

Modalni sastav i strukturne značajke pijeska s lokaliteta Mos Espa u Tunisu

Bandov, Magdalena

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:217:323420>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Magdalena Bandov

**Modalni sastav i strukturne značajke pijeska s
lokaliteta Mos Espa u Tunisu**

Seminar III
Sveučilišni prijediplomski studij Geologija

Mentor:
prof. dr. sc. Marijan Kovačić

Zagreb, 2024.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Seminar III

Modalni sastav i strukturne značajke pijeska s lokaliteta Mos Espa u Tunisu

Magdalena Bandov

Rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Horvatovac 102b, 10 000 Zagreb, Hrvatska

Sažetak: Na području sjeverne Sahare, točnije na lokalitetu Mos Espa u Tunisu, uzet je uzorak pijeska s ciljem utvrđivanja njegovih strukturnih značajki i modalnog sastava. Granulometrijska analiza pokazala je da se radi o srednje sortiranom srednjeznastom pijesku koji sadrži preko 98 % čestica veličine pijeska. Analiza sferičnosti i zaobljenosti zrna pod optičkom lupom pokazala je da su čestice najčešće poluzaobljene do dobro zaobljene i da sferičnost i zaobljenost čestica raste s veličinom frakcije. Iste značajke utvrđene su i SEM analizom. SEM analizom utvrđene su i značajke zrna koje sugeriraju eolski transport materijala. Analiza modalnog sastava pokazala je da u pijesku dominiraju minerali iz lake mineralne frakcije. Među njima dominira kremen (72 %) dok su feldspati (21 %) i čestice stijena (7 %) znatno rjeđi. U sastavu teške mineralne frakcije prevladavaju prozirni teški minerali (65 %) i opaki minerali (30 %), dok su biotit i klorit izrazito rijetki. Među prozirnim teškim mineralima najzastupljeniji su cirkon (34 %) i epidot (22 %), a značajnije su još zastupljeni turmalin, rutil, staurolit i granati. Dobiveni rezultati ukazuju na to da se radi o mineralološki i strukturno zreloom sedimentu.

Ključne riječi: Sahara, granulometrijski sastav, teška mineralna frakcija, laka mineralna frakcija

Rad sadrži: 35 stranica, 45 slike, 10 tablica, 8 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. Frane Marković

doc. dr. sc. Karmen Fio Firi

Datum završnog ispita: 23. 09. 2024.

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Seminar III

Modal composition and textural characteristics of sand from Mos Espa locality, Tunisia

Magdalena Bandov

Thesis completed in: University of Zagreb Faculty of Science, Department of Geology, Horvatovac 102b, 10 000 Zagreb, Croatia

Abstract: In the northern Sahara region, specifically at the Mos Espa site in Tunisia, a sand sample was taken with the aim to determine its structural characteristics and modal composition. Granulometric analysis revealed that it is a moderately sorted, medium-grained sand containing over 98% sand-sized particles. Sphericity and roundness analysis under an optical magnifying glass showed that the particles are most commonly sub-rounded to well-rounded, and that both sphericity and roundness increase with particle size. The same characteristics were confirmed by SEM analysis. SEM analysis also identified grain features that suggest aeolian transport of the material. Modal composition analysis showed that minerals from the light mineral fraction dominate the sand. Among them, quartz is predominant (72%), while feldspars (21%) and rock fragments (7%) are significantly less common. In the heavy mineral fraction, transparent heavy minerals (65%) and opaque minerals (30%) are prevalent, while biotite and chlorite are extremely rare. Among the transparent heavy minerals, zircon (34%) and epidote (22%) are the most abundant, with tourmaline, rutile, staurolite, and garnets also significantly represented. The obtained results indicate that this is a mineralogically and structurally mature sediment.

Keywords: Sahara, granulometric composition, heavy mineral fraction, light mineral fraction

Seminar contains: 35 pages, 43 figures, 10 tables, 8 references

Original in: Croatian

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

Supervisor: Marijan Kovačić, Ph.D., Full Professor

Reviewers: Marijan Kovačić, Ph.D., Full Professor

Frane Marković, Ph.D., Assistant Professor

Karmen Fio Firi, Ph.D., Assistant Professor

Date of the final exam: 23.09.2024

Sadržaj

1.	Uvod	1
2.	Značajke lokaliteta.....	2
2.1.	Geografski položaj lokaliteta.....	2
2.2.	Geološka građa lokaliteta	3
3.	Metode istraživanja.....	7
3.1.	Granulometrijska analiza.....	7
3.2.	Sferičnost i zaobljenost.....	9
3.3.	Separacija teške i lake separacije.....	11
3.4.	Izrada preparata za laku i tešku mineralnu frakciju.....	15
3.5.	Mikroskopska analiza lake i teške frakcije frakcije.....	16
4.	Rezultati.....	17
4.1.	Granulometrijski sastav	17
4.2.	Sferičnost i zaobljenost.....	19
4.3.	Sastav teške i lake frakcije.....	25
4.3.1.	Laka mineralna frakcija	25
4.3.2.	Teška mineralna frakcija	28
5.	Rasprava i zaključak.....	35
6.	Literatura	36

1. Uvod

Sahara, najveća pustinja na svijetu, proteže se preko sjevernog dijela Afrike, zauzimajući površinu od približno 9,2 milijuna kvadratnih kilometara. Iako se na prvi pogled čini kao nepregledno prostranstvo pijeska i kamenja, Sahara je vrlo složene geološke i litološke građe. Ova pustinja nije samo sinonim za dine i suhoću, već i za bogatstvo različitih minerala koji su od velikog značaja kako za razumijevanje geološke povijesti regije, tako i za suvremene ekonomske aktivnosti.

Mineralni sastav stijena i sedimenata iz Sahare uključuje širok spektar minerala, od kremenca, feldspata, gline i karbonata, do teških minerala poput cirkona, rutila i epidota, koji su često koncentrirani u pješčanim nanosima poznatim kao ergovi. Ovi minerali ne samo da doprinose geomorfološkim značajkama Sahare, već pružaju i ključne informacije o procesima taloženja, transporta i erozije koji su oblikovali ovu pustinju. Posebna pažnja posvećena je istraživanju porijekla i distribucije teških minerala, koji su ne samo indikatori prošlih klimatskih uvjeta, već i potencijalni izvori vrijednih sirovina.

Cilj ovog rada je utvrđivanje modalnog sastava i strukturnih značajke saharskog pijeska na lokalitetu Mos Espa, Tunis, s posebnim naglaskom na identifikaciju i distribuciju teških minerala, te istražiti kako ovi minerali doprinose razumijevanju geološke evolucije ove pustinje.

2. Značajke lokaliteta

2.1. Geografski položaj lokaliteta

Sahara je najveća vruća pustinja u svijetu te treća najveća pustinja nakon Antarktika i Arktika. Proteže se cijelim sjevernim dijelom Afričkog kontinenta, sve od istoka do zapada, proteže se kroz Zapadnu Saharu, Mauritaniju, Mali, Alžir, Tunis, Niger pa preko Libije, Čada, Sudana sve do Egipta (slika 1).

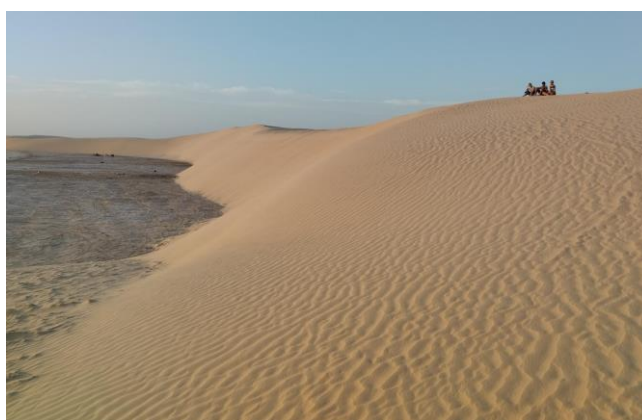


Slika 1. Geografski položaj pustinje Sahare (izvor: *Google Earth*)

Lokalitet na kojem su prikupljeni uzorci se naziva Mos Espa. Mos Espa je lokacija poznata po snimanju Star Wars filmova u Sahari u dijelu koji pripada Tunisu. Točan geografski položaj lokaliteta je: 33.9941° N, 7.8421° E (slika 2). Uzorak pijeska uzet je s padine srpolike megadine smještene neposredno uz filmsku lokaciju (slika 3).



Slika 2. Geografski položaj lokaliteta Mos Espa, Tunis (izvor: *Google Earth*)



Slika 3. Megadina s lokaliteta gdje je prikupljen uzorak pijeska

2.2. Geološka građa lokaliteta

Glavne topografske značajke Sahare uključuju plitke, sezonski poplavljene bazene (čote i daje) te velike depresije oaza, opsežne ravnice prekrivene šljunkom (seriri ili regi); visoravni prekrivene kamenjem (hamade), strma planinska područja te pješćane površine, dine i pješćane pustinje (ergovi). Najviša točka u pustinji je vrh planine Koussi u gorju Tibesti u Čadu, s visinom od 3415 metara. Najniža točka, 133 metra ispod razine mora, nalazi se u depresiji Qattara u Egiptu.

Sahara leži na Afričkom štitu, koji se sastoji od jako naboranih i denudiranih pretkambrijskih stijena. Zbog stabilnosti štita, naknadno taložene paleozojske formacije ostale su horizontalne i relativno nepromijenjene. Na velikom dijelu Sahare, ove formacije su prekrivene mezozojskim naslagama – uključujući vapnence u Alžiru, južnoj Tunisu i sjevernoj Libiji, te nubijske pješćenjake Libijske pustinje – a mnogi od važnih regionalnih vodonosnika povezani su s njima. U sjevernoj Sahari, ove formacije također su povezane s nizom bazena i depresija koje se protežu od oaza zapadnog Egipta do čota u Alžiru. U južnoj Sahari, spuštanje Afričkog štita stvorilo je velike bazene koje su zauzimala kenozojska jezera i mora, poput drevnog Mega-Čada. Seriri i regi razlikuju se po karakteru u različitim regijama pustinje, ali se smatra da predstavljaju kenozojske depozicijske površine. Istaknuta značajka ravnica je tamna patina feromanganskih spojeva, nazvana pustinjskim lakom, koja se formira na površinama istrošenih stijena. Visoravni Sahare, poput visoravni Tademaït u Alžiru, obično su prekrivene istrošenim stijenama. U središnjoj Sahari monotoniju ravnica i visoravni prekidaju istaknuti vulkanski masivi – uključujući planinu 'Uwaynat i planine Tibesti i Ahaggar. Ostale značajne formacije uključuju visoravan Ennedi u Čadu, masiv Aïr u Nigeru, masiv Iforas u Maliju i izdanke u mauritanskoj regiji Adrar (LE HOUÉROU, 1993).

Pješćane površine i dine prekrivaju otprilike 25 % površine Sahare. Glavne vrste dina uključuju vezane dine, koje nastaju u zavjetrini brežuljaka ili drugih prepreka; parabolične dine; polumjesečaste barhane i poprečne dine; longitudinalne seife; i masivne, složene oblike povezane s pješćanim morima. Nekoliko piramidalnih dina u Sahari doseže visinu od gotovo 150 metara, dok se kaže da draa, planinski pješćani grebeni koji dominiraju ergovima, dosežu visinu od 300 metara.

Sahara ima jedinstven krajolik koji čine brojni raznoliki geološki oblici. Najveći dio pustinje zauzimaju ergovi (pješčane dine), uključujući područja oko Tozeura i Nefta. Najpoznatiji Saharski erg u Tunisu je Grand Erg Oriental (slika 4), koji se proteže i na teritoriju Alžira. Dine su formirane eolskim procesima i mogu doseći visinu od nekoliko desetaka metara, stvarajući spektakularne pejzaže i značajne geomorfološke oblike (TCHAKERIAN, 2008).



Slika 4. Grand Erg Oriental (izvor: <https://www.tunisiatv.com/the-grand-erg-oriental-in-tunisia/>)

Uz ergove pronalazimo i hamade. Hamade, točnije kamene pustinje su ravne, stjenovite pustinje s minimalnim prisustvom pijeska. Ti geološki oblici su rezultat intenzivne erozije i deflacije čestica pijeska. Nadalje značajan geološki element su i slane ravnice koje su nekad bile jezera. Najpoznatija takva ravnica u Tunisu je Chott el Jerid (slika 5), najveća slana ravnica u zemlji. Te ravnice su prekrivene evaporitima te imaju karakteristične slojeve koje ukazuju na složene hidrogeološke procese i povijest klimatskih promjena u regiji.



