glinom. Svakim novim odlijevanjem voda treba postati sve manje замуćena od gline, a pijesak sve manje smeđ. Postupak dekantiranja ukupno je ponovljen dvanaest puta dokle god tekućina iznad pijeska nije bila bezbojna i prozirna voda, to jest dokle god sva glina nije bila isprana. Nakon osmog dekantiranja u pijesak je dodano otprilike 20 ml vodikovog peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) koji je reagirao s organskom tvari u pijesku i dodatno pospješio odglinjavanje. Pušteno je da reakcija traje oko pet minuta i zatim je prekinuta dodavanjem vode u čašu nakon čega je ta tekućina s uzorkom dekantirana, a sito je isprano da ga peroksid ne nagriže. Uzorak nije tretiran HCl-om jer je prethodno ustanovljeno da u njemu nema mnogo karbonata koji bi ometali naknadnu mikroskopsku analizu. Nakon svakih nekoliko odlijevanja pijesak zaostao na situ vraćen je preostalom uzorku. Posljednja tri puta kada je uzorak s vodom išao u ultrazvučnu kadu, umjesto petominutnog miješanja štapićem, čaša je rukom zibana u ultrazvuku tijekom tridesetak sekundi. Na kraju postupka dekantirana voda s glinom bačena je u odvod. Sito je naprije očišćeno vodovodnom vodom, zatim je stavljeno u ultrazvučnu kadu na 15 minuta te je očišćeno destiliranom vodom i ispuhano komprimiranim zrakom, a odglinjen uzorak oprezno je premješten u prikladno označenu porculansku zdjelicu i stavljen je na sušenje.

Slijedećeg dana u menzuru od 250 ml dodano je oko 150 ml natrijevog polivolframata (SPT-a). Pomoću areometra, mjernog instrumenta za mjerenje gustoće koji je zapravo staklena cijev s trbuhom koji sadrži uteg i vratom na kojemu je mjerna ljestvica, uz oprezno dodavanje male količine vode pripravljena je otopina SPT-a i vode gustoće točno  $2,900 \text{ g/cm}^3$ . Voda je dodavana u SPT dokle god oznaka 2,900 na areometru nije bila u razini tekućine u menzuri

(slika 7). Prilikom svakog ponovnog uranjanja areometra u SPT s vodom areometar je morao biti čist i suh kako ne bi bilo grešaka u mjerenju.



Slika 7. Areometar uronjen u menzuru s pripravljenim SPT-om gustoće  $2,900 \text{ g/cm}^3$ .

Zatim je na analitičkoj vagi izvagano oko 3 g uzorka odglinjene frakcije  $63 - 125 \mu\text{m}$  za separaciju. U plastičnu kivetu od 40 ml s čepom najprije je dodano 5 do 10 ml pripravljenog SPT-a gustoće  $2,900 \text{ g/cm}^3$ , potom je oprezno dodana odvaga odglinjenog pijeska te nakon toga još pripravljenog SPT-a do oznake 20 ml. U drugu, identičnu kivetu koja će poslužiti kao protuuteg prvoj kiveti u centrifugi dodana je otprilike ista količina, oko 20 ml, čistog SPT-a. Na tehničkoj vagi obje kivete izvagane su da se utvrdi njihova približna podudarnost u masi. Zatim su kivete, jedna nasuprot drugoj, stavljene u centrifugu na 2500 okretaja/min tijekom 5 minuta. Nakon centrifuge, kiveta sa uzorkom i SPT-om u kojemu je došlo do razdvajanja teške frakcije koja je pala na dno kivete od lake frakcije koja je pri vrhu kivete (slika 8) spremljena je u zamrzivač da odstoji jedan dan. Čisti pripravljeni SPT gustoće  $2,900 \text{ g/cm}^3$  vraćen je u

spremnik s SPT-om, a sav pribor u kojem je SPT bio je ispran te je ta preostala tekućina dodana u prikladan spremnik „SPT+voda“.



Slika 8. Kiveta s razdvojenom teškom i lakom mineralnom frakcijom u SPT-u nakon centrifuge.

Slijedećeg dana kiveta s uzorkom izvađena je iz zamrzivača i ostavljena na sobnoj temperaturi da se polako hladi. Za to vrijeme pripremljena je standardna aparatura za filtraciju koju čine lijevak, pravilno savijen filter papir, laboratorijska čaša i stativ. Laganim štrcanjem vodom u kivetu otopljen je gornji dio zaleđenog SPT-a s lakom frakcijom i oprezno je istresen na filter papir u lijevku. Pijesak zaostao na papiru tijekom nekoliko minuta ispiran je destiliranom vodom kako bi se iz njega uklonio sav SPT. Po završetku filtracije sav talog stjeran je u konus filter papira, papir je izvađen iz lijevka i označen kao laka frakcija, a filtrat koji sadržava SPT i vodu pohranjen je u spremnik „SPT+voda“. U međuvremenu ponovno je postavljena aparatura za filtraciju s novim, čistim filter papirom. Nakon dvadesetak minuta otopljen je sav SPT iz kivete i započeta je filtracija teške frakcije, u početku bez vode da bi se sačuvalo što je više moguće čistog i nerazrijeđenog SPT-a. Kada se skoro sav SPT procijedio kroz filter papir, čisti SPT pohranjen je u prikladan spremnik, a talog je nekoliko minuta oprezno ispiran destiliranom vodom kako bi se uklonio ostatak SPT-a iz njega. Po završetku filtracije sav talog destiliranom vodom stjeran je u konus filter papira, papir je uklonjen iz

lijevka i označen kao teška frakcija. Laka i teška frakcija u filter papiru stavljene su u pećnicu na 105°C tijekom 15 minuta. SPT je ispran iz svog pribora s kojim je bio u kontaktu i preostala je tekućina zajedno s filtratom pohranjena u spremnik „SPT+voda“.

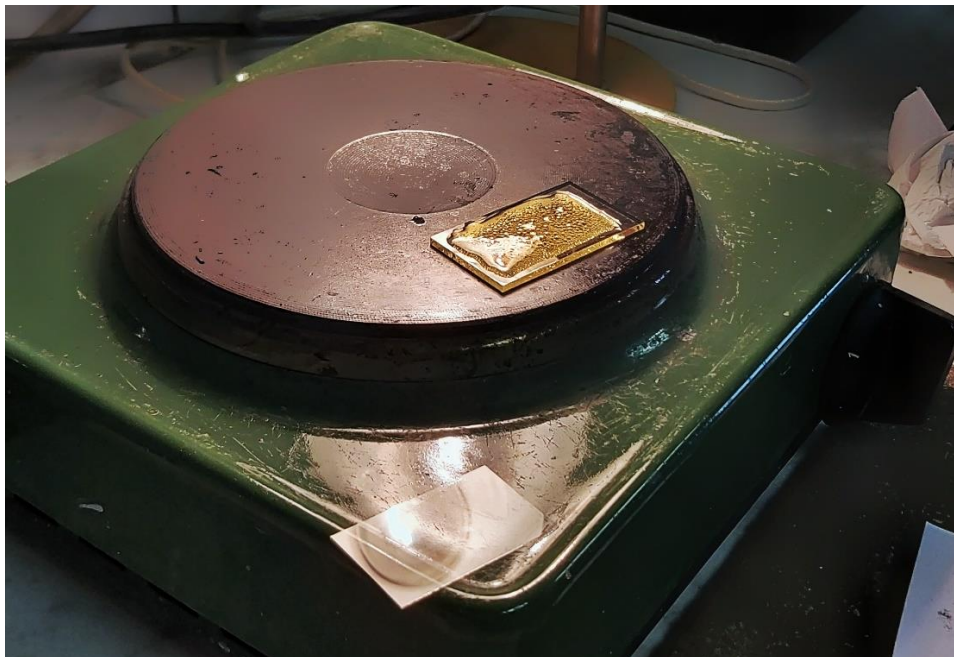
Na analitičkoj vagi izvagane su teška frakcija s filter papirom i laka frakcija s filter papirom nakon čega su zasebno pomoću kista prebačene s papira u prethodno označene porculanske zdjelice. Zatim su na analitičkoj vagi izvagani samo čisti filter papiri od teške i lake frakcije.

