

# Teksturna anizotropija i petrografske karakteristike serpentinita iz Ljeskovca (Banovina)

---

**Ljevar, Brigita**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:787801>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-11**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Prije diplomski studij geološkog inženjerstva

**TEKSTURNA ANIZOTROPIJA I PETROGRAFSKE  
KARAKTERISTIKE SERPENTINITA IZ LJESKOVCA  
(BANOVINA)**

ZAVRŠNI RAD

Brigita Ljevar

G2213

Zagreb, 2024.

KLASA: 602-01/24-01/107  
URBROJ: 251-70-14-24-1  
U Zagrebu, 24.09.2024.

**Brigita Ljevar, studentica**

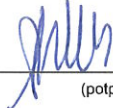
## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/24-01/107, URBROJ: 251-70-14-24-1 od 25.06.2024. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### TEKSTURNA ANIZOTROPIJA I PETROGRAFSKE KARAKTERISTIKE SERPENTINITA IZ LJESKOVCA (BANOVINA)

Za mentoricu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Izv.prof.dr.sc. Ana Maričić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentora Dr.sc. Šime Bilić.

Mentorica:




(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Ana Maričić

(titula, ime i prezime)

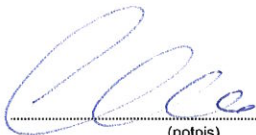
Predsjednica povjerenstva za završne i diplomске ispite:



(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Ana Maričić

(titula, ime i prezime)

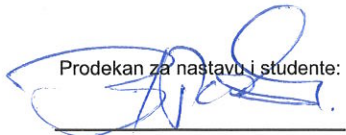


(potpis)

Dr.sc. Šime Bilić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:



(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje Pašić

(titula, ime i prezime)

**TEKSTURNA ANIZOTROPIJA I PETROGRAFSKE KARAKTERISTIKE SERPENTINITA IZ  
LJESKOVCA (BANOVINA)**

Brigita Ljevar

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

Sažetak

Cilj ovog rada bio je odrediti petrografske karakteristike i teksturnu anizotropiju serpentinita s područja Banovine, u napuštenom kamenolomu Ljeskovac. Na temelju mikroskopiranja, makrofotografija i metode točkanja uzoraka odredili smo teksturnu anizotropiju serpentinita. Uzorke smo podjelili u dvije grupe: Serpentinite i serpentinitne breče. Metodom točkanja smo došli do zaključka kako serpentinitne breče pokazuju viši stupanj teksturne anizotropije od serpentinita. Izračunali smo srednje vrijednosti praznih pukotina, zelenih pukotina, bijelih pukotina i matriksa u uzorcima jer to sve utječe na stupanj teksturne anizotropije. Srednja vrijednost za serpentinite je ispala 2,8%, a za serpentinitne breče 9,7%. Serpentinistke breče pokazuju veći stupanj teksturne anizotropije.

Ključne riječi: petrografske karakteristike, serpentinit, teksturna anizotropija, Ljeskovac, Banovina

Završni rad sadrži: 36 stranice, 2 tablica, 22 slika, 2 priloga, i 12 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: izv. prof. dr. sc. Ana Maričić

Komentor: dr. sc. Šime Bilić

Ocjenjivači: izv. prof. dr. sc. Ana Maričić  
*naslovna* izv. prof. dr. sc. Marija Horvat  
izv. prof. dr. sc. Zlatko Briševac

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. SERPENTINITI KAO PRIRODNI ILI ARHITEKTONSKO GRAĐEVNI KAMEN.....	2
2.1. Mineralni sastav i nastanak serpentinita.....	2
2.2. Upotreba serpentinita.....	2
3.OSNOVNE GEOGRAFSKE I GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE PODRUČJA UZROKOVANJA.....	5
4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA.....	8
4.1. MAKROSKOPSKI I MIKROSKOPSKI OPIS 12 UZORAKA .....	8
4.2. Fotografiranje uzoraka da se dobije razvijeni plašt.....	8
4.3. Metoda točkastog brojenja .....	9
5. REZULTATI.....	11
5.1 Mineraloški sastav uzoraka.....	11
5.2.1 Serpentiniti.....	13
5.2.1.Serpentinitiska breča.....	21
5.3. Razvijeni plašt i točkanje uzoraka.....	25
6. RASPRAVA I ZAKLJUČAK.....	27