Slika 5. Chott el Jerid (izvor: <https://carthagemagazine.com/chott-el-jerid-tunisia/>)

Regovi, ili šljunčane pustinje, predstavljaju površine prekrivene šljunkom i sitnim kamenjem. Nastali procesima deflacije, regovi se pojavljuju kada vjetar odnosi sitnije čestice pijeska, ostavljajući za sobom grublje materijale. Ove površine su česte u Tunisu i predstavljaju još jednu komponentu geološke raznolikosti regije, važnu za proučavanje pustinjskih ekosustava.

Planine i visoravni također igraju važnu ulogu u geološkoj građi Sahare. Na južnom dijelu Tunisa nalaze se planinski lanci poput Jebel Dahara (slika 6). Ove planine su izgrađene od sedimentnih stijena, uključujući vapnence i pješčenjake, te su često podvrgnute intenzivnim procesima erozije, što stvara impresivne geomorfološke oblike i stratigrafske profile.



Slika 6. Jebel Dahar (izvor: <https://www.marhba.com/tourisme/destination-dahar>)

Oaze su ekološki i hidrogeološki značajna područja u pustinji gdje podzemne vode izbijaju na površinu, omogućujući rast vegetacije i stvaranje bioloških niša. Oaze poput Tozeura i Nefta (slika 7) su ključne za lokalnu poljoprivredu i opskrbu vodom, te predstavljaju vitalne točke u surovom pustinjskom okruženju.



Slika 7. Oaza Nefta u Sahari (izvor: <https://en.wikivoyage.org/wiki/Nefta>)

3. Metode istraživanja

3.1. Granulometrijska analiza

Granulometrijska analiza provedena je metodom mokrog sijanja korištenjem laboratorijskih sita. Prije same analize, metodom četvtanja iz ukupnog uzorka izdvojeno je oko 125 g nakon čega je dobiveni uzorak ponovno četvrtan te je tako dobiven reprezentativni uzoraka mase 59,02 g koji je dalje korišten u analizi. Za sijanje je na tresilicu postavljena aparatura sastavljena od šest sita s promjerima otvora 1 mm, 0,5 mm, 0,250 mm, 0,125 mm, 0,063 mm i 0,032 mm, složenih tako da se najveće sito nalazilo na vrhu, a najmanje na dnu. Uzorak je stavljen na najgornje sito i prosijan uz ispiranje destiliranom vodom. Na taj način uzorak je podijeljen u šest frakcija: 2mm – 1mm, 1 mm – 500 μ m, 500 – 250 μ m, 250 – 125 μ m, 125 – 63 μ m, i 63 – 32 μ m. Svaka frakcija, odnosno dio uzorka koji je ostao na svakom situ, prebačen je u staklenu posudu, osušen i izvagan. Na temelju tih podataka izračunat je maseni udio svake frakcije. Masa frakcije < 32 μ m, kao i njezin maseni udio u uzorku, dobiveni su oduzimanjem ukupne mase četiri izdvojene frakcije od početne mase uzorka.

Rezultati analize granulometrijskog sastava prikazani su pomoću kumulativne krivulje i histograma. Također, iz kumulativne granulometrijske krivulje očitani su ili izračunati ključni parametri veličine čestica (tablica 1).

Tablica 1. Granulometrijski parametri veličine čestica. Formule su prikazane prema TRASKU (1932)

PARAMETRI	OZNAKE	FORMULE
Srednja veličina čestica	Md	$M_D = P_{50}$
Prosječna veličina čestice	M	$M = (P_{25} + P_{75})/2$
Sortiranost	So	$S_o = \frac{2\sqrt{P_{75}}}{\sqrt{P_{25}}}$
Koeficijent asimetrije	Sk	$S_K = \frac{P_{25} \cdot P_{75}}{Md^2}$

Srednja veličina čestica ili medijan (Md) označava prosječnu veličinu čestica u uzorku. Predstavlja veličinu čestica na 50 % kumulativne krivulje te omogućava brzo određivanje distribucije veličina čestica

Prosječna veličina čestica ili mean (M) pruža informacije o distribuciji veličine čestica u uzorku. Na kumulativnoj granulometrijskoj krivulji određuje se računanjem pomoću formule za aritmetički prosjek veličina čestica.

Koeficijent sortiranosti (S_o) također koristi se za procjenu distribucije veličina čestica. Izračun se temelji na odnosu između veličine čestica na 75 % i 25 % kumulativne granulometrijske krivulje

Koeficijent asimetrije (S_k) daje informacije o simetričnosti distribucije čestica te se najbolje uočava na krivuljama učestalosti.

3.2. Sferičnost i zaobljenost

Određivanje sferičnosti i zaobljenosti je provedeno koristeći optičku lupu (slika 8), a dodatno istraženo skenirajućim elektronskim mikroskopom (SEM analizom).

Analizirane su četiri frakcije: 1mm – 500 μm , 500 – 250 μm , 250 – 125 μm , 125 – 63 μm ; frakcija 2mm – 1mm nije imala više od 100 zrna, dok je frakcija 63 – 32 μm presitna te se zbog toga te dvije frakcije nisu određivale. Analizirano je približno 110 zrna kremena svake frakcije, svako zrno svake frakcije se uspoređivalo sa komparatorom kako bi se dobili što točniji rezultati.



Slika 8. Optička lupa

Za SEM analizu su odabrana četiri uzorka nakon separacije lake mineralne frakcije. Uzorci sedimenta su nanoseni na nosač dvostranom, samoljepljivom trakom i zatim napareni zlatom debljine 15 nm. Tako pripremljeni uzorci stavljeni su u spremnik i analizirani skenirajućim elektronskim mikroskopom JEOL JSM-35 CF (slika 9) u laboratoriju Zavoda za geologiju Hrvatskoga geološkog instituta.

Usredotočili smo se detaljnije na zrna kremenca, analizirajući njihov oblik i detaljnu morfologiju površina zrna.



Slika 9. Skenirajući elektronski mikroskop JOEL JSM-35 CF

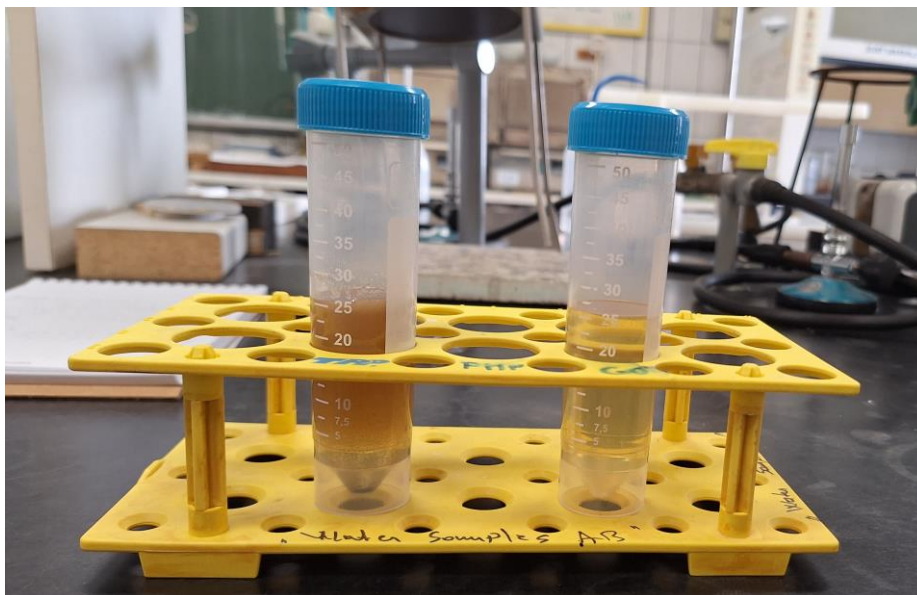
3.3. Separacija teške i lake separacije

Separacija teške i lake mineralne frakcije provedena je na frakciji 0,063 – 0,125 milimetara, dobivenom metodom mokrog sijanja. Prvi korak u procesu separacije bilo je uklanjanje glinenih čestica iz uzorka pijeska. Taj postupak je izveden tako što je uzorak stavljen u čašu s destiliranom vodom, a potom smješten u ultrazvučnu kadu (slika 10) kako bi vibracije potaknule odvajanje glinenih čestica. Nakon toga, voda s glinenom suspenzijom je dekantirana. Postupak je ponavljan sve dok voda nije postala potpuno bistra. Nakon toga, uzorak je prenesen u papirnatu lađicu gdje je osušen i izvagan.



Slika 10. Ultrazvučna kada korištena za odglinjavanje uzoraka

Sljedeći korak separacije proveden je pomoću teške tekućine, odnosno otopine natrijeva polivolframata (sodium polytungstate – SPT). Za separaciju teških minerala bila je potrebna tekućina gustoće $2,90 \text{ g/cm}^3$. Da bismo postigli tu gustoću, otopini SPT-a više gustoće dodavali smo destiliranu vodu te kontrolirali gustoću pomoću areometra. Nakon postizanja željene gustoće, uzorak je stavljen u plastičnu kivetu s tekućinom te je također u drugu plastičnu kivetu stavljen čisti SPT (slika 11) kako bi se prilikom centrifuge postigla ravnoteža (slika 12) i zatim u centrifugu (slika 13).



Slika 11. Plastična kiveta sa uzorkom (lijevo) i plastična kiveta sa čistim SPT-om (desno)

Separacija teških i lakih mineralnih frakcija u centrifugi odvijala se pri brzini od 2500 okretaja/min tijekom 5 minuta.

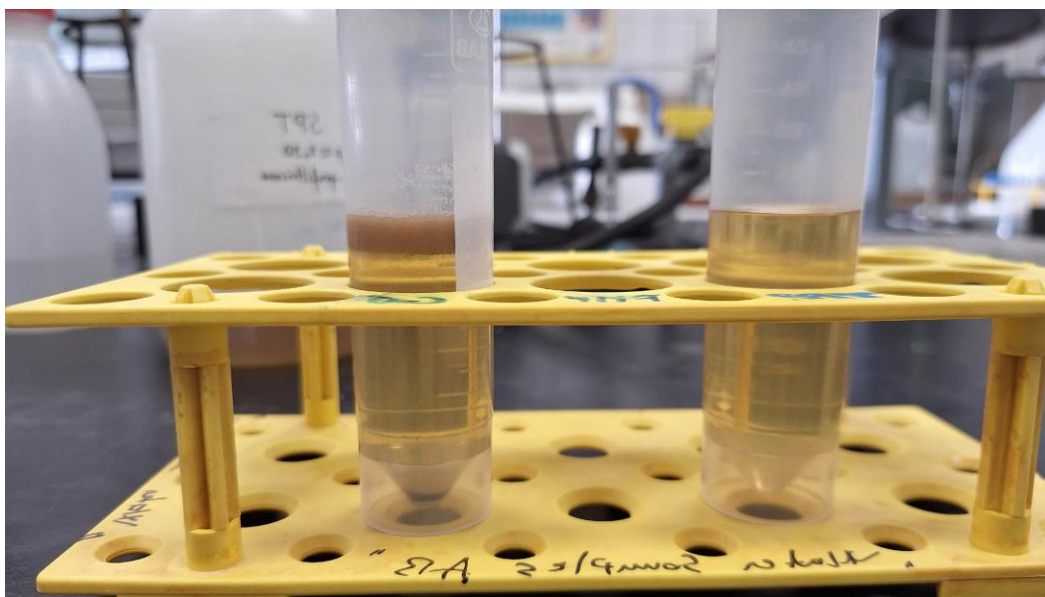


Slika 12. Kivete postavljene u uređaj za centrifugu



Slika 13. Uređaj za centrifugiranje

Tijekom centrifugiranja, teška mineralna frakcija slegla se na dno kivete, dok je laka frakcija ostala na površini tekućine (slika 14). Nakon separacije, kivete s uzorcima bile su stavljene u zamrzivač dok se tekućina u potpunosti nije zamrzнула.



Slika 14. Plastične kivete nakon centrifugiranja. Odvojena laka frakcija pri površini dok je teška frakcija istaložena na dnu kivete (lijevo)

U sljedećem koraku, odvajanje frakcija izvršeno je otapanjem zamrznute tekućine, pri čemu je prvo otopljen gornji sloj u kojem je bila koncentrirana laka mineralna frakcija. Ona je zatim odvojena filtracijom, pri čemu je aparatura za filtraciju uključivala stalak, lijevak, filter papir i čašu ispod lijevka (slika 15).