#### 4.5. Izrada mikroskopskih preparata

Dva nova predmetna i pokrovna stakalca oprezno su očišćena alkoholom. Na jedno pokrovno stakalce stavljeno je dvije do tri kapljice destilirane vode i uzorak teške frakcije u porculanskoj posudici promiješan je tupom stranom kista. Zatim je kist namočen destiliranom vodom i ocijeđen pomoću prsta da bi se dlačice kista skupile u tanki ravni niz kojim je napravljen potez kroz tešku frakciju od jednog kraja posudice prema nasuprotnom nakon čega je kist s pijeskom kojeg je pokupio uronjen u kapljice vode na predmetnom stakalcu. Isti postupak ponovljen je još dva puta, tako da se napravi potez okomit na prvi u posudici i jedan dijagonalno na njih.

Potom je predmetno stakalce stavljeno na zagrijan rešo da ispari voda i preostane samo uzorak teške frakcije koji je pomoću pokrovnog stakalca skupljen u jednu liniju uzduž i nasred predmetnog stakalca. Komadići krutog kanada balzama koji se zagrijavanjem tali postupno su stavljani na suho predmetno stakalce s teškom frakcijom dokle god kanada balzam ne pokrije cijelo predmetno stakalce izuzev jednog kraćeg ruba koji se ostavlja čist da bi se za njega preparat mogao primiti pincetom. Taljenjem kanada balzama dolazi do pojave mjehurića zraka (slika 9) kojih daljnjim zagrijavanjem i miješanjem metalnom iglom postaje sve manje. Samim time i uzorak u preparatu biva sve ravnomjernije raspoređen. Zagrijavanje preparata traje dokle god rastaljeni i ponovno očvršćeni kanada balzam koji ostane na igli kojom se miješalo ne postane krut umjesto plastičan, to jest kada pukne pod pritiskom od nokat. Kanada balzam ne smije se pregrijati da krene kipjeti jer bi mu se tako promijenio indeks loma. Isto tako, ne smije ostati previše mjehurića u kanada balzamu. Po završetku zagrijavanja preparata pokrovno je stakalce brzo, ali oprezno, spuštajući ga s jednog kraja na drugi, stavljeno na kanada balzam. Pomoću pincete i tupe strane kista pokrovno stakalce pritisnuto je na predmetno da bi se istisnuo višak zraka i kanada balzama između dva stakalca. Tijekom toga, dok kanada balzam još nije očvrstnuo, pokrovno stakalce vrlo je lagano pomicano lijevo – desno i uzduž – poprijeko po

predmetnom stakalcu da bi se pospješilo istiskivanje zraka i da bi se uzorak bolje rasporedio u preparatu. Nakon otprilike tri minute kanada balzam u potpunosti je očvrstnut i preparat je ohlađen.



Slika 9. Zagrijavanje kanada balzama i uzorka na predmetnom stakalcu prilikom izrade mikroskopskog preparata.

Potom je preparat stavljen u plitku porculansku posudicu do pola napunjenu alkoholom koji otapa kanada balzam. Pomoću alkohola i žileta s preparata uklonjen je sav višak kanada balzama pazeći pritom da se slučajno ne odlomi ili odvoji dio pokrovnog stakalca. Preparat je zatim dobro očišćen i prikladno označen malom naljepnicom. U potpunosti isti postupak ponovljen je i za izradu preparata lake frakcije.

#### 4.6. Mikroskopiranje

Izrađeni preparati proučavani su polarizacijskim mikroskopom Zeiss Axiolab. Mineralna zrna prebrojana su duž međusobno jednako udaljenih linija na preparatu određenih pomoću mjerne skale na mikroskopu. Brojana su ona zrna koja su pomicanjem duž tih imaginarnih linija po preparatu sjekla ili dodirivala vertikalnu nit nitnog križa. Fotografije reprezentativnih minerala načinjene su fotoaparatom spojenim na mikroskop i obrađene su u za to prikladnom programu Axio Vision Rel. 4.8. Kao pomoć pri prepoznavanju minerala u preparatima korišteni su udžbenici MANGE & MAURER (1992) te VRKLJAN i sur. (2019).