## POPIS SLIKA

Slika 1. College Hall na Sveučilištu Pennsylvania, SAD.....	3
Slika 2. Fotografija spomen ploče od serpentinita u Arkadama na Mirogoju, Foto: Ljevar .	4
Slika 3. Arkade napravljene od serpentinita, Foto: Ljevar .....	5
Slika 4. Prikaz lokaliteta s kojeg smo prikupili uzorke serpentinita i serpentinitičkih breča. Slika prikazuje napušteni kamenolom Ljeskovac.....	6
Slika 5. Geografska karta Hrvatske s naznačenim područjem Ljeskovca gdje su uzrokovani serpentinitički.....	6
Slika 6. Geološka karta Banovine .....	7
Slika 7. Razvijeni plašt uzoraka serpentinita ljes-2. Vidljivo je da je oštećenje vrhova i rubova kocke. Na fotografiji se nalazi uzorak serpentinitičke breče.....	9
Slika 8. Prikaz metode točkastog brojenja.....	10
Slika 9. Makroskopski uzorak ljes-1, vrlo izražene pukotine.....	13
Slika 10 Prikaz "mesh" teksture u uzorku. Strijelica pokazuje "mesh" teksturu. Slika snimljena pod analizatorom.....	14
Slika 11.Prikaz "mesh" teksture i karbonatne žile.....	15
Slika 12."Mesh" tekstura i magnezit.....	16
Slika 13.U uzorku se uočava Bastit.....	17
Slika14. Uzorku broj ljes-4 se uočavaju spineli.....	18
Slika15.Smečkasti spinel.....	18
Slika 16.Žive interferencijske boje piroksena.....	19
Slika 17.Brucitne žilice i "mesh" tekstura .....	20
Slika 18. Prikaz serpentinitičke breče .....	21
Slika 19. Karbonatni matriks .....	22
Slika 20. Mikrofotografija breče.....	23
Slika 21. Mikrofotografija breče bez uključenog analizatora.....	23
Slika22.U uzorku se uočavaju plavkasti klorit, karbonatna žila i "mesh" tekstura.....	24

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Prikaz mineralnog sastava serpentinita i serpentinitne breče.....	27
Tablica 2. Prikaz serpentinitnog sastava u istraživanim uzorcima .....	26

## **POPIS PRILOGA**

Prilog 1. Karta Geografska karta Hrvatske s označenim područjem Ljeskovca gdje su uzrokovani serpentiniti.....	7
Prilog 2. Karta Geološka karta Banovine.....	8



## 1. UVOD

Teksturna anizotropija je važan faktor u razumijevanju mehaničkog ponašanja serpentinita u geološkim uvjetima, kao i u njegovoj reaktivnosti tijekom procesa poput serpentinizacije, gdje olivin i drugi minerali prelaze u serpentin. Teksturna anizotropija poput škriljavosti, foliacije, lineacije može uzrokovati da su fizičko-mehanička svojstva stijene različita u različitim smjerovima (Crnković i Šarić, 2003). Teksturna anizotropija može biti posljedica specifične orijentacije mineralnih zrna i struktura unutar serpentinita zbog paralelnog usmjeravanja vlaknastih ili lamelarnih minerala serpentinita, kao što su lizardit, krizotil i antigorit. Osim mineralnog sastava, teksturna anizotropija može potjecati od različitih tipova deformacija kao što su prazne ili ispunjene pukotine. Takve heterogenosti najčešće utječu na druga svojstva kamena poput prostorne mase, postojanost i dr., stoga je važno odrediti teksturnu anizotropiju kako bi se kamen mogao prilikom upotrebe pravilno orijentirati (Tomašić i Fistrić, 1998).