Slika 15. Aparatura za filtraciju

Na stalak je postavljen lijevak s filter papirom, a ispod lijevka je smještena čaša za sakupljanje SPT-a i vode. Za filtraciju je korišten filter papir s crnom trakom, jer ima najveću poroznost. Postupak započinje otapanjem lake frakcije. Nakon što je filtracija završena, uzorak se ispiru destiliranom vodom i ostavlja da se osuši. Nakon sušenja, uzorci se ostavljaju u filter papiru kako bi se osušili te se nakon sušenja ponovno vaga njihova masa. Filtracija teške frakcije provodi se na isti način kao i za laku frakciju. Nakon vaganja, sljedeći korak je izrada preparata, pri čemu se preparati izrađuju posebno za laku, a posebno za tešku frakciju.

3.4. Izrada preparata za laku i tešku mineralnu frakciju

Izrađuju se posebni preparati za laku i tešku mineralnu frakciju. Prvi korak prije izrade preparata je čišćenje stakalca alkoholom. Nakon toga, na sredinu stakalca stavi se kapljica destilirane vode, u koju se namočenim kistom prenosi dio uzorka određene frakcije. Zatim se stakalce zagrijava dok destilirana voda u potpunosti ne ispari. Kada svi tragovi vode nestanu, uzorak se poravnava po sredini stakalca u liniju, na koju se naknadno doda nekoliko komadića kanada balzama. Kanada balzam služi kao ljepilo kako bi se spriječilo pomicanje uzorka. Preparat se zagrijava dok se kanada balzam ne otopi i dok ne nestanu svi mjehurići zraka. Nakon toga se preparat sklanja s grijača te se prekriva drugim, tanjim stakalcem, pri čemu se višak kanada balzama istiskuje van. Na kraju je potrebno alkoholom očistiti višak kanada balzama s preparata, nakon čega je preparat spreman za mikroskopiranje.



Slika 16. Proces pripreme preparata: uzorak prebačen na stakalce u kapljicu destilirane vode koja isparava (lijevo), nakon isparavanja vode se postavlja kanada balzam koji se počinje zagrijavati (sredina) te se zagrijavanjem kanada balzam topi (desno)

3.5. Mikroskopska analiza lake i teške frakcije frakcije

Analiza mineralnih frakcija provedena je koristeći polarizacijski mikroskop (slika 17), primjenom metode trake za određivanje relativnog udjela pojedinih minerala u preparatu. Analizirano je približno 260 zrna u oba preparata. Metodom trake identificirana su mineralna zrna unutar vidnog polja, pri čemu se mikroskop nasumično pomicao po preparatu duž linija. Razmak između linija podešavan je pomoću mikrometra na mikroskopskom stoliću. U preparatima lake mineralne frakcije identificirani su kremen, muskovit, karbonatna zrna te čestice stijena, dok su u preparatima teške frakcije pronađeni mnogi minerali kao što su cirkon, rutil, epidot, turmalin i ostali. Mineralna zrna promatrana su s uključenim analizatorom i bez njega.



Slika 17. Polarizacijski mikroskop

4. Rezultati

4.1. Granulometrijski sastav

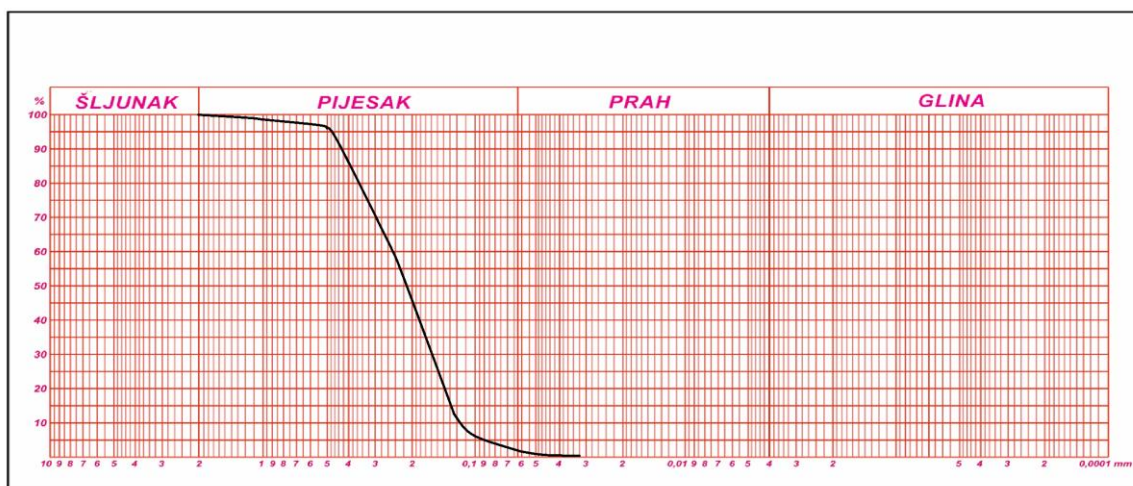
Masa ukupnog uzorka prije mokrog sijanja iznosi 59,02 g. Nakon sijanja je svaka frakcija posebno izvagana te je izračunat maseni udio svake frakcije (tablica 2??).

Tablica 2. Izračun masenih udjela određenih frakcija u ukupnom uzorku

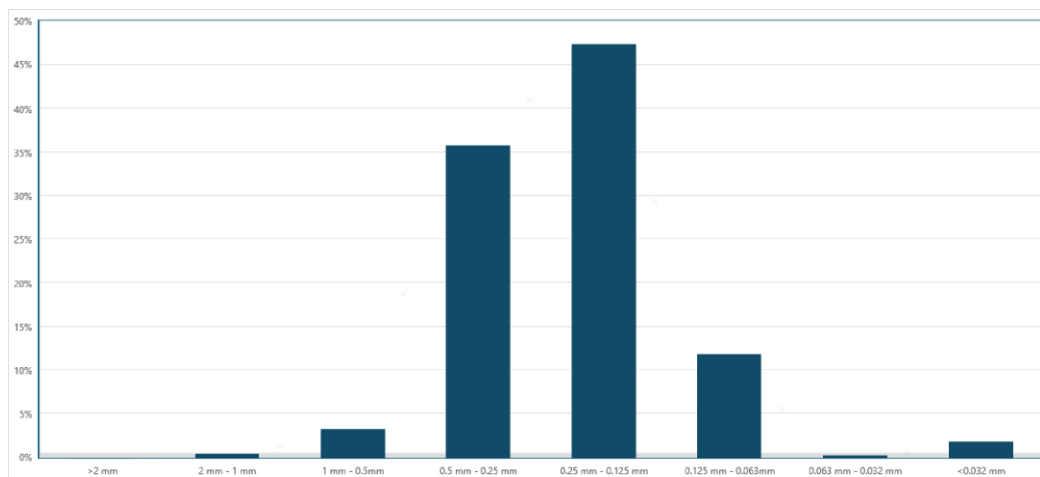
Frakcija	Masa frakcije (g)	Maseni udio frakcije (%)
2 mm – 1 mm	0,163	0,9%
1 mm – 500 μm	1,756	3,13%
500 μm – 250 μm	20,017	35,71%
250 μm – 125 μm	26,469	47,23%
125 μm – 63 μm	6,582	11,74%
63 μm – 32 μm	0,101	0,18%
<32 μm	0,96	1,71%

Naknadno je izvagana i glina koja se dobila ispiranjem tijekom mokrog sijanja te njena masa iznosi 0,96 g; što ukupnu masu uzorka nakon sijanja čini 56,048 g.

Rezultat analize granulometrijskog sastava prikazan je pomoću kumulativne granulometrijske krivulje (slika 18) i histograma (slike 19). Također su u tablici 2 prikazani izračunate vrijednosti granulometrijskih parametara.



Slika 18. Kumulativna granulometrijska krivulja uzorka



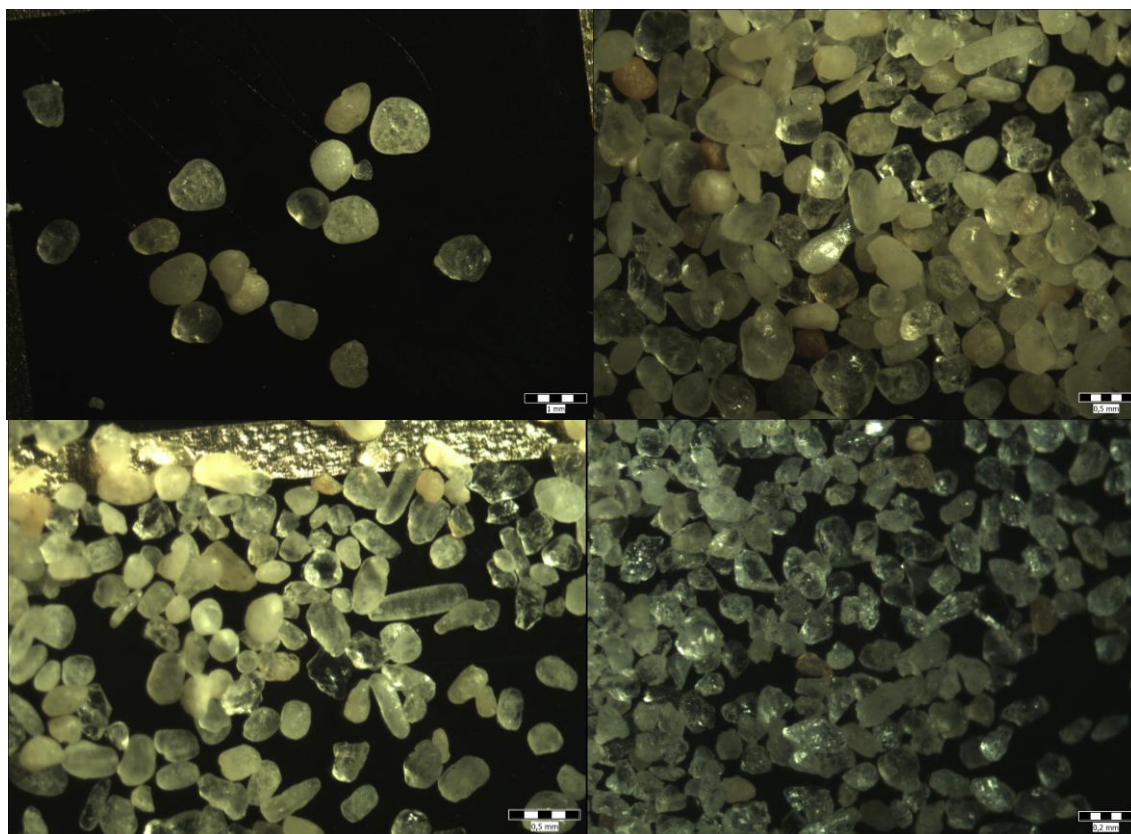
Slika 19. Histogram granulometrijskog sastava

Tablica 3. Granulometrijski parametri

Srednja veličina čestica (Md)	Md = 0,210 mm
Prosječna veličina čestica (M)	M = 0,225 mm
Koeficijent sortiranosti (So)	So = 1,438
Koeficijent asimetrije (Sk)	Sk = 1,144

4.2. Sferičnost i zaobljenost

Za određivanje sferičnosti i zaobljenosti uzorka uzeto je približno 110 zrna svake frakcije. Promatrane su četiri frakcije (slika 20): 1mm – 500 μm , 500 – 250 μm , 250 – 125 μm , 125 – 63 μm ; frakcija 2mm – 1mm nije imala više od 100 zrna, dok je frakcija 63 – 32 μm presitna te se zbog toga te dvije frakcije nisu određivale.