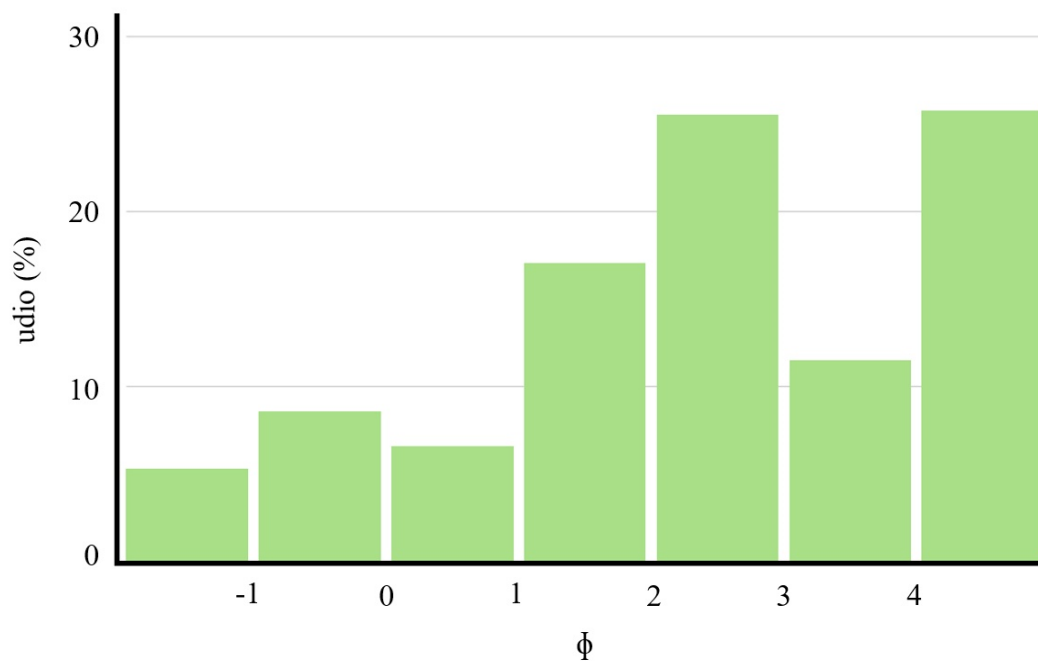
## 5. Rezultati istraživanja

### 5.1. Granulometrijski sastav

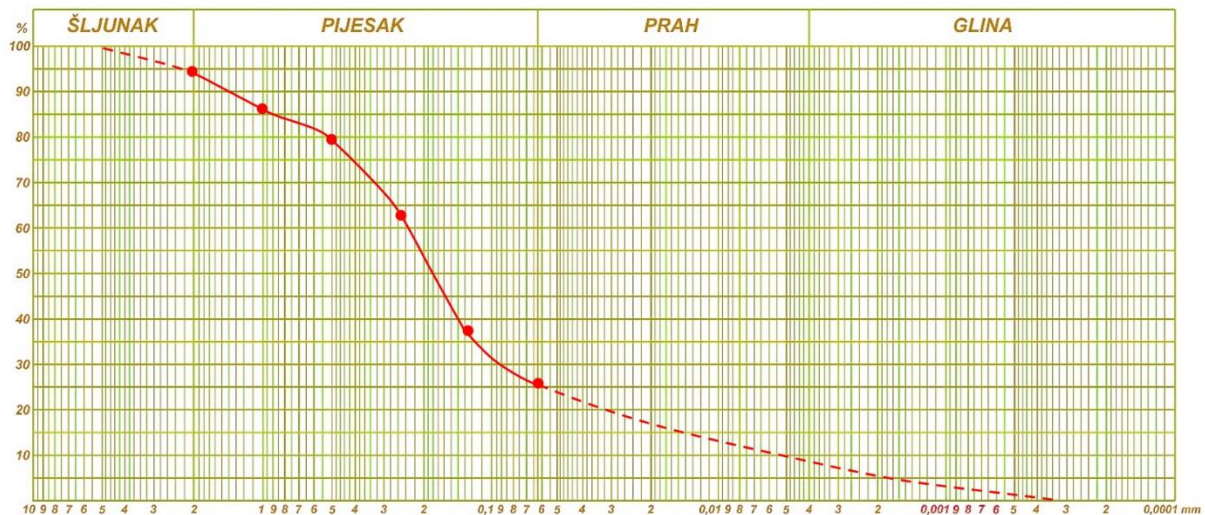
Masa izdvojenog uzorka za mokro sijanje iznosi  $m_{\text{ukupno}} = 122,01$  g.

Tablica 1. Rezultati granulometrijske analize dobiveni mokrim sijanjem uzorka.

promjer sita (mm)	promjer sita ( $\phi$ )	ostatak na situ (g)	ostatak na situ (%)	prolazak kroz sito kumulativno (g)	prolazak kroz sito kumulativno (%)
2,000	-1	6,38	5,23	115,63	94,77
1,000	0	10,40	8,52	105,23	86,25
0,500	1	8,10	6,57	97,22	79,68
0,250	2	20,73	16,99	76,49	62,69
0,125	3	31,70	25,47	45,42	37,22
0,063	4	14,01	11,48	31,41	25,74



Dijagram 1. Rezultati analize granulometrijskog sastava u obliku histograma.



Dijagram 2. Rezultati analize granulometrijskog sastava prikazani u obliku kumulativne granulometrijske krivulje.

Pomoću kumulativne granulometrijske krivulje izračunati su srednja veličina čestica (medijan,  $M_d$ ), prosječna veličina čestica (mean,  $M$ ) i koeficijent sortiranosti ( $S_o$ ). Sve tri vrijednosti dobivene su pomoću formula prema Trask & Krumbein preuzetim iz TIŠLJAR (1994).

$$P_{25} = 0,062 \text{ mm}$$

$$P_{50} = 0,180 \text{ mm}$$

$$P_{75} = 0,410 \text{ mm}$$

$$M_d = P_{50}$$

$$M_d = 0,180 \text{ mm}$$

$$M = \frac{P_{25} + P_{75}}{2}$$

$$M = 0,236 \text{ mm}$$

$$S_o = \sqrt{\frac{P_{75}}{P_{25}}}$$

$$S_o = 2,572$$

Vrijednost koeficijenta sortiranosti 2,572 prema Trask & Krumbein opisno je određena kao vrlo loša sortiranost (TIŠLJAR, 1994).

## 5.2. Sadržaj karbonatne komponente

Dodavanjem 1:1 otopine HCl-a u polazni uzorak pijeska došlo je do vrlo slabe kemijske reakcije što ukazuje da u uzorku ima  $\text{CaCO}_3$  u malim količinama.

Uvjeti tlaka i temperature u laboratoriju za svih pet pokusa bili su identični.

$$T = 22^\circ\text{C}$$

$$p = 995 \text{ mbar}$$

Maseni udio  $\text{CaCO}_3$  dobiven je pomoću formule:

$$w(\text{CaCO}_3, \%) = \frac{V(\text{CO}_2, \text{ml}) \times F \times 2,274 \times 100(\%)}{m(\text{uzorak, mg})}$$

gdje je F je iz tablice očitana težina 1 ml  $\text{CO}_2$  pri p, T uvjetima u kojima se analiza provodi.

Tablica 2. Rezultati dobiveni kvantitativnim određivanjem sadržaja  $\text{CaCO}_3$ .

	odvaga na analitičkoj vagi (mg)	volumen razvijenog $\text{CO}_2$ u Scheiblerovom kalcimetru (ml)	maseni udio $\text{CaCO}_3$ u uzorku (%)
standard $\text{CaCO}_3$ (1)	300,2	72,0	99,70
standard $\text{CaCO}_3$ (2)	304,2	73,5	100,44
uzorak pijeska (1)	300,3	0,5	0,69
uzorak pijeska (2)	300,4	1,0	1,38
uzorak pijeska (3)	300,0	1,0	1,39



### 5.3. Modalni sastav

Vaganjem filter papira, teške i lake mineralne frakcije na analitičkoj vagi nakon separacije dobiveni su slijedeći rezultati:

$$\begin{aligned}m(\text{filter papir} + \text{teška frakcija}) &= 1,1798 \text{ g} \\m(\text{filter papir od teške frakcije}) &= 1,0790 \text{ g} \\m(\text{teška frakcija}) &= 0,1008 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m(\text{filter papir} + \text{laka frakcija}) &= 3,8424 \text{ g} \\m(\text{filter papir od lake frakcije}) &= 0,8645 \text{ g} \\m(\text{laka frakcija}) &= 2,9770 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m(\text{uzorak za separaciju, } 63 - 125 \mu\text{m}) &= 3,0934 \text{ g} \\m_u(\text{teška frakcija} + \text{laka frakcija}) &= 3,0778 \text{ g} \\\Delta m &= m(\text{uzorak za separaciju, } 63-125\mu\text{m}) - m_u(\text{teška frakcija} + \text{laka frakcija}) \\\Delta m &= 0,0156 \text{ g}\end{aligned}$$

$$w(\text{teška frakcija}) = \frac{m(\text{teška frakcija})}{m_u(\text{teška frakcija} + \text{laka frakcija})} \times 100 (\%)$$

$$w(\text{laka frakcija}) = \frac{m(\text{laka frakcija})}{m_u(\text{teška frakcija} + \text{laka frakcija})} \times 100 (\%)$$