Cilj ovog rada je određivanje petrografskih svojstava serpentinita s naglaskom na određivanje teksturne anizotropije uzoraka. Predmet istraživanja su uzorci iz okolice Ljeskovca s područja Banovine. Uzorci serpentinita proučavani su makroskopski, mikroskopski te je metodom točkastog brojanja određen udio strukturnih elemenata (minerala i pukotina) u uzorcima. Rezultati će dati prve podatke o teksturnoj anizotropiji serpentinita u Hrvatskoj.

## **2. SERPENTINITI KAO PRIRODNI ILI ARHITEKTONSKO GRAĐEVNI KAMEN**

### **2.1 MINERALNI SASTAV I NASTANAK SERPENTINITA**

Serpentinit je stijena koja se najvećim dijelom sastoji od serpentinske skupine minerala koji su nastali serpentinizacijom primarnih feromagnezijskih minerala olivina i piroksena. Serpentinizacija stijena plašta obično se odvija u tri različita okoliša: (1) u samom plaštu, (2) u oceanskim ofiolitnim kompleksima gdje serpentinizacija može biti povezana s oceanskim metamorfizmom, (3) u kori tijekom formiranja orogenetskih pojaseva. Tri uobičajena minerala serpentina su lizardit, krizotil i antigorit. Kao sporedni minerali mogu biti prisutni klorit i talk (Evans i dr., 2013). Nastaju hidratacijom ultramafitnih stijena bogatih olivinom na relativno niskim temperaturama (Evans i dr., 2013). Tipična mineralna parageneza serpentina rezultira tamnozelenom do crnom bojom stijene koja dodatno može biti „prošarana“ žilama različito obojenih minerala. Obično serpentinit sadrži velike količine magnetita koji dodatno utječe na tamnu boju stijene. Serpentinite stijene imaju vrlo zanimljivu „mesh“ teksturu po kojoj i jesu prepoznatljiviji. „Mesh“ tekstura tvori tamnozelenu matricu, s promjenjivim oblicima, dimenzijama i unutarnjim konfiguracijama (Viti i Mellini, 1998). „Mesh“ tekstura je u obliku ćelija, pravilnih oblika kao romboedrići. Ćelije su veličine do 1mm, ovisno o učestalosti loma u peridotitu. Imaju evidentno zoniranje, s vanjskim rubom i središnja jezgra (Viti i Mellini, 1998). Osim „mesh“ teksture u serpentinima se pojavljuje i bastit. Bastit je pseudomorfoza piroksena koji je nastao hidratacijom lamela piroksena (Viti i Mellini, 1998). Bastiti po sastavu su bogatiji aluminijem i kromom od „mesh“ teksture (Viti i Mellini, 1998). Bastiti imaju različite oblike, više ili manje euhedralne koji zavise od deformacije, dimenzije koje zavise od primarnog piroksena, i optičke karakteristike koje zavise o veličini kristala (Viti i Mellini, 1998).

### **2.2 UPOTREBA SERPENTINITA**

Arhitektonsko-građevni kamen ili ukrasni prirodni kamen rabi se kao blokovski i pločasti za unutarnja i vanjska vertikalna i horizontalna oblaganja građevinskih objekata, ponajprije u dekorativne svrhe. Dostiže i do nekoliko desetaka puta veću tržišnu cijenu u odnosu na ostale vrste kamena (King, 2005). Serpentiniti s većim udjelom kalcita, brečastim izgledom, kroz povijest su korišteni kao ukrasno kamenje zbog svojih svojstava sličnih mramoru. Serpentinit zbog svoje estetske privlačnosti i jedinstvene teksture koristi se kao

arhitektonsko građevni kamen uglavnom kao ukrasni kamen ili za izradu ukrasnih predmeta, dekorativnih elemenata kao što su skulpture, mozaici, radne ploče i ukrasni detalji. Zbog svojih dekorativnih svojstava, serpentiniti se često koriste za oblaganja fasada i unutarnjih zidova u zgradama. Njihova upotreba može unijeti osjećaj prirodnosti i elegancije u arhitektonski dizajn. Serpentinit je popularan kao podna obloga, posebno u luksuznim prostorima gdje se cijeni njegova boja i sjaj (King, 2005). College Hall na Sveučilištu Pennsylvania, SAD, izgrađen je od serpentinita (slika 1).