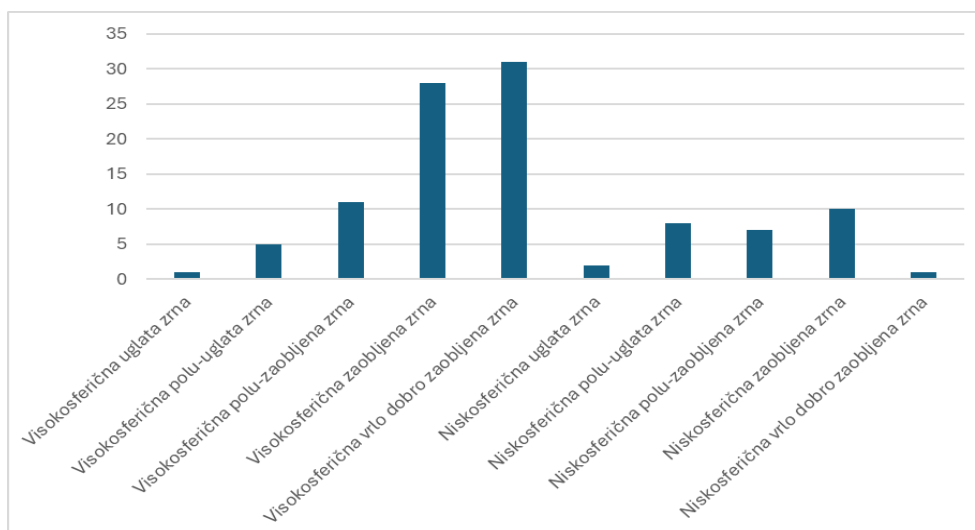


Slika 20. Prikaz različitih frakcija na kojima se ispitala sferičnost i zaobljenost

Prva promatrana frakcija je 1mm – 500 μm u kojoj je određeno 104 zasebna zrna. U navedenoj frakciji se može primijetiti kako dominiraju zaobljena do vrlo dobro zaobljena visoko sferična zrna (tablica 4, slika 21)

Tablica 4. Prikaz zaobljenosti i sferičnosti zrna frakcije 1mm – 500 μm

		Zaobljenost zrna				
		Uglata	Polu-uglata	Polu-zaobljena	Zaobljena	Vrlo dobro zaobljena
Sferičnost zrna	Visokosferično	1	5	11	28	31
	Niskosferično	2	8	7	10	1

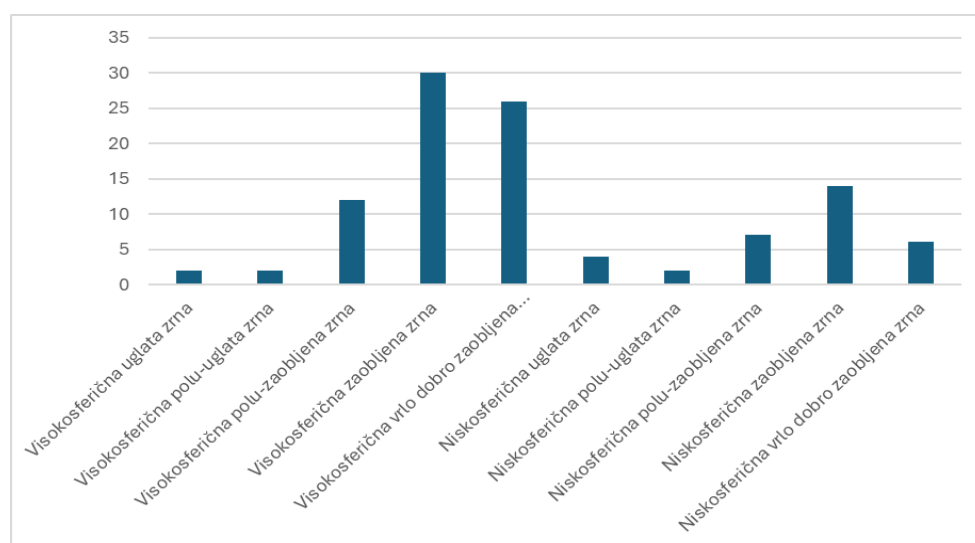


Slika 21. Grafički prikaz sferičnosti i zaobljenosti frakcije 1mm – 500 µm

Nadalje promatrana je frakcija 500 – 250 µm, u kojoj je određeno 105 zrna. U drugoj najvećoj frakciji je također vidljiva dominantna prisutnost zaobljenih do vrlo dobro zaobljenih visoko sferičnih zrna, ali u manjem omjeru nego u najvećoj frakciji (tablica 5, slika 22).

Tablica 5. Prikaz zaobljenosti i sferičnosti zrna frakcije 500 µm – 250 µm

		Zaobljenost zrna				
		Uglata	Polu-uglata	Polu-zaobljena	Zaobljena	Vrlo dobro zaobljena
Sferičnost zrna	Visokosferično	2	2	12	30	26
	Niskosferično	4	2	7	14	6

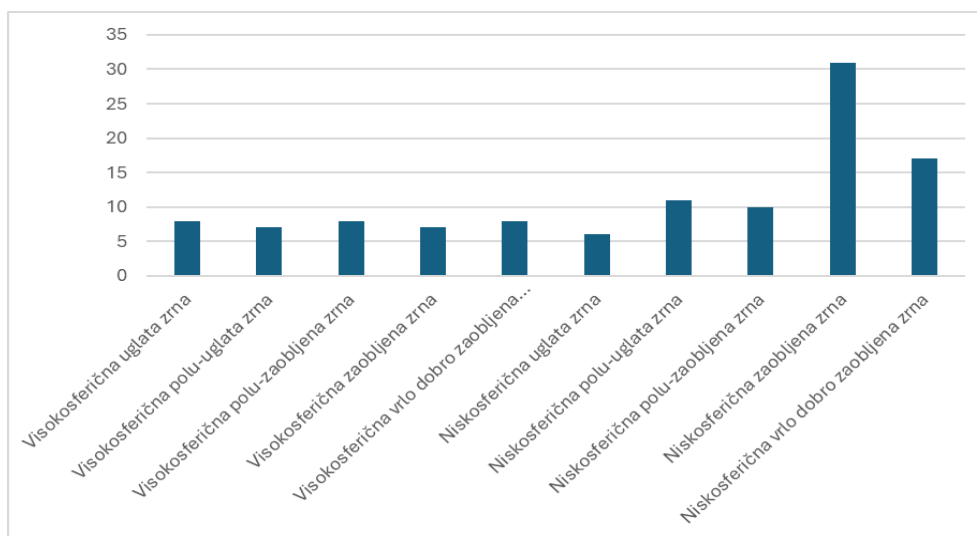


Slika 22. Grafički prikaz sferičnosti i zaobljenosti frakcije 500 – 250 µm

Sljedeća promatrana frakcija je 250 – 125 μm gdje je određeno 113 zrna. Vidljivo je znatno smanjenje visoko sferičnih zrna te prevladavaju zaobljena do vrlo dobro zaobljena nisko sferična zrna (tablica 6 slika 23).

Tablica 6. Prikaz zaobljenosti i sferičnosti zrna frakcije 250 μm – 125 μm

		Zaobljenost zrna				
		Uglata	Polu-uglata	Polu-zaobljena	Zaobljena	Vrlo dobro zaobljena
Sferičnost zrna	Visokosferično	8	7	8	7	8
	Niskosferično	6	11	10	31	17

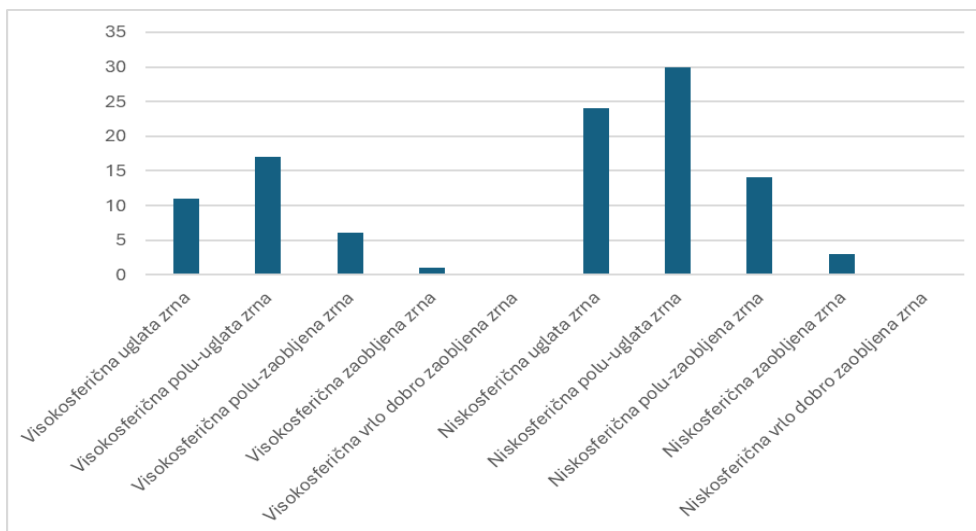


Slika 23. Grafički prikaz sferičnosti i zaobljenosti frakcije 250 – 125 μm

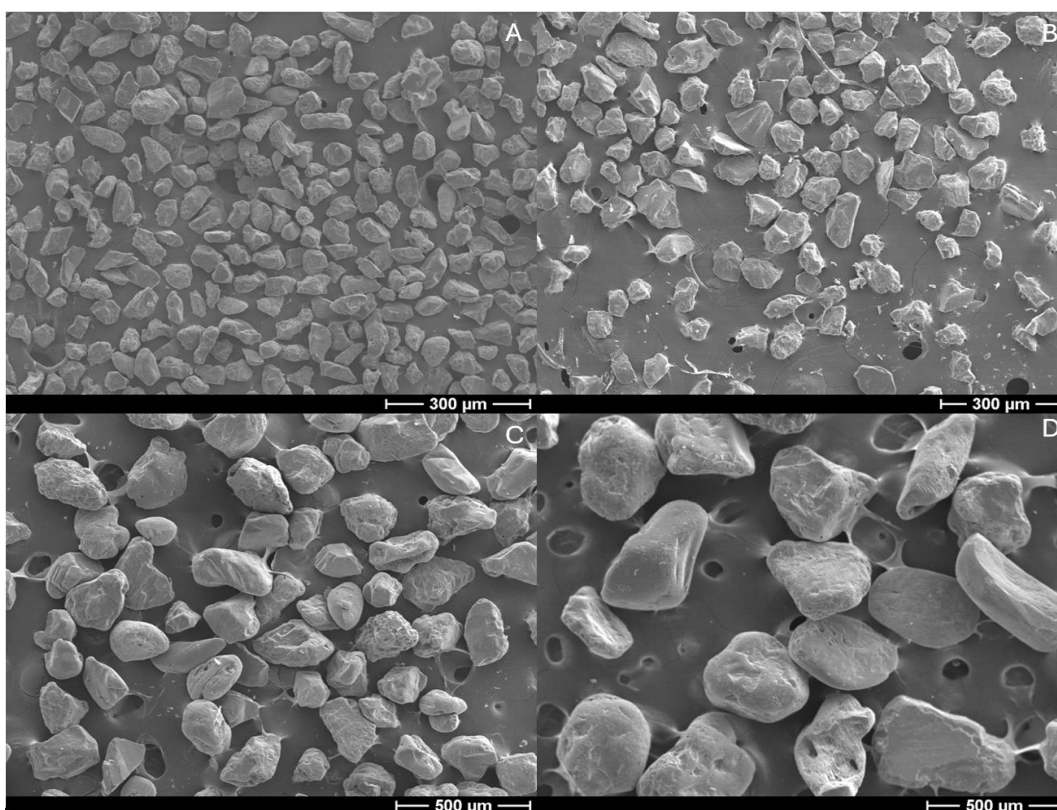
Na kraju je promatrana frakcija 125 – 63 μm u kojoj je određeno 106 zrna. Najmanja frakcija nam pokazuje trend pada zaobljenosti i sferičnosti pa su zrna frakcije pretežito uglata do polu-uglata te nisko sferična (tablica 7, slika 24).

Tablica 7. Prikaz zaobljenosti i sferičnosti zrna frakcije 125 μm – 63 μm

		Zaobljenost zrna				
		Uglata	Polu-uglata	Polu-zaobljena	Zaobljena	Vrlo dobro zaobljena
Sferičnost zrna	Visokosferično	11	17	6	1	0
	Niskosferično	24	30	14	3	0

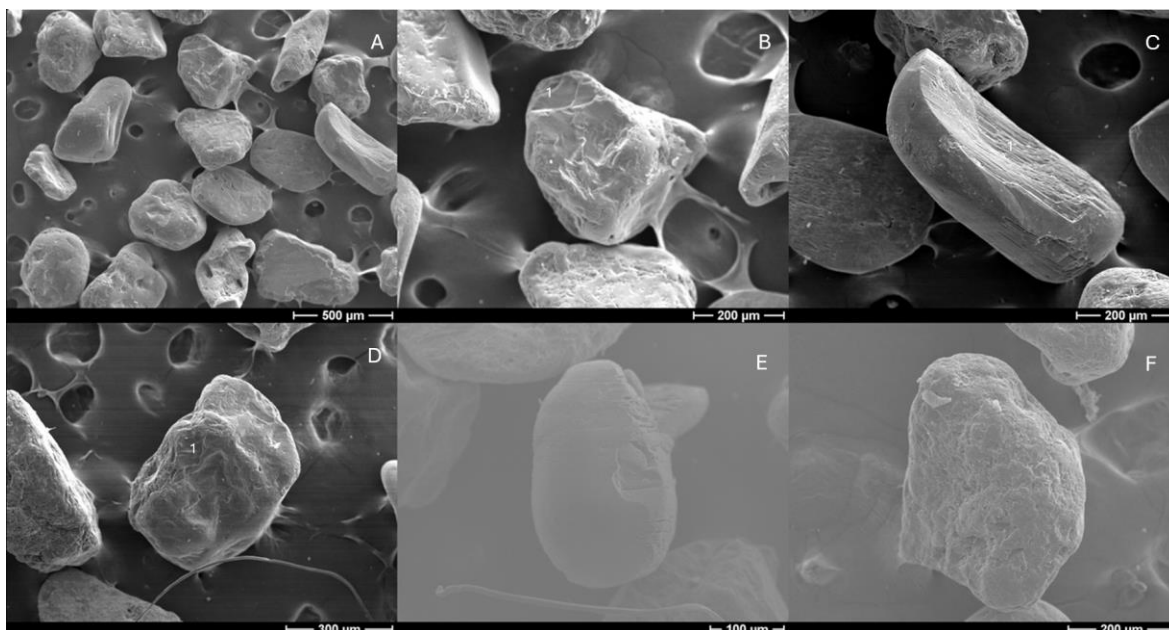
Slika 24. Grafički prikaz sferičnosti i zaobljenosti frakcije 125 – 63 μm

SEM analizom su promatrane četiri frakcije u kojima se fokusiralo na zasebna zrna kremen te su izdvajana sva zrna koja prikazuju određenu morfologiju te oblike pojedinih frakcija (slike 25, 26, 27, 28, 29).