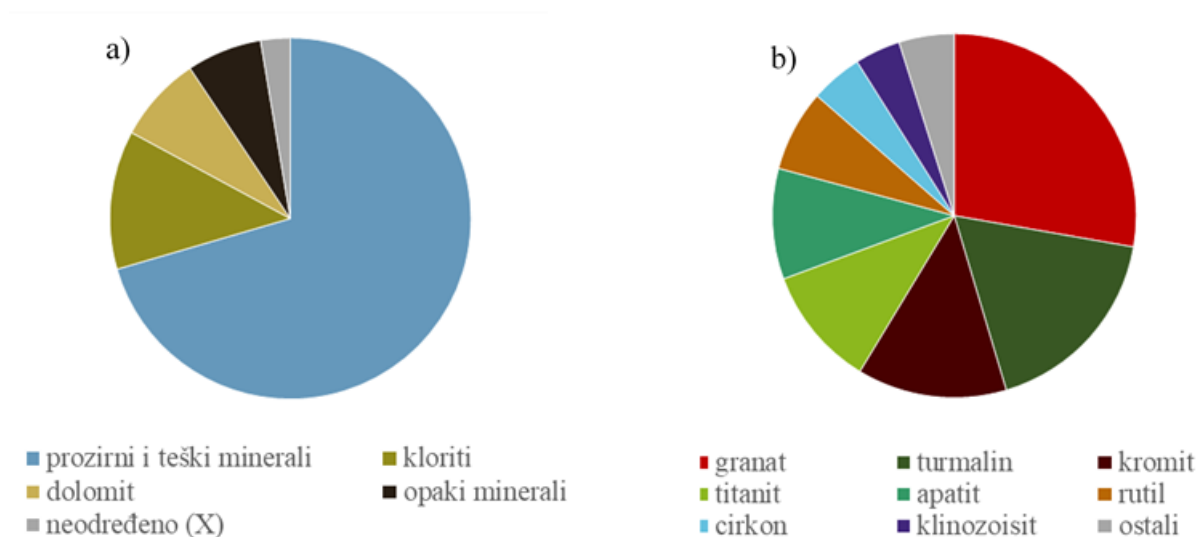
$$w(\text{teška frakcija}) = 3,28 \%$$

$$w(\text{laka frakcija}) = 96,72 \%$$

U preparatu teške mineralne frakcije prebrojano je ukupno 491 zrno. Rezultati sustavnog prebrojavanja zrna prikazani su kao postotni udjeli u tablici 3 i dijagramu 3.

Tablica 3. Rezultati dobiveni sustavnim prebrojavanjem zrna u preparatu teške frakcije.

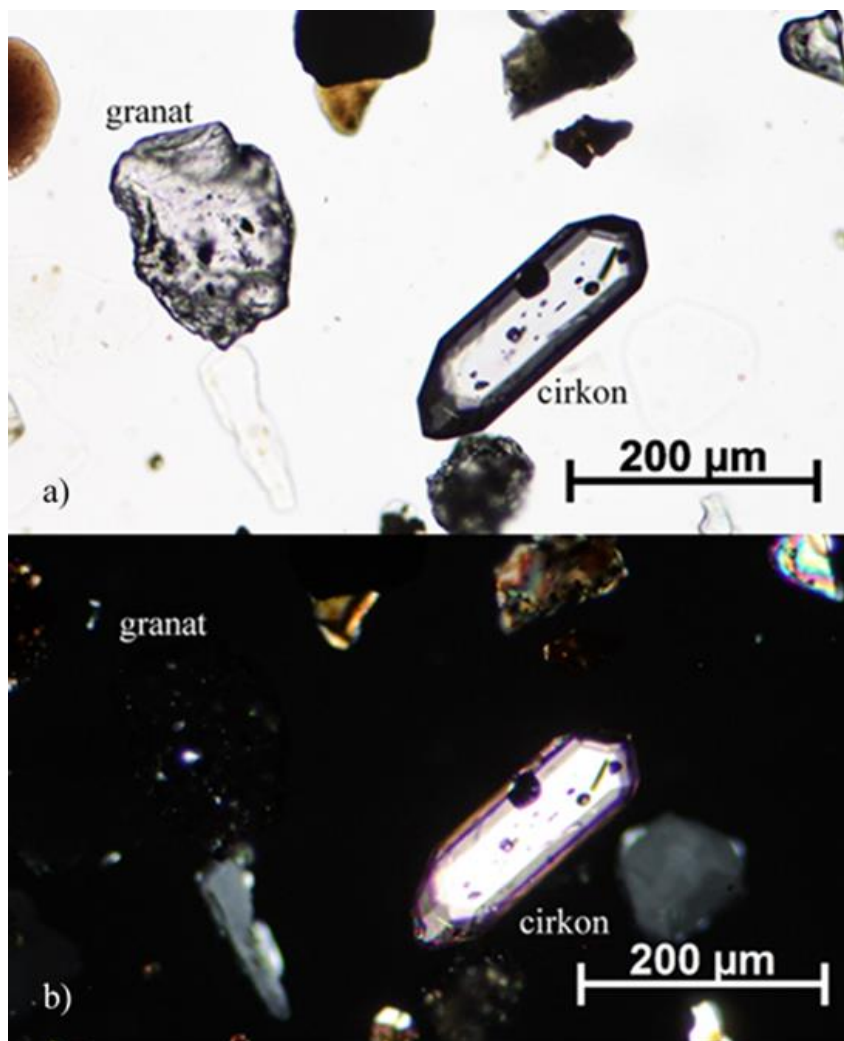
TEŠKA MINERALNA FRAKCIJA			
vrsta čestica	udio pojedinih čestica (%)	prozirni i teški minerali	udio prozirnih i teških minerala (%)
prozirni i teški minerali	70	granat	28
		turmalin	18
		kromit	13
		titanit	11
		apatit	10
		rutil	7
		cirkon	5
		klinozoisit	4
		epidot	2
		glaukofan	2
		enstatit	+
		andaluzit	+
vulkansko staklo	+	$\Sigma = 100$	
kloriti	12		
dolomit	8		
opaki minerali	7		
neodređeno (X)	3		
	$\Sigma = 100$		