Iako nisu toliko popularni ili poznati kao mramor ili granit, serpentiniti imaju niz osobina koje ih čine poželjnim u određenim uređenjima. Serpentinit se može polirati do visokog sjaja, što dodatno ističe njegovu boju i teksturu. Polirane ploče serpentina često se koriste za oblaganje zidova, podova, stubišta i kamina. Serpentiniti su relativno tvrdi, iako nisu toliko čvrsti kao granit. Ovo ih čini prikladnim za unutarnje oblaganje, kao i za vanjske primjene u uvjetima koji nisu previše zahtjevni. Serpentiniti pokazuju dobru otpornost na vremenske uvjete, ali mogu biti podložni vremenskim utjecajima na duži rok, posebno ako su izloženi kiselim kišama ili zagađenju.



Slika 1. College Hall na Sveučilištu Pennsylvania, SAD ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:College\\_Hall\\_U\\_Penn.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:College_Hall_U_Penn.JPG))

Serpentiniti su često dostupni u mnogim dijelovima svijeta, što smanjuje potrebu za transportom i time doprinosi smanjenju ugljičnog otiska kod građevinskih projekata. Kao prirodni kamen, serpentinit je ekološki prihvatljiv materijal koji ne zahtjeva kompleksnu obradu, čime se smanjuje energija potrebna za njegovu pripremu (King, 2005). Serpentinit može biti osjetljiv na određene kemikalije, posebno kiseline, koje mogu oštetiti površinu i uzrokovati gubitak sjaja ili promjenu boje. Iako je dovoljno čvrst za mnoge primjene, serpentinit nije najpogodniji za visoko prometne površine ili za vanjske primjene u ekstremnim uvjetima gdje bi mogao pokazivati znakove trošenja ili pucanja. Serpentinit je često korišten u izgradnji i dekoraciji zgrada, a nalazi se u brojnim povijesnim građevinama diljem svijeta. Dobar primjer je zagrebačko groblje Mirogoj, gdje su mnoge spomen-ploče u Arkadama upravo napravljene od serpentinita. Na slici 2. i 3. može se vidjeti upotreba serpentinita kao spomen ploče. Jasno su izražene bijele pukotine koje ukazuju na teksturnu anizotropiju.



Slika 2. Fotografija spomen ploče od serpentinita u Arkadama na Mirogoju



Slika 3. Spomen ploča u Arkadama napravljena od serpentinita

Mnogi stari hramovi i skulpture izgrađeni su od serpentinita zbog njegove dostupnosti i lake obrade. Neki tipovi serpentinita mogu sadržavati azbestni oblik krizotila. Iako je krizotil manje opasan od drugih vrsta azbesta, važno je pažljivo provjeriti sastav serpentinitnog kamena prije njegove upotrebe, posebno u unutarnjim prostorima gdje bi mogao predstavljati zdravstveni rizik (King, 2005). Zbog svojih jedinstvenih estetskih i funkcionalnih svojstava, serpentinit se smatra vrijednim prirodnim materijalom u građevinarstvu i arhitekturi, međutim, kao i kod svakog materijala, potrebno je pažljivo razmotriti njegove prednosti i ograničenja prije upotrebe.