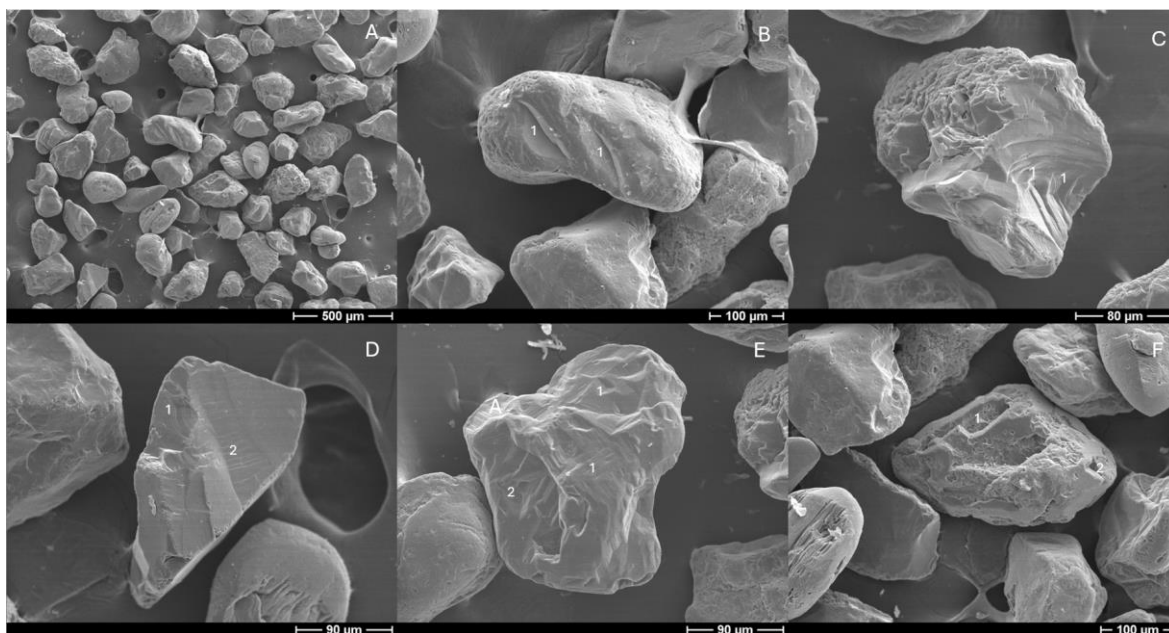


Slika 25. Usporedni prikaz frakcija koji su analizirani skenirajućim elektronskim mikroskopom JEOL JSM-35 CF.

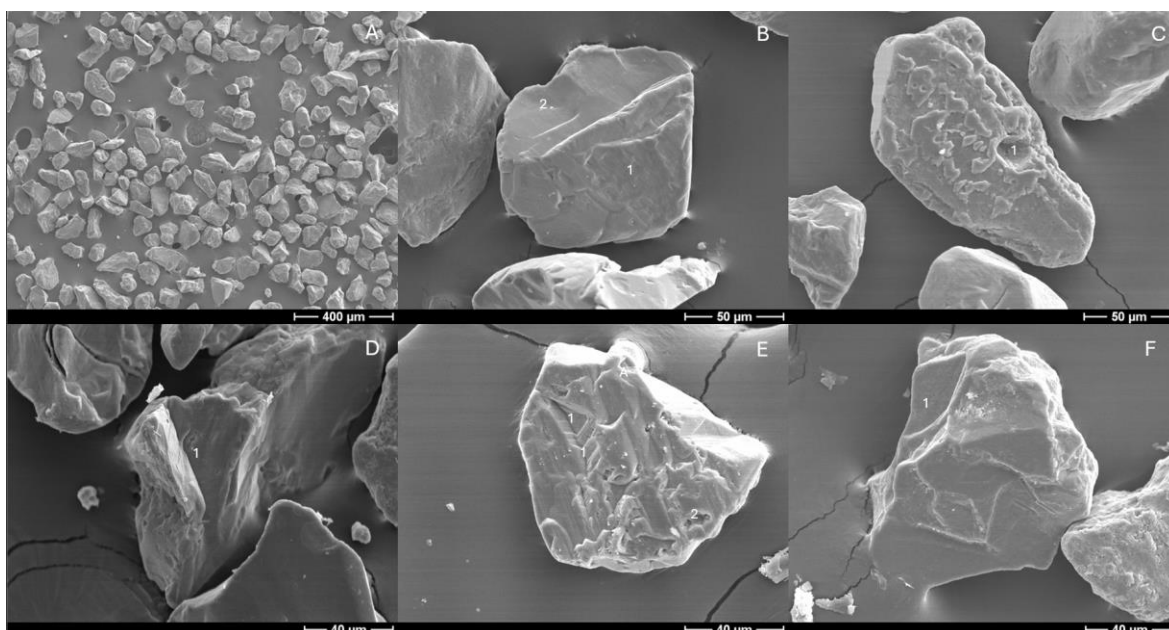
A) najmanja frakcija 125 μm – 63 μm , B) frakcija 25 μm – 125 μm , C) frakcija 500 μm – 125 μm , D) frakcija 1 mm – 500 μm



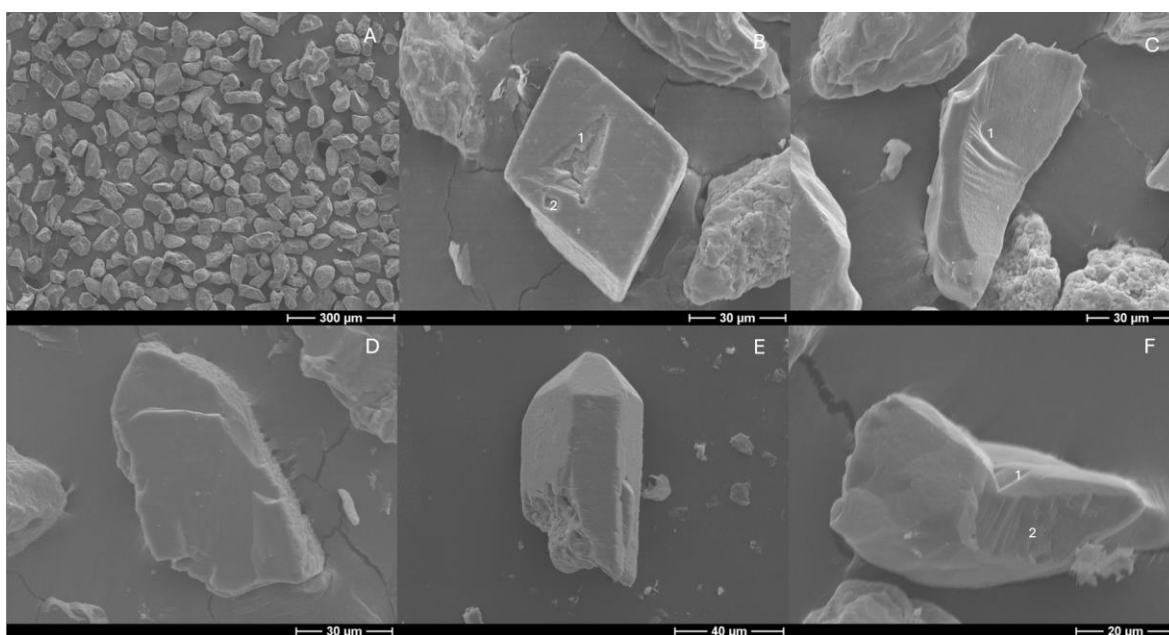
Slika 26. (A) Prikaz 1 mm – 500 µm frakcije. (B) Polu-zaobljeno zrno sa školjkastim lomom (1). (C) Zaobljeno zrno sa tragovima trošenja (D) Zaobljeno zrno sa vidljivim tragovima udarca (1). (E) Zaobljeno zrno, (F) Zrno sa tragovima trošenja.



Slika 27. (A) Prikaz frakcije 500 µm - 125 µm. (B) Zaobljeno zrno sa vidljivim V-oblikom udarca (1). (C) Zrno sa vidljivim V-oblikom udarca (1). (D) Zrno sa školjkastim lomom (1) te linearnim stepeničastim oblicima (2). (E) Zrno sa linearnim stepeničastim oblicima (1) te V- oblikom udarca (2).



Slika 28: (A) Prikaz frakcije 25 µm - 125 µm. (B) Zrno sa slabo izraženim tragovima zaobljavanja. (C) Zrno sa tragovima površinskog trošenja te sa zaobljenim tragom udarca (1). (D) Zrno sa velikim tragom V-oblika udarca (1). (E) Zrno sa V-oblikom udarca (1) te nepravilnim oblikom udarca (2). (F) Zrno sa školjkastim lomom.



Slika 29: (A) Prikaz frakcije 125 µm – 63 µm. (B) Uglato zrno sa vidljivim V- oblikom udarca (1) te udarac kvadratnog oblika (2). (C) Zrno sa vidljivim školjkastim lomom (1). (D) Poluuglato zrno. (E) Zrno u obliku pravilne prizme. (F) Zrno sa vidljivim V-oblikom udarca (1) te školjkastim lomom (2).

4.3. Sastav teške i lake frakcije

Separacijom lake i teške frakcije dobiven je udio frakcija u istraživanom uzorku. Izvagana masa lake frakcije iznosi 4,4461g, dok je masa teške frakcije 0,0916g. Maseni udio svake frakcije izračunan je prema formulama:

$$\omega (\text{laka frakcija}) = m (\text{laka frakcija}) / m (\text{uzorka})$$

$$\omega (\text{teška frakcija}) = m (\text{teška frakcija}) / m (\text{uzorka})$$

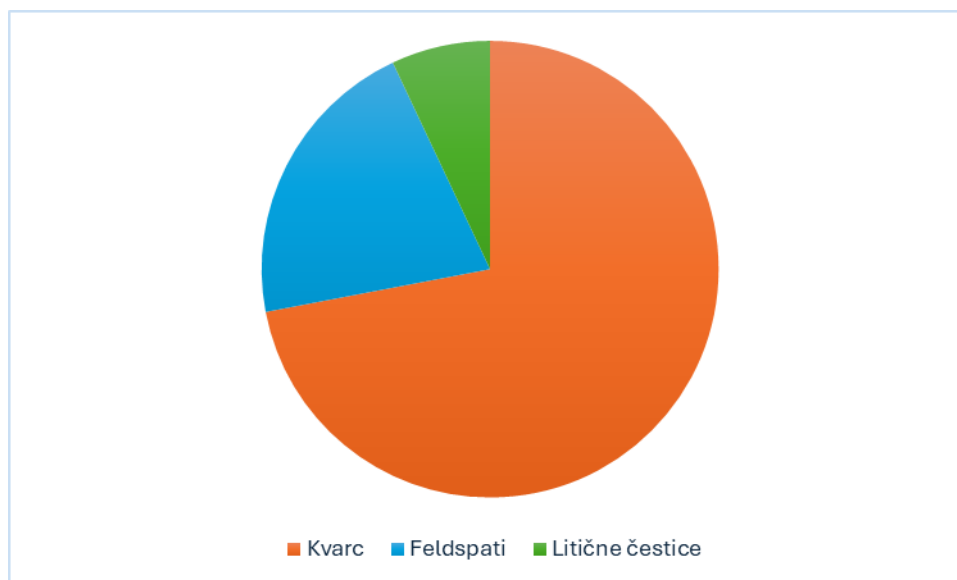
Pri čemu je dobiveni maseni udio lake frakcije 98 %, dok je dobiveni maseni udio teške frakcije 2 %.