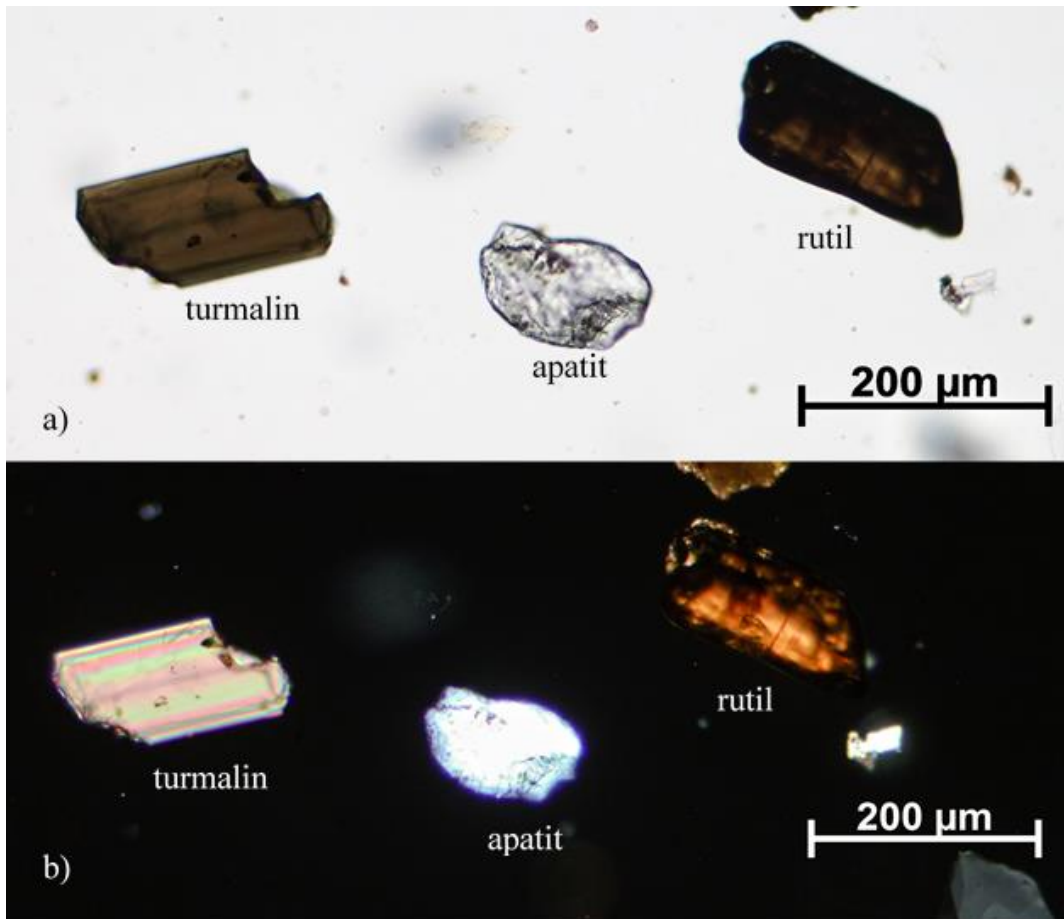
Dijagram 3. Ukupni udio pojedinih čestica (a) i udio teških minerala (b) u teškoj mineralnoj frakciji u obliku kružnog dijagrama.

Od teških i prozirnih minerala koji se pojavljuju u teškoj mineralnoj frakciji najzastupljeniji je granat koji se bez upaljenog analizatora prepoznaje po bezbojnim i ponekad raspucanim izometričnim i najčešće alotriomorfim zrnima visokog reljefa (slika 10a), dok je s upaljenim analizatorom taman jer je izotropan (slika 10b). Često se mogu uočiti inkluzije unutar zrna.

Vrlo je zastupljen i turmalin kojeg je u mikroskopskim preparatima lako prepoznati po umjerenom reljefu, zelenoj do smeđoj vlastitoj boji (slike 11a i 13a) i izraženom pleokroizmu bez uključenog analizatora. S uključenim analizatorom interferencijske boje viših redova najčešće su prekrivene vlastitom (slike 11b i 13b). Izdužena zrna potamne paralelno. Turmalin pokazuje konoskopsku figuru karakterističnu za jednoosne minerale. Habitus zrna varira od idiomorfnog do alotriomorfnog. Zrna su najčešće čista, ponekad se na njima uočavaju tekture slične školjkastom lomu.

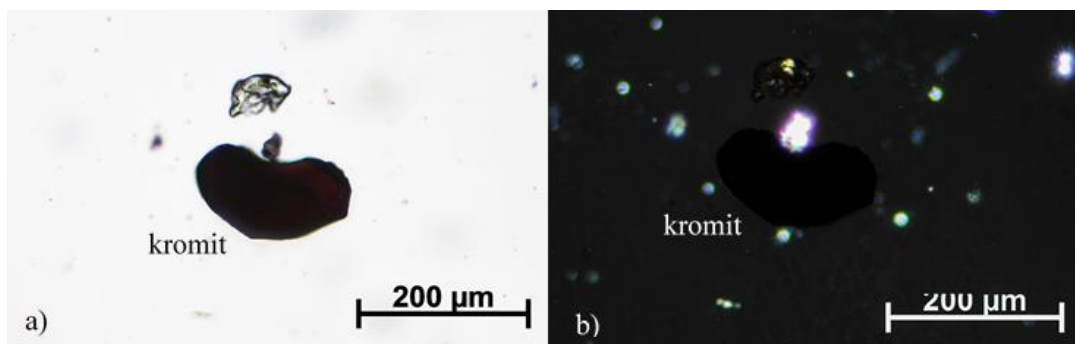


Slika 10. Fotomikrografija granata i cirkona s isključenim (a) i uključenim analizatorom (b).



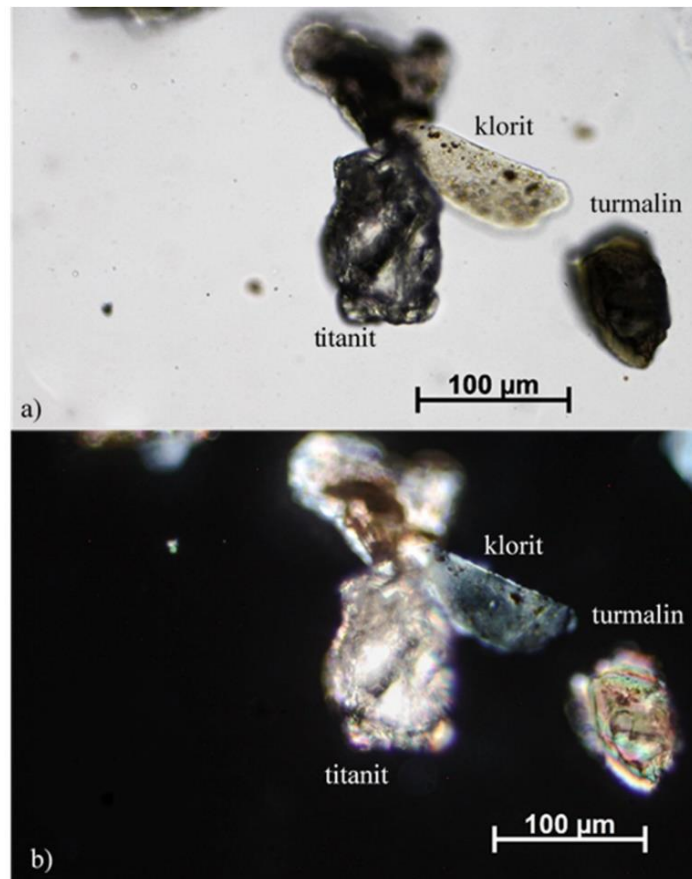
Slika 11. Fotomikrografija turmalina, apatita i rutila s isključenim (a) i uključenim analizatorom (b).

Zrna kromita u preparatima prepoznaju se po tome što izgledaju gotovo kao da su opaka, no ipak vrlo slabo propuštaju crvenu boju (slika 12a). Gotovo uvijek su zaobljena i alotriomorfna. S uključenim analizatorom kromit je taman (slika 12b).