### **3. OSNOVNE GEOGRAFSKE I GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE PODRUČJA UZROKOVANJA**

Banovina je regija u Hrvatskoj koja se nalazi u središnjem dijelu zemlje, između rijeka Save na sjeveru i Une na jugu. Banovina obuhvaća područja južnog dijela Sisačko-moslavačke županije (slika 5). Uzorci su uzorkovani na području Ljeskovca, u starim napuštenim kamenolomima.

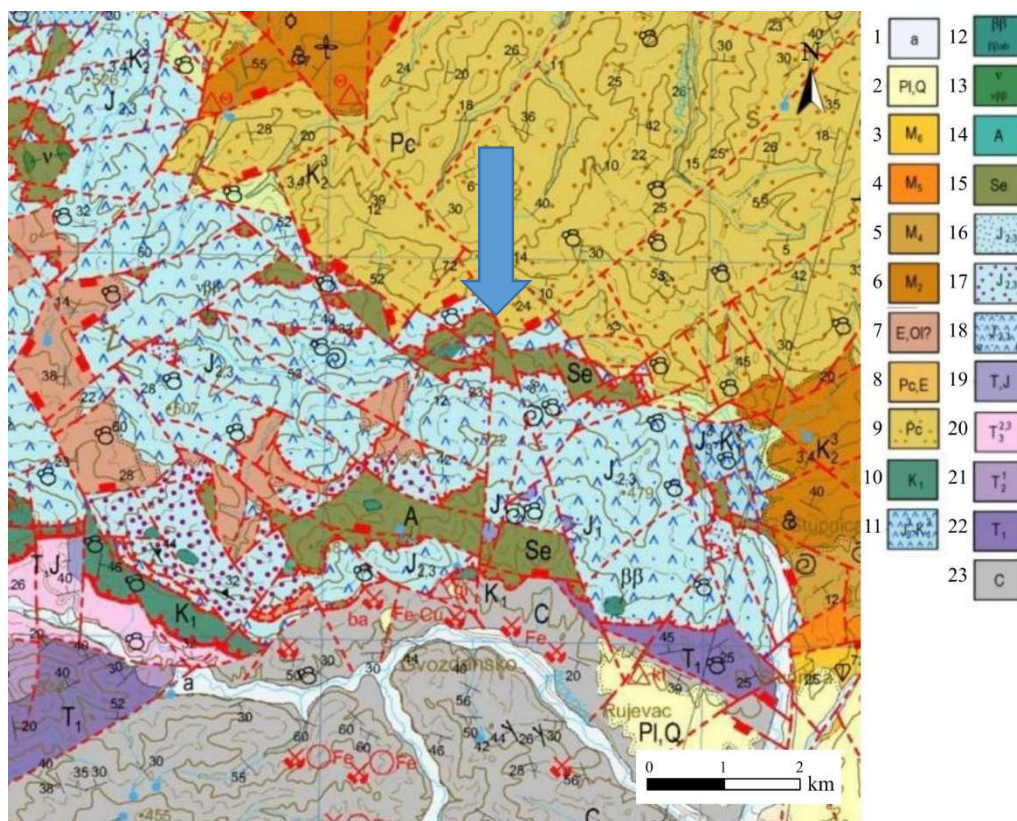


Slika 4. Prikaz lokaliteta s kojeg su prikupljeni uzorci serpentinita i serpentinitiskih breča.  
Slika prikazuje napušteni kamenolom Ljeskovac.



Slika 5. Geografska karta Hrvatske s naznačenim područjem Ljeskovca  
(<https://hr.wikipedia.org/wiki/Ljeskovac>)