4.3.1. Laka mineralna frakcija

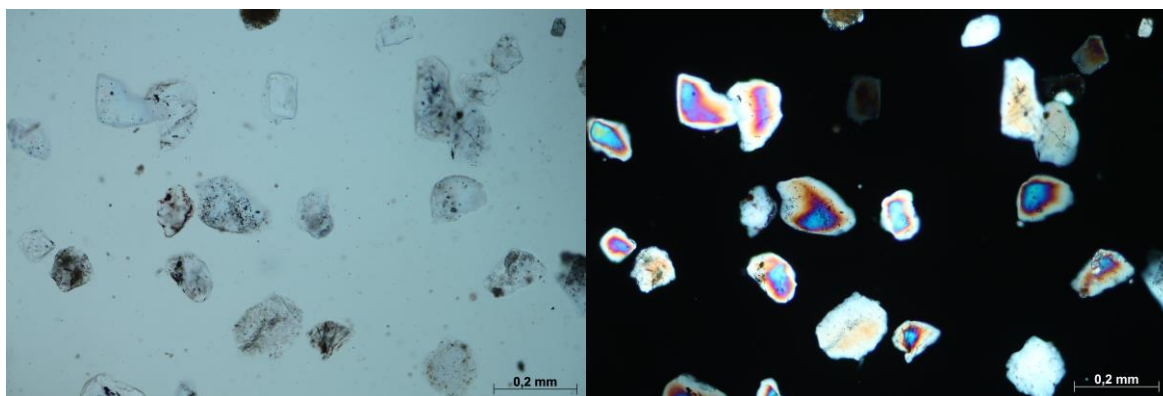
Mikroskopiranjem lake frakcije je uočeno da od 254 ukupno proučavana zrna sastav frakcije čine većinom kremen, uz feldspate te nešto litičnih čestica (tablica 8, slike 30 i 31).

Tablica 8. Sastav lake mineralne frakcije

	Kremen	Feldspati	Litične čestice
Broj proučavanih zrna	183	54	17
Udio čestica	72%	21%	7%

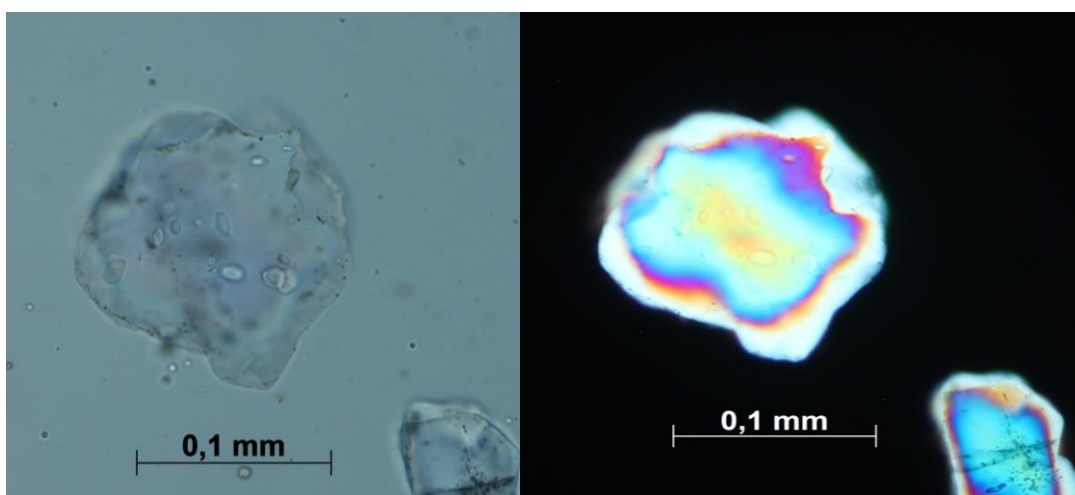


Slika 30. Grafički prikaz mineralnog sastava lake mineralne frakcije



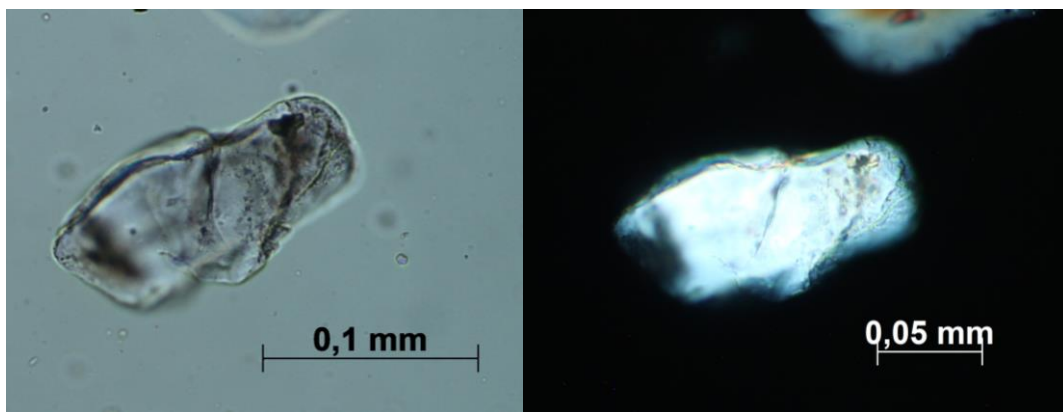
Slika 31. Prikaz lake mineralne frakcije u polarizacijskom mikroskopu bez analizatora (lijevo) i sa uključenim analizatorom (desno)

Kremen se u preparatu prepoznaje po tome što je bez uključenog analizatora prozirno bezbojan, najčešće alotriomorfna zrna bez kalavosti (slika 32). Zrna kremenata se ističu po tome što imaju nizak reljef te su optički pozitivni. S uključenim analizatorom u izbruscima standardne debljine interferira u bijeloj i sivoj boji prvoga reda. Na nekim zrnima koji su veće debljine može doći do pojave interferencijskih boja do žute I. reda (VRKLJAN i sur., 2018).



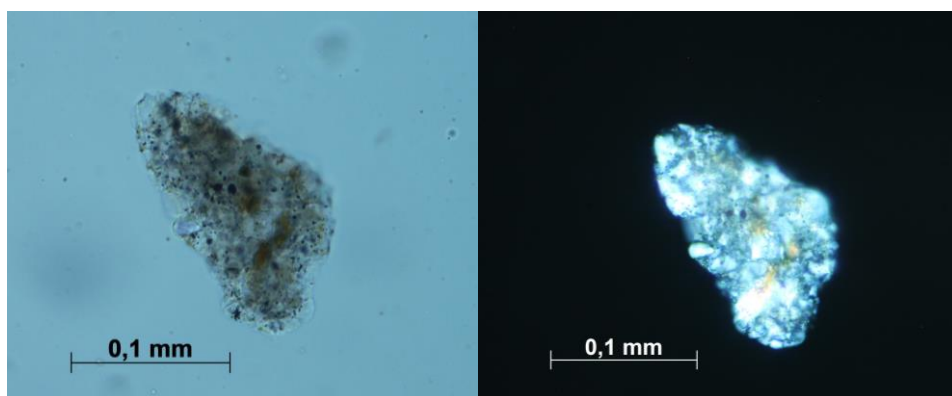
Slika 32: Mineralno zrno kremenata bez uključenog analizatora (lijevo) i sa uključenim analizatorom (desno). Na slici se vidi karakterističan nizak pozitivan reljef te karakterističan kružni raspored interferencijskih boja od sive boje prvoga reda uz rub zrna prema živim bojama drugog reda u sredini zrna.

Nadalje, drugozastupljena su zrna feldspata (slika 33) koja su prepoznatljiva po negativnom reljefu te su bezbojna uz jasno vidljivu kalavost. Uz uključeni analizator su vidljive sive interferencijske boje. (VRKLJAN i sur., 2018)



Slika 33: Mineralno zrno feldspata bez uključenog analizatora (lijevo) i sa uključenim analizatorom (desno).

U preparatu su zastupljene i litične čestice (slika 34) koje predstavljaju zrna odlomljenih stijena za koje ne znamo točnu informaciju o sastavu i porijeklu.



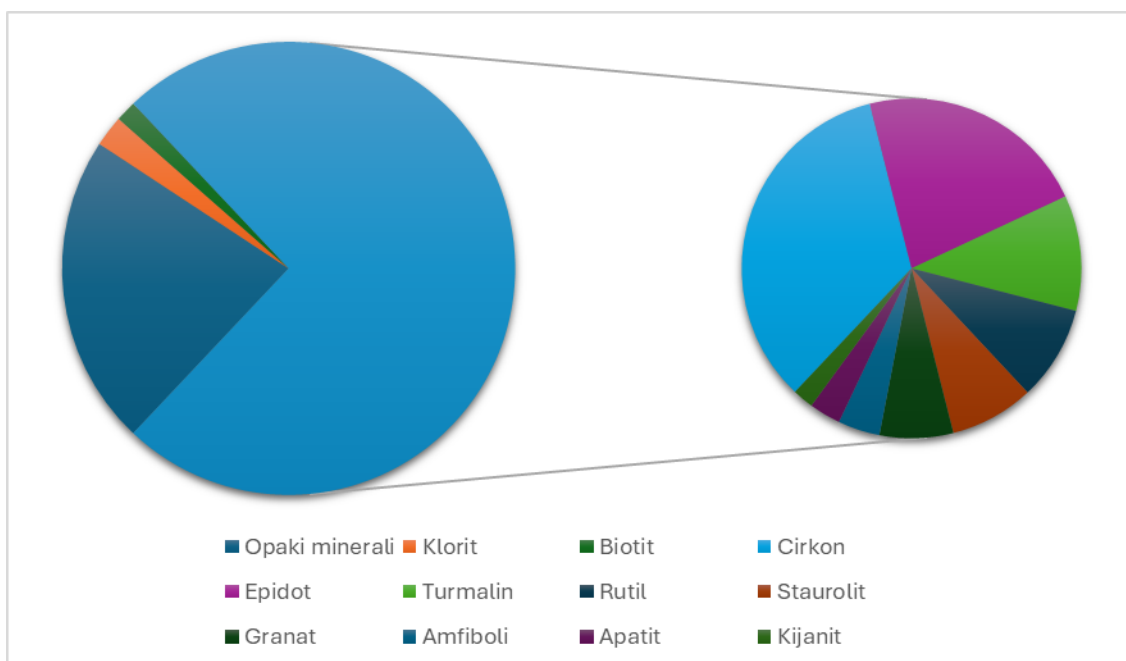
Slika 34: Prikaz litične čestice bez uključenog analizatora (lijevo) i sa uključenim analizatorom (desno)

4.3.2. Teška mineralna frakcija

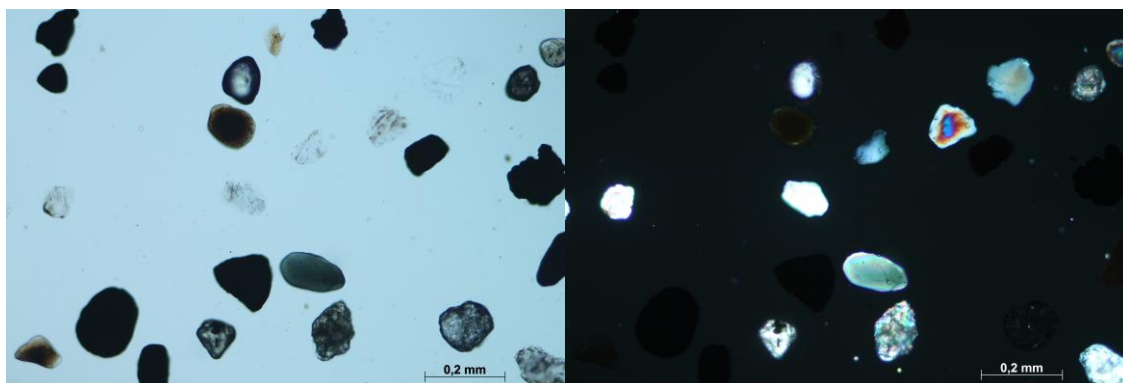
Mikroskopiranjem teške mineralne frakcije određeno je ukupno 279 zrna. U sastav teške mineralne frakcije ulaze opaki minerali, klorit, biotit te teški prozirni minerali. U analiziranom pijesku najzastupljeniji su prozirni teški minerali i opaki minerali, dok je udio klorita i biotita vrlo nizak (tablica 9, slike 35 i 36).