Slika 12. Fotomikrografija kromita s isključenim (a) i uključenim analizatorom (b).

Titanit se u preparatima pojavljuje kao bezbojna alotriomorfna zrna visokog reljefa bez analizatora (slika 13a), dok s uključenim analizatorom ima visoku interferenciju (slika 13b) i zakretanjem ne potamni u potpunosti.



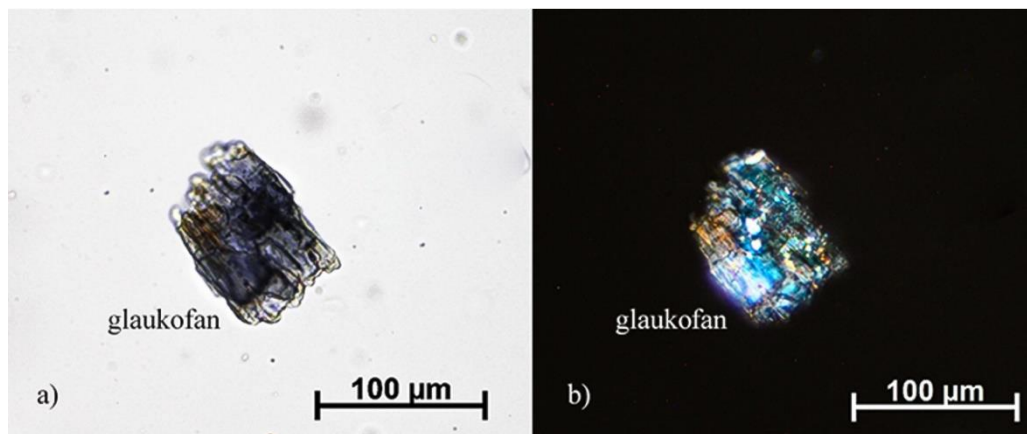
Slika 13. Fotomikrografija titanita, klorita i turmalina s isključenim (a) i uključenim analizatorom (b).

Apatit je karakterističan po alotriomorfnom i zaobljenom habitusu, umjereno visokom reljefu i odsustvu vlastite boje bez analizatora (slika 11a). Interferira u plavkastosivoj do žutoj boji 1. reda (slika 11b).

Od teških i prozirnih minerala prisutan je i rutil kojeg je lako identificirati na temelju izrazito visokog reljefa, vlastite žutosmeđe do crvenosmeđe boje te čestim pukotinama i kalavosti (slika 11a). S uključenim analizatorom interferencijska boja prekrivena je vlastitom (slika 11b).

U proučavanom preparatu teške mineralne frakcije cirkon se pojavljuje kao prizmatska idiomorfna bezbojna zrna s vrlo visokim reljefom i brojnim inkluzijama (slika 10a). S upaljenim analizatorom cirkon interferira u bijeloj boji viših redova (slika 10b) i potamni paralelno.

Zamijećeno je i nekoliko hipidiomorfnih zrna natrijskog amfibola glaukofana koji se odlikuje izraženom vlastitom bojom (slika 14a) i pleokroizmom u nijansama ljubičaste i plave boje. S uključenim analizatorom interferencijska boja prekrivena je vlastitom (slika 14b) i potamnjenje je koso.



Slika 14. Fotomikrografija glaukofana s isključenim (a) i uključenim analizatorom (b).

Osim opisanih, u teškoj mineralnoj frakciji od teških i prozirnih minerala pronađeni su i klinozoisit, epidot, enstatit, andaluzit i vulkansko staklo.

Od listićavih minerala u preparatu teške mineralne frakcije prisutni su kloriti karakteristični po zelenoj do smeđoj vlastitoj boji (slika 13a) koja ponekad prekiva interferencijsku, umjerenom reljefu i čestim alteracijama. S uključenim analizatorom kloriti interferiraju u sivoj boji 1. reda (slika 13b).

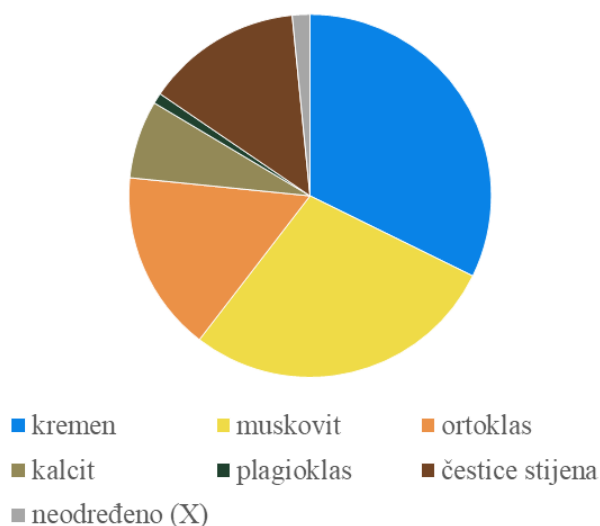
Karbonat zastupljen u preparatu je dolomit koji se odlikuje bezbojnim zrnima izražene kalavosti i umjerenog reljefa bez uključenog analizatora. S prekriženim nikolima dolomit interferira u bijeloj boji višeg reda i potamni simetrično u odnosu na dva sustava kalavosti.

Opaki minerali čine 7 % teške mineralne frakcije, no usprkos tome nisu od velike analitičke koristi u ovoj metodi mikroskopiranja jer dolaze u obliku alotriomorfni zrna koja su crna s isključenim i uključenim analizatorom.

U preparatu lake mineralne frakcije prebrojano je ukupno 316 zrna. Rezultati sustavnog prebrojavanja zrna prikazani su kao postotni udjeli u tablici 4 i dijagramu 4.

Tablica 4. Rezultati dobiveni sustavnim prebrojavanjem zrna u preparatu lake frakcije.

LAKA MINERALNA FRAKCIJA		
	vrsta čestica	udio pojedinih čestica (%)
laki minerali	kremen	32
	muskovit	28
	ortoklas	16
	kalcit	7
	plagioklas	1
	čestice stijena	14
	neodređeno (X)	2
		$\Sigma = 100$