Geološka građa Banovine prikazana je na slici 6. Sedimentne stijene formirane su tijekom mezozoika, osobito u razdobljima trijasa, jure i krede, kada su se taložile u morskome okolišu. U nizinskim dijelovima, posebno u dolinama rijeka, nalazimo kvartarne naslage koje uključuju šljunak, pijesak, glinu i ilovaču. Ove naslage su rezultat riječne aktivnosti tijekom holocena, te predstavljaju recentnije slojeve tla (Šikić, 2014). Banovina, uključujući područje Ljeskovca, nalazi se u zoni tektonske aktivnosti, što se očituje u prisutnosti rasjeda i drugih tektonskih struktura. Osim sedimentnih stijena na području Banovine nalazimo i metamorfne i magmatske stijene. Od magmatskih stijena veliki značaj imaju peridotiti, koji su najvećim dijelom serpentinizirani. Uže područje Ljeskovca litološki je većim djelom izgrađeno od serpentinita i serpentinitičkih breča. U manjem obimu javljaju se bazalti, dijabazi, pješčenjaci i karbonati (Majer, 1993.; Šikić, 2014; Bilić, 2021).



Slika 6. . Isječak Osnovne geološke karte 1:100000, list Bosanski Novi (ŠIKIĆ, 2014). Plava strelica označuje lokalitet Ljeskovac. Legenda: 1 - Aluvij recentnih tokova, 2 – Šljunci, pijesci, gline, limonitizirani sedimenti, 3 – Vapnenci, laporoviti vapnenci, lapori, pijesci, podređeno šljunci i pješčenjaci (panon); 4 – Raznovrsni lapori i vapnenci, pijesci, pješčenjaci, šljunci i konglomerati (sarmat); 5 – Konglomerati, šljunci, pijesci, pješčenjaci, lapori, vapnenci biogeni i bioklastični vapnenci, pojave piroklastita (baden), 6 – Poluvezani konglomerati, šljunci, pijesci, gline, lapori i vapnenci s kongerijama, pojave ugljena i piroklastita (otnang), 7 – Breče, konglomerati, pješčenjaci, laporovite gline, lapori,

vapnenci, ugljen; 8 – Konglomerati, podređeno pješčenjaci, siltiti, šejlovi, lapori, vapnenci, pojave ugljena; 9 – Fliš: pješčenjaci, siltiti, šejlovi, lapori, vapnenci, konglomeratični pješčenjaci; 10 – Pješčenjaci, siltiti, šejlovi, lapori, sitnozrnati vapnenci, kalkareniti, rožnjaci; 11 – Pješčenjaci, siltiti, šejlovi, lapori, sitnozrnati vapnenci (kalpionele), rožnjaci, spiliti, dijabazi; 12 – Dijabazi, spiliti (dijelom unutar kompleksa metamorfita); 13 – Metamorfozirani gabri i gabro-dijabazi (unutar kompleksa amfibolita i serpentinita); 14 – Masivni i škriljavi amfiboliti i amfibolski škriljci (pretežno ortoamfiboliti); 15 – Serpentinizirani peridotiti, serpentiniti; 16 – Metapješčenjaci, slejtovi, filiti, kvarciti, mramori, vapnenački kloritski zeleni škriljci, metamorfozirani magmatiti (niski stupanj metamorfizma); 17 – Tinjčevi škriljci i gnajsevi, podređeno kvarciti i kvarcni tinjčasto-kvarcni škriljci (srednji stupanj metamorfizma); 18 – Pješčenjaci, šejlovi, rožnjaci sitnozrnati vapnenci, silicificirani sedimenti, spiliti, dijabazi, rijetko keratofiri (a-prevladavaju sedimenti; b-prevladavaju magmatiti); 19 – Vapnenci, dijelom oolitični i dolomitični vapnenci; 20 – Dolomiti, podređeno dolomitični vapnenci i vapnenci s megalodonima; 21 – Izmjena uslojenih i bankovitih dolomita i vapnenaca; 22 – Obojeni pješčenjaci i siltiti, šejlovi i lapori, vapnenci, šupljikavi i brečasti vapnenci, gips; 23 – Uškriljeni šejlovi i pješčenjaci, ulošci konglomerata, vapnenaca, dolomitičnih vapnenaca i dolomita.