Tablica 9. Sastav teške mineralne frakcije

	Broj zrna	Udio čestica
Opaki minerali	91	30%
Klorit	9	3%
Biotit	6	2%
Teški prozirni minerali	173	62%



Slika 35: Grafički prikaz mineralnog sastava teške mineralne frakcije

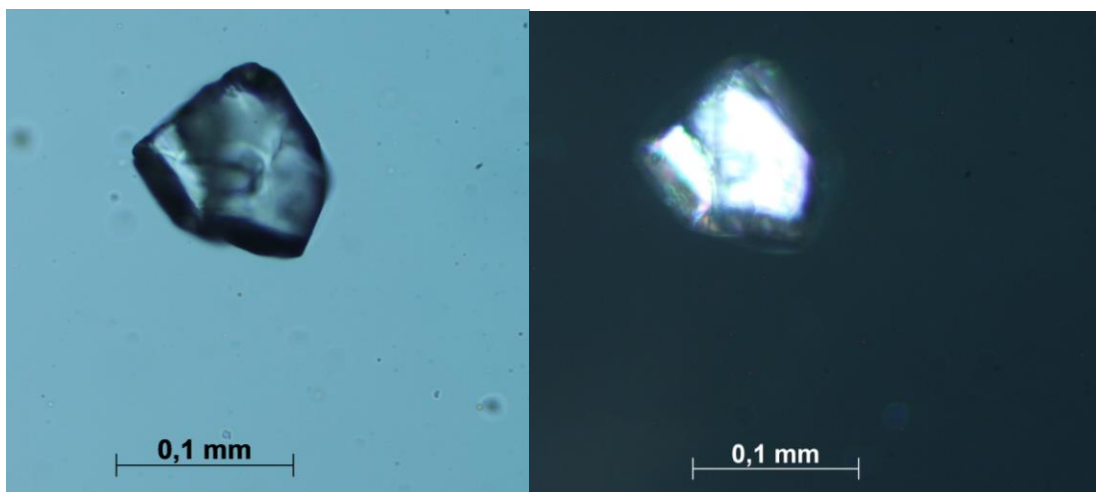


Slika 36: Prikaz teške mineralne frakcije u polarizacijskom mikroskopu bez analizatora (lijevo) i sa uključenim analizatorom (desno).

Najzastupljeniji mineral u zajednici prozirnih teških minerala je cirkon. Cirkon (tablica 10, slika 37) je u polarizacijskom mikroskopu prepoznatljiv po vrlo visokom pozitivnom reljefu te po tome što je bezbojan uz vrlo visoke interferencijske boje. Također zrna cirkona pod upaljenim analizatorom imaju paralelno potamnjenje (VRKLJAN i sur., 2018).

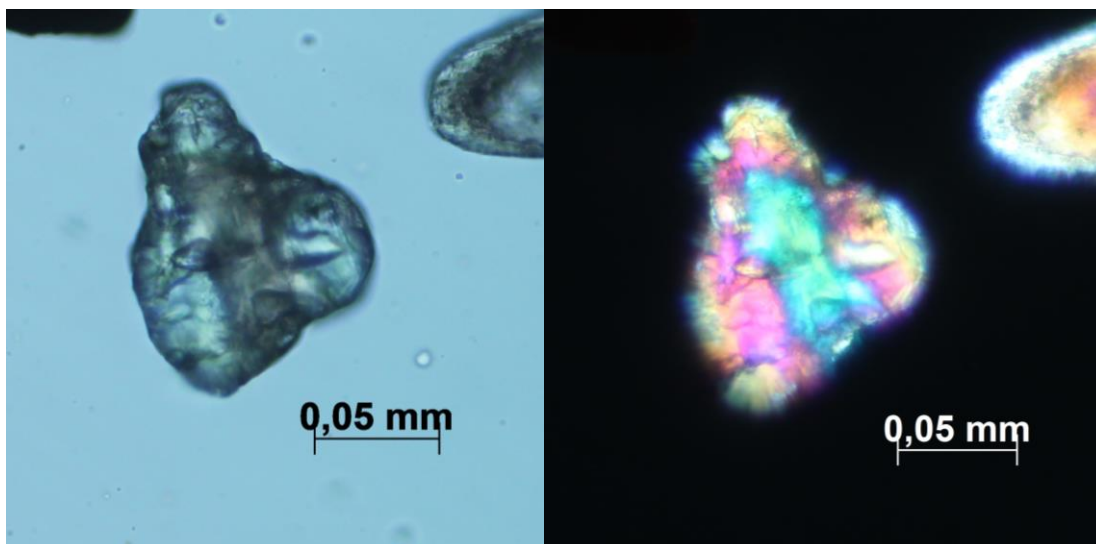
Tablica 10. Podjela teških prozirnih minerala

	Broj zrna	Udio čestica
Cirkon	61	34 %
Epidot	38	22 %
Turmalin	18	11 %
Rutil	15	9 %
Staurolit	14	8 %
Granat	12	7 %
Amfiboli	7	4 %
Apatit	5	3 %
Kijanit	3	2 %



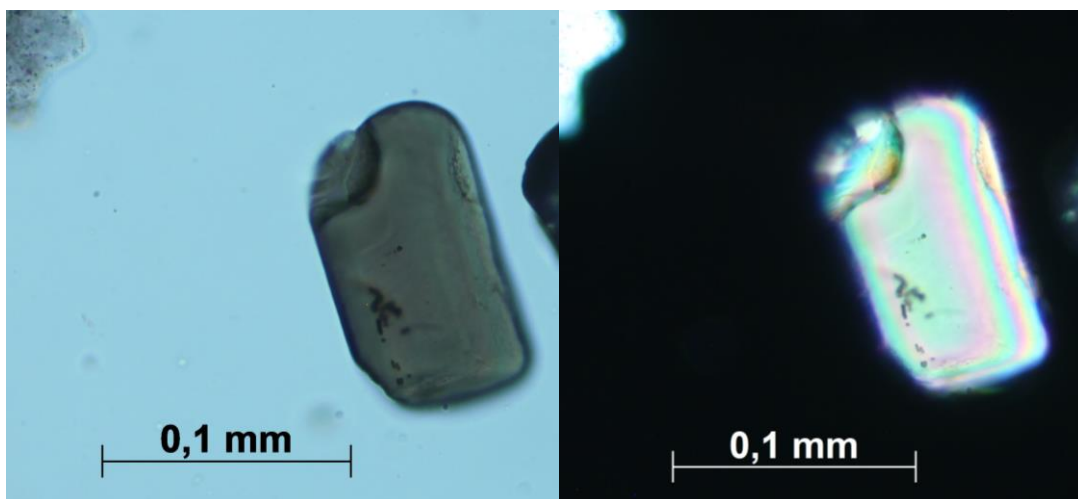
Slika 37: Mineralno zrno cirkona bez analizatora (lijevo) i sa uključenim analizatorom (desno). Na slici se može vidjeti izrazito visok reljef uz visoke interferencijske boje višeg reda.

Drugi po zastupljenosti mineral u zajednici prozirnih teških minerala je epidot (slika 38) koji se javlja najčešće alotriomorfan, reljef mu je visok pozitivan te se uz uključen analizator daju vidjeti žive interferencijske boje III. reda. Kod nekih mineralnih zrna je također moguća pojava slabog pleokroizma (VRKLJAN i sur., 2018).



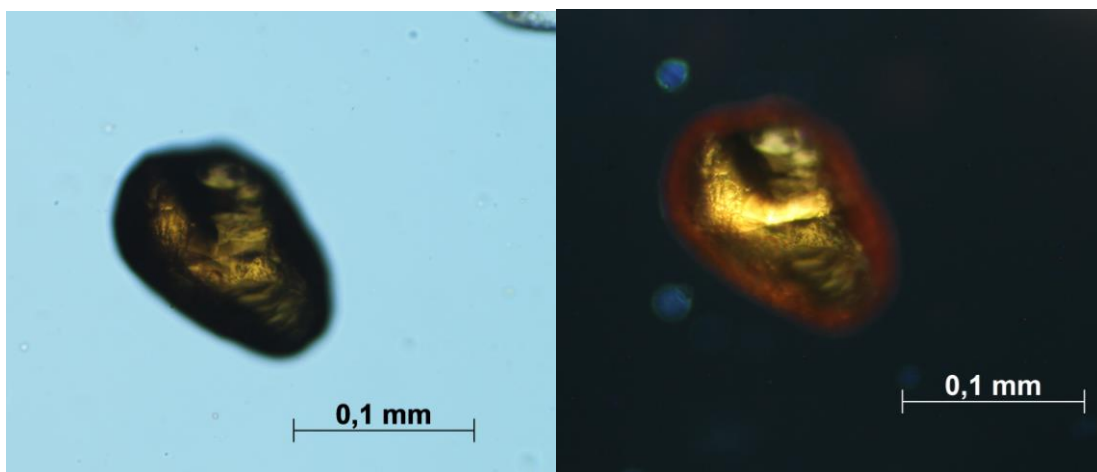
Slika 38. Mineralno zrno epidota bez analizatora (lijevo) i sa uključenim analizatorom (desno). Na slici se može vidjeti izrazito visok reljef te prisutnost vlastite boje, uz to su vidljive i žive interferencijske boje.

Nadalje, u preparatu se mogu pronaći i mineralna zrna turmalina (slika 39). Turmalin se pojavljuje dugoprizmatskog habitusa te ima umjeren do visok pozitivan reljef. Zrna turmalina u preparatu pokazuju jak pleokroizam te sa upaljenim analizatorom se može vidjeti paralelno potamnjenje dok su interferencijske boje do narančasto crvene II. reda, ali su često prekrivene vlastitom bojom, pogotovo ukoliko se radi o debljim zrnima (VRKLJAN i sur., 2018).



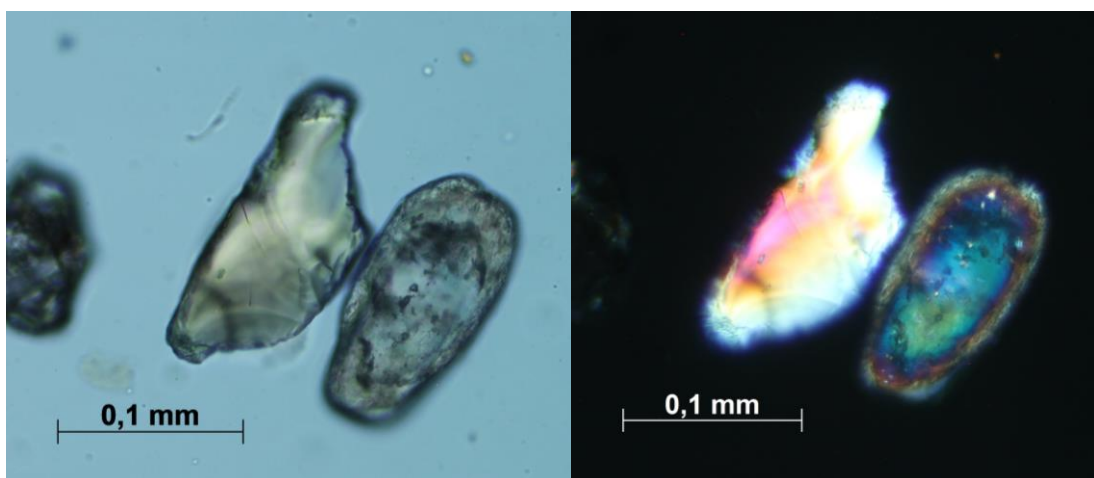
Slika 39. Mineralno zrno turmalina bez analizatora (lijevo) i sa uključenim analizatorom (desno). Vidljiv pravilan habitus uz visok reljef te izrazitu vlastitu boju, uz uključen analizator su vidljive interferencijske boje II. reda.

Značajan udio mineralnih zrna odlazi i na mineralna zrna rutila. Rutil (slika 40) bez analizatora prepoznaje se po crveno smeđoj boji te vrlo visokom pozitivnom reljefu. Također je kod mineralnih zrna rutila mogući slab pleokroizam, dok je interferencijska boja bijela vrlo visokog reda koja je najčešće prekrivena zbog vlastite boje. Zrna rutila sa uključenim analizatorom potamne paralelno (VRKLJAN i sur., 2018).