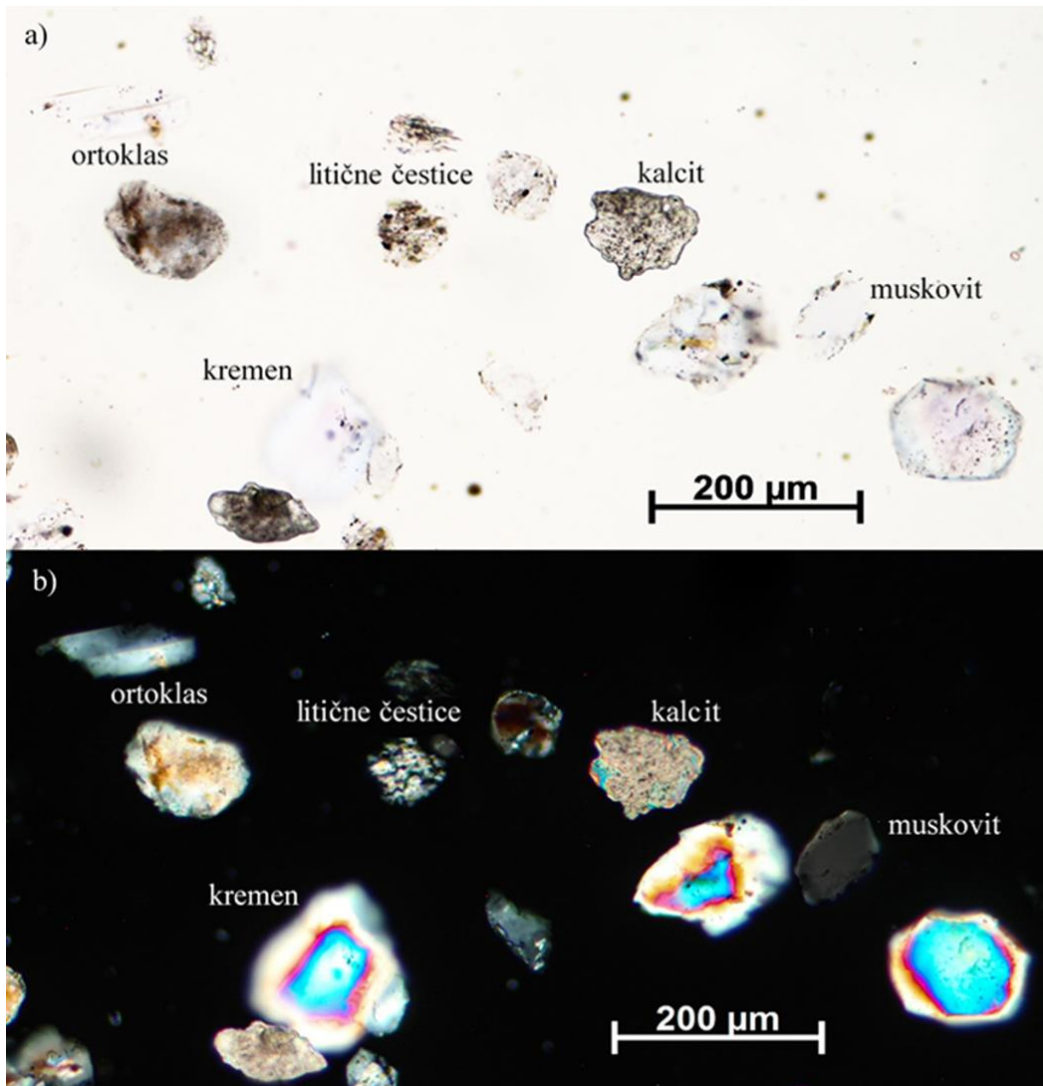


Dijagram 4. Ukupni udio pojedinih čestica u lakoj mineralnoj frakciji.

U preparatu lake mineralne frakcije najzastupljeniji je kremen koji se pojavljuje u obliku alotriomornih i pretežito nezaobljenih bezbojnih zrna niskog pozitivnog reljefa (slika 15a). S uključenim analizatorom kremen interferira u bojama prvog i drugog reda, s time da su tanji rubovi zrna uvijek svijetlosive boje prvog reda, a deblja središta zrna intereferiraju u višim bojama do plave drugog reda (slika 15b). Neka zrna potamne undulozno. Konoskopska figura kremenata je križ karakterističan za jednoosne minerale.

Značajan udio lake mineralne frakcije čini i muskovit koji se prepoznaje po nedostatku vlastite boje, niskom do umjerenom reljefu (slika 15a) i pseudoapsorpciji bez uključenog

analizatora te po sivoj interferencijskoj boji 1. reda s prekriženim nikolima. S obzirom na listićavu strukturu muskovita, zrna su najčešće u preparatu položena na svoj izotropan presjek paralelan s baznim pinakoidom zbog čega su često tamna (slika 15b).



Slika 15. Fotomikrografija preparata lake mineralne frakcije na kojoj se uočavaju zrna izmijenjenog i neizmijenjenog ortoklasa, litične čestice, muskovit, kalcit i kremen s isključenim (a) i uključenim analizatorom (b).

Feldspati su u lakoj mineralnoj frakciji najviše zastupljeni u obliku alkalijskog feldspata ortoklasa koji je svojim svojstvima vrlo sličan kremenu, no od njega se razlikuje po niskom negativnom reljefu i kalavosti koja se ponekad može uočiti. S uključenim analizatorom dvolom ortoklasa toliko je nizak da on interferira samo u sivoj boji prvog reda (slika 15a). U preparatu ortoklas je prisutan i kao alterirana i kao svježja zrna na kojima se mjestimice mogu uočiti i sraslaci (slika 15b). Osim ortoklasa, od feldspata je u preparatu lake mineralne frakcije primijećeno i nekoliko zrna plagioklasa.



Od karbonata zastupljen je kalcit kojeg je lako identificirati po bezbojnim zrnima izražene kalavosti te po teksturiranoj površini (slika 15a) i pseudoapsorpciji vidljivoj bez uključenog analizatora. S prekriženim nikolima karbonati interferiraju u bijeloj boji višeg reda i potamne simetrično u odnosu na dva sustava kalavosti (slika 15b).

Čestice stijena prisutne su u preparatu kao mala alotriomorfna zrna niskog do umjerenog reljefa i izražene teksture (slika 15a). S prekriženim nikolima litične čestice najčešće interferiraju u sivoj boji prvog reda i potamne nejednoliko (slika 15b).

## 6. Rasprava

Granulometrijskom analizom je postupkom mokrog sijanja ustanovljeno da je polazni uzorak pijesak sa značajnim udjelom silta i gline. Ukupno je 25,74 % čestica sitnijih od vrlo sitnog pijeska. Za točne udjele i razlučivanje sitnozrnastog sedimenta (silta i gline) u uzorku bilo bi potrebno provesti neku drugu metodu granulometrijske analize, na primjer areometriranje. Udio šljunka samo je 5,23 % i riječ je o vrlo sitnom šljunku koji stoga nije naročito značajan. Pijesak je pomoću kumulativne granulometrijske krivulje i formula po Trask & Krumbein određen kao vrlo loše sortiran što isključuje mogućnost njegovog taloženja eolskim putem ili u sustavu plaža. Vrlo loša sortiranost može biti posljedica relativno kratkog transporta ili kompleksnog modalnog sastava jer magmatske i metamorfne stijene daju drugačiji sediment nego na primjer nekakav stariji pješčenjak. S obzirom na značajne količine proslojaka ugljena u sedimentima Golubovec formacije u blizini Pregrade i na činjenicu da je Golubovec formacija taložena tijekom kasnog egera u regresivnom slijedu bazena Hrvatskog zagorja s izraženim terigenim utjecajem (AVANIĆ i sur., 2018.) može se razmatrati mogućnost taloženja proučavanog pijeska u relativno mirnim marinskim okolišima ili eventualno u sustavu deltne ravnice, čela delte ili prodelte. Značajna prisutnost sitnozrnastog sedimenta ukazuje da se taloženje nije odvijalo u okolišu visoke energije. Daljnje interpretacije na temelju sedimentnih struktura ograničene su jer je prikupljen uzorak bio nelitificirani, rahli i masivni sediment te se stoga podaci dobiveni granulometrijskom analizom ne mogu uspoređivati i korelirati sa značajkama sedimentnih tekstura nastalih uslijed taloženja.