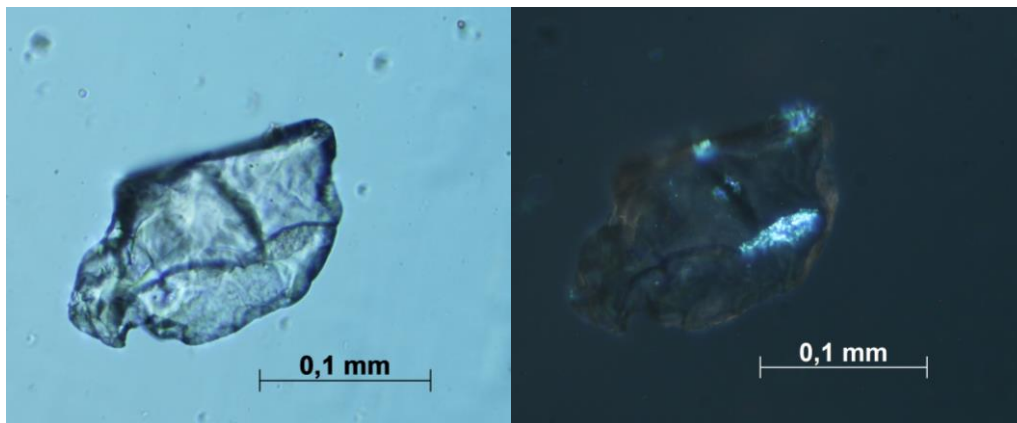
Slika 40. Mineralno zrno rutila bez analizatora (lijevo) i sa uključenim analizatorom (desno). Na slici je vidljiva vlastita boja te vrlo visok reljef.

Staurolit (slika 41) je mineral stupčastog habitusa sa visokim pozitivnim reljefom te je vidljiva žućkasta do smeđa vlastita boja. Uz uključen analizator moguće je vidjeti interferencijske boje do narančasto crvene I. reda ukoliko nisu prekrivene vlastitom bojom (VRKLJAN i sur., 2018).



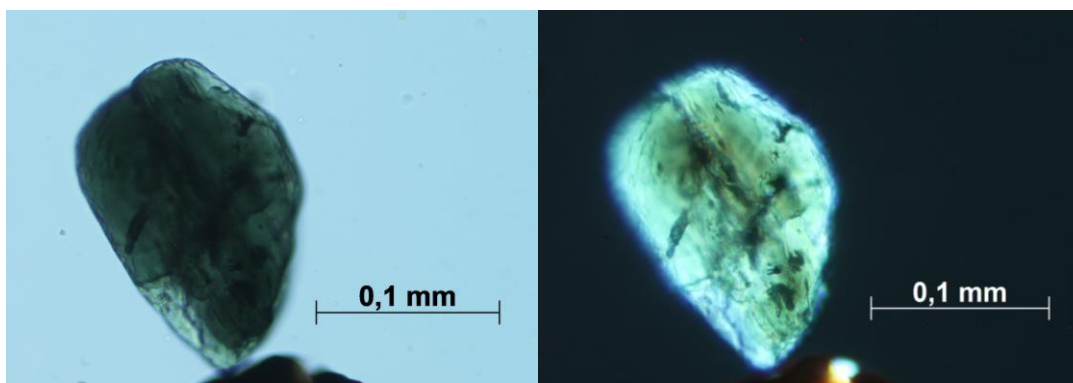
Slika 41. Mineralno zrno staurolita bez analizatora (lijevo) i sa uključenim analizatorom (desno). Na slici je vidljiva žuta vlastita boja te niske interferencijske boje uz uključen analizator.

Mineralna zrna granata (slika 42) su izotropna, alotriomorfna zrna koja bez uključenog analizatora mogu biti bezbojna, ali također mogu i imati razne vlastite boje (najčešće zelenkaste ili ružičaste) te imaju visok do vrlo visokom pozitivan reljef. Uz uključen analizator su uvijek tamni (VRKLJAN i sur., 2018).



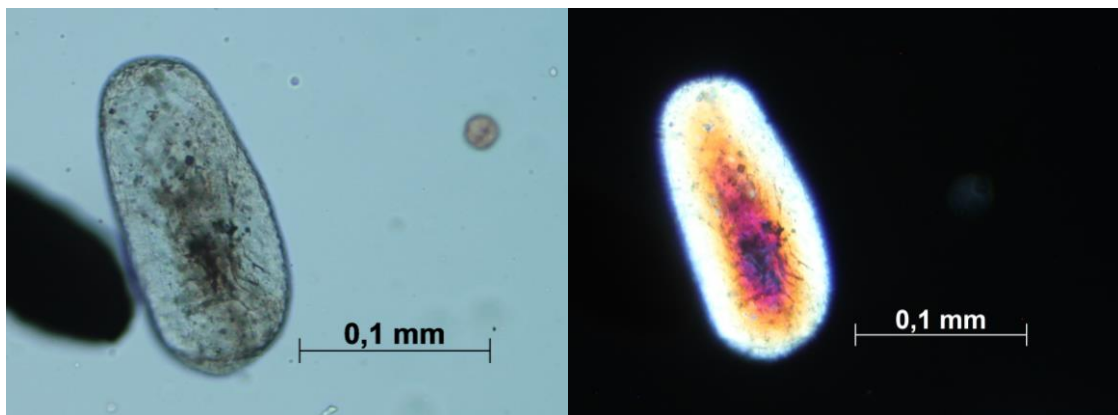
Slika 42: Mineralno zrno granata bez analizatora (lijevo) i sa uključenim analizatorom (desno). Na slici je vidljiv visok reljef te potamnjenje izotropnog granita.

Amfiboli (slika 43) u preparatu imaju zelenu vlastitu boja uz jako izražen pleokroizam te se uz uključen analizator može uočiti koso potamnjenje, dok su interferencijske boje prekrivene vlastitom bojom (VRKLJAN i sur., 2018).



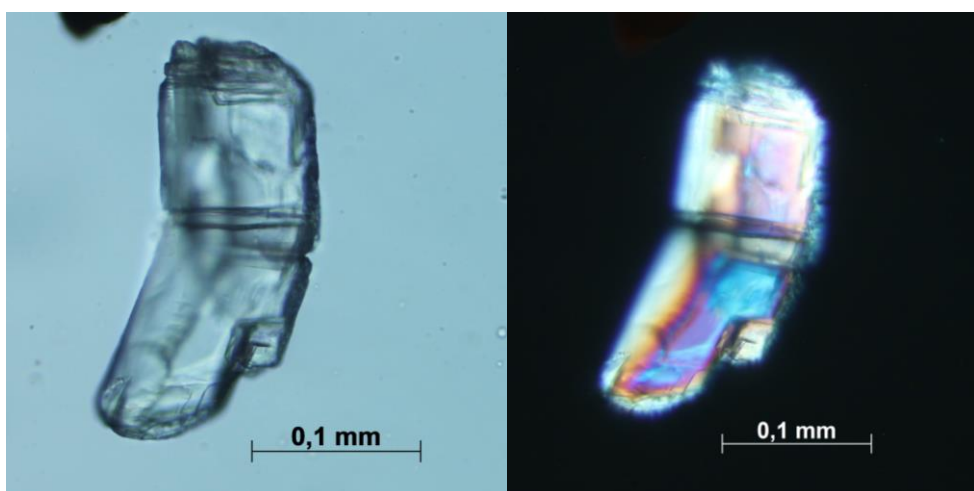
Slika 43: Mineralno zrno amfibola bez analizatora (lijevo) i sa uključenim analizatorom (desno). Na slici vidljiva zelena vlastita boja te prekrivanje interferencijskih boja vlastitom uz uključen analizator.

Mineralna zrna apatita (slika 44) su izduženog habitusa uz umjeren do visok reljef, najčešće bezbojni, a ukoliko imaju vlastitu boju moguć je i slab pleokroizam. Uz uključen analizador na tanjim preparatima su vidljive interferencijske boje do sive I. reda. Potamnjenje apatita je paralelno (VRKLJAN i sur., 2018).



Slika 44. Mineralno zrno apatita bez analizatora (lijevo) i sa uključenim analizatorom (desno). Na slici vidljiv bezbojan mineral apatita uz visok reljef te zonalan raspored interferencijskih boja.

Najmanji od minerala iz zajednice prozirnih teških minerala ima kijanit. Kijanit (slika 45) ima izduženi habitus te bez uključenog analizatora pokazuje pleokroizam bezbojno – plavo; reljef kijanita je visok pozitivan, nadalje na zrnima kijanita se mogu uočiti dva sustava kalavosti, savršena po $\{100\}$ te izražena po $\{010\}$. Uz uključeni analizador je vidljivo koso potamnjenje te interferencijske boje do crvene I. reda (VRKLJAN i sur., 2018).



Slika 45: Mineralno zrno kijanita bez analizatora (lijevo) i sa uključenim analizatorom (desno). Na slici vidljiv mineral visokog reljefa uz jake interferencijske boje uz uključen analizador.

5. Rasprava i zaključak

Rezultati analize granulometrijskog sastava uzoraka prikupljenih iz Sahare, točnije s lokaliteta Mos Espa, Tunis pokazali su da se u prikupljenom uzorku velikim udjelom nalazi pijesak uz nešto malo praha. Sortiranost čestica u uzorcima je srednja. Srednja veličina čestica u uzorku iznosi 0,195 mm te je određen kao sitnozrnati pijesak. Obzirom na dobivene rezultate može se reći da se radi o strukturno zrelim sedimentima.

Sortiranost i zaobljenost proučavana u različitim frakcijama pokazuje da se povećanjem frakcije povećava sferičnost i zaobljenost pojedinih mineralnih zrna kremenata što također ukazuje na to da se radi o zrelim sedimentima.

Nadalje, mikroskopiranjem lake i teške frakcije je utvrđeno kako je sastav lake frakcije dominatano kremen (72 %), uz nešto feldspata (21 %) te litičnih čestica čiji udio iznosi 7 %. Sastav teške frakcije bio je znatno raznovrsniji. Uz značajan postotak opakih minerala uočeni su i mnogi teški prozirni minerali kao što su cirkon, epidot, turmalin i rutil u najvećem postotku. Točnije mikroskopiranjem se utvrdilo da je udio opakih minerala 30 %, klorita 3 %, biotita 2 % te udio teških prozirnih minerala iznosi 62 %. U sastav teških prozirnih minerala ulaze cirkon sa najvećim udjelom koji iznosi 34 %, drugozastupljeni mineral je epidot te njegov udio iznosi 22 %, nadalje je prisutan turmalin 11 %, rutil 9 %, staurolit 8 %, granati 7 %, amfiboli 4 % te sa najmanjim udjelom apatit 3 % te kijanit 2 %.

Dobiveni rezultati analiza ukazuju na to da je sediment prikupljen iz Sahare, točnije s lokaliteta Mos Espa u Tunisu uslijed dugog transporta te vruće klime postao strukturno i mineraloški zreo.

6. Literatura

COOK, K.H., VIZY, E.K. (2015): Detection and Analysis of an Amplified Warming of the Sahara Desert. *Journal of Climate*, 6560–6580.

Encyclopædia Britannica, Inc. (2024): Sahara. *Encyclopædia Britannica*.

HOUGHTON, R. W. (2005): *The Sahara Desert: A Geographical Review*. Routledge.

LE HOUÉROU, H. N. (1993): *The Desertification of North Africa*. Routledge.

MANGE, MAURER (1992): *Heavy minerals in colour*. London: Chapman and Hall.

National Geographic Society. (2024). Chott el Jerid: Tunisia's Largest Salt Flat. *National Geographic*.

National Geographic Society (2024). Sahara Desert: Facts & Information. *National Geographic*.

TCHAKERIAN, V. P. (2008): *Desert Landscapes: The Sahara and other African Deserts*. Springer.

VRKLJAN M., BOROJEVIĆ ŠOŠTARIĆ S., TOMAŠIĆ N. (2018): *Optička mineralogija* (2. izdanje), Zagreb: Školska knjiga.

<https://www.enciklopedija.hr/clanak/sahara> (21.07.2024)

<https://www.britannica.com/place/Sahara-desert-Africa> (21.07.2024)

<https://earth.google.com/web> (20.06.2024)

<https://www.tunisiatv.com/the-grand-erg-oriental-in-tunisia/> (20.06.2024)

<https://carthagemagazine.com/chott-el-jerid-tunisia/> (20.06.2024)

<https://www.marhba.com/tourisme/destination-dahar> (20.06.2024)

<https://en.wikivoyage.org/wiki/Nefta> (20.06.2024)