Kalcimetrijom je ustanovljeno da je sadržaj karbonatne komponente u uzorku vrlo nizak, svega oko 1% što je na granici preciznosti metode. Tako malen dobiven udio  $\text{CaCO}_3$  može ukazivati na izražen stupanj trošenja sedimenta s obzirom da je kalcit topiv mineral na kraju Goldichevog niza. Kako god, iz niskog udjela karbonatne komponente jasno je da karbonatni sedimenti nisu bili značajne ishodišne stijene za formiranje proučavanog pijeska Golubovec formacije. No ipak, tome u prilog ne ide zamjetna prisutnost karbonata uočena u preparatima teške i lake mineralne frakcije. Moguće je da zamijećeni karbonati potječu iz ishodišnih stijena u kojima su bili slabo zastupljeni ili akcesorni minerali. Djelomično je riječ o dolomitu koji kalcimetrijom nije registriran jer ne reagira s HCl-om.

Rezultati mikroskopske analize modalnog sastava u preparatima teške i lake mineralne frakcije generalno ukazuju na prevlast minerala koji su na početku Goldichevog niza stabilnosti što ukazuje na izražen stupanj trošenja ili podrijetlo čestica pretežito iz kiselih stijena. Tome u prilog ide jako mali udio plagioklasa, piroksena i amfibola te značajan udio minerala koji čine

kisele stijene od kojih su u velikoj mjeri prisutni kremen, ortoklas i muskovit. U literaturi se kao glavni sastojci pijesaka pripadne kronostratigrafske jedinice navode čestice metamorfnih stijena (ANIČIĆ & JURIŠA, 1985) što je u skladu s velikim brojem i udjelom metamorfnih minerala u teškoj mineralnoj frakciji. Naime, granati, turmalini, apatit, rutil, glaukofan, titanit i cirkon česti su ili akcesorni minerali u metamorfnim stijenama regionalnog metamorfizma kao što su na primjer gnajsevi i škrljavci. Velik udio muskovita i granata ukazuje na veliku mogućnost tinjčevog škrljavca kao jednog od glavnih prekursora za nastanak proučavanog pijeska. Apatit, titanit i cirkon dolaze u asocijaciji i česti su minerali u sijenitskim pegmatitima. Na moguće podrijetlo materijala iz pegmatita općenito ukazuju i veliki udjeli turmalina, apatita, kremenata i muskovita. Što se pak kromita tiče, njegovo podrijetlo vjerojatno je iz metamorfoziranih i alteriranih olivinskih serpentinita čemu u prilog ide veliki udio klorita koji nastaje kao sekundarni mineral alteracijom olivina i serpentina. Undulozni kremen također je podrijetlom iz metamorfnih stijena. S obzirom na popriličan broj detektiranih minerala vrlo je vjerojatno da proučavani pijesak potječe iz više različitih prekursora. U skladu s time je i kontradiktornost da je velik udio kremenata i minerala koji često potječu iz sijenita, stijena osiromašenih na kremen.

Gotovo sva zrna cirkona detektirana u preparatu teške frakcije bila su idiomorfna s jasno razvijenim terminalnim plohami i plohami prizme što ukazuje da transport nije bio dug i da cirkon nije pretaloživan. Isto tako, većina zrna kremenata u preparatu loše je zaobljena i vjerojatno nije pretaloživana.

## **7. Zaključak**

Proučavani masivni nelitificirani pijesak iz mlađeg egera Golubovec formacije na Vinagori u Hrvatskom zagorju u svome sastavu sadrži značajan udio, oko četvrtinu, sitnozrnastog materijala. Riječ je o vrlo loše sortiranom pijesku čije je taloženje vjerojatno bilo u relativno mirnom marinskom ili eventualno prijelaznom okolišu. Udio karbonatne komponente vrlo je malen, svega oko 1 %, što isključuje mogućnost nastanka pijeska iz karbonatnih stijena. Transport pijeska od njegovog ishodišta do mjesta taloženja vjerojatno nije bio dug zbog vrlo loše sortiranosti i zastupljenih idiomorfni i nezaobljenih mineralnih zrna. Nepromijenjen oblik mehanički rezistentnijih zrna ukazuje da nije došlo do pretaloživanja. Malen udio kemijski nestabilnih minerala, alteriran ortoklas i mnoštvo sekundarnog minerala klorita implicira na napredan stupanj alteracije pijeska. Mineralna asocijacija u pijesku ukazuje da većina čestica potječe iz metamorfnih stijena kao što su gnajs, tinjčev škriljavac ili sijenit.

## 8. Literatura

- ANIČIĆ, B. & JURIŠA, M. (1984): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Rogatec L33-68. Geološki zavod, Ljubljana, Geološki zavod, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- ANIČIĆ, B. & JURIŠA, M. (1985): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tolmač za list Rogatec L33-68. Geološki zavod, Ljubljana, Geološki zavod, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 31–33.
- AVANIĆ, R., KOVAČIĆ, M., PAVELIĆ, D. & PEH, Z. (2018): The Neogene of Hrvatsko Zagorje – U: TIBLJAŠ, D., HORVAT, M., TOMAŠIĆ, N., MILESUNIĆ, M. & GRIZELJ, A. (ur.): 9<sup>th</sup> Mid-European Clay Conference, Conference book – Field Trip Guide book, Zagreb, 128–131.
- AVANIĆ, R., PAVELIĆ, D., PÉCSKAY, Z., MIKNIĆ, M., TIBLJAŠ, D. & WACHA, L. (2021): Tidal deposits in the Early Miocene Central Paratethys: the Vučji Jarek and Čemernica members of the Macelj formation (NW Croatia). *Geologia Croatica*, 74/1, 42–56.
- DEDIĆ, Ž., KRUK, B., KRUK, LJ., KOVAČEVIĆ-GALOVIĆ, E., MIKO, S., CRNOGAJ, S., PEH, Z. & AVANIĆ, R. (2014): Rudarsko-geološka studija Krapinsko-zagorske županije, Hrvatski geološki institut, Zavod za mineralne sirovine, Zagreb, 147–148.
- HALAMIĆ, J., ŠIMUNIĆ, A., PIKIJA, M. & BELAK, M. (2009): Tumač Geološke Karte Republike Hrvatske 1:300 000. Hrvatski geološki institut, Zagreb, 81–83.
- MANGE, M.A. & MAURER, H. (1992): Heavy minerals in colour, Springer Netherlands, 1–147.
- PAVELIĆ, D. & KOVAČIĆ, M. (2018): Sedimentology and stratigraphy of the Neogene rift-type North Basin (Pannonian Basin System, Croatia): A review. *Mar. Petrol. Geol.*, 9, 455–469.
- ŠIKIĆ, L. & JOVIĆ, B. (1969): Starost „gornjooligocenskih“ naslaga sa smeđim ugljenom u području Pregrade (Sjeverna Hrvatska) – *Geološki vjesnik*, 22, 333–345.
- TIŠLJAR, J. (1994): Sedimentne stijene, Školska knjiga, Zagreb, 85 str.
- VRKLJAN, M., BOROJEVIĆ ŠOŠTARIĆ, S. & TOMAŠIĆ, N. (2019): Optička mineralogija, Udžbenici sveučilišta u Zagrebu, 1–331.