#### **4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA**

##### **4.1 MAKROSKOPSKI I MIKROSKOPSKI OPIS UZORAKA**

Makroskopski i mikroskopski opis obavljen je na 10 uzoraka. Uzorci prikupljeni na terenu su piljeni u obliku kockica na Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine, Rudarsko-geološko-naftnog Fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu. Makroskopski opis uzorka stijene odnosi se na pregled karakteristika koje se mogu uočiti golim okom ili uz pomoć džepne lupe. Ovaj opis uključuje prazne pukotine, bijele pukotine, zelene pukotine, matriks i oštećene vrhove.

Mikroskopski opis uključuje odredbu mineralnog sastava, teksturne odnose između minerala. Identifikacija se vrši na temelju optičkih svojstava, poput boje u polariziranom svjetlu, dvoloma, reljefa, oblika i veličine zrna, dvoloma, pleokroizma, i drugih optičkih karakteristika. Tekstura se određuje s obzirom na veličinu zrna u preparatu i oblik zrna. Mikroskopski preparati su promatrani polarizacijskim mikroskopom OPTIKA B-1000 s ugrađenom kamerom s kojom su snimljene mikrofotografije.

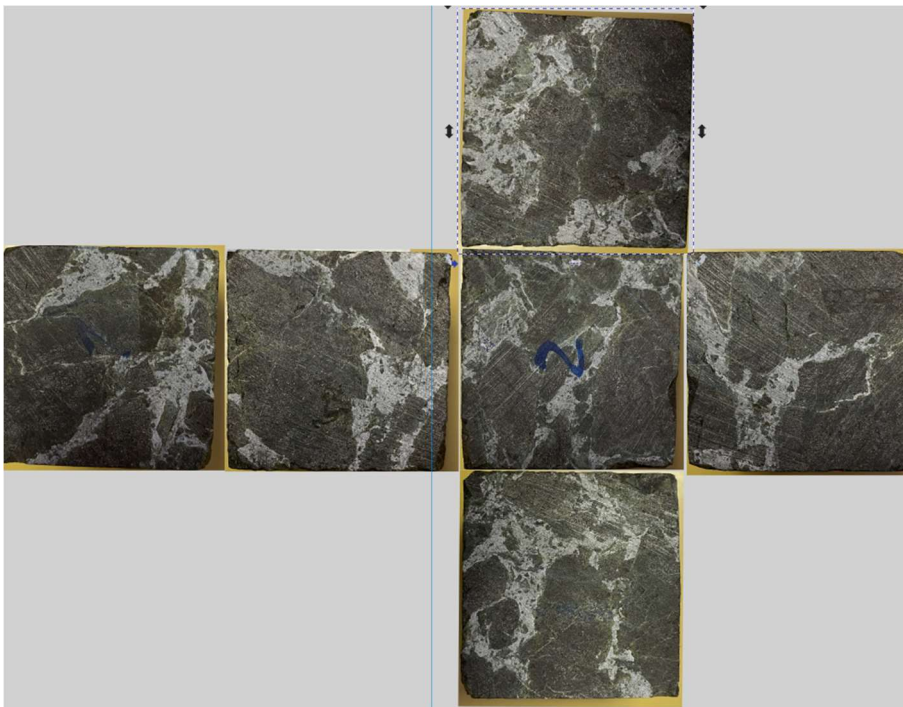
##### **4.2. FOTOGRAFIRANJE UZORKA DA SE DOBIJE RAZVIJENI PLAŠT**

Jedna od metoda koja je korištena za izradu ovog završnog rada je fotografiranje uzoraka i to svake stranice uzoraka piljenih u kocke s ciljem da se dobije razvijeni plašt uzoraka. Razvijeni plašt (slika 7.) se dobije tako da se uzorak postavi u nepomičan položaj a fotoapar



se namjesti okomito iznad uzorka da se zahvati cijela stranica kocke. Fotografije se zatim spajaju u programu Inkscape kako bi dobili jedinstvenu sliku na kojoj se vidi razvijeni plašt uzorka (slika 7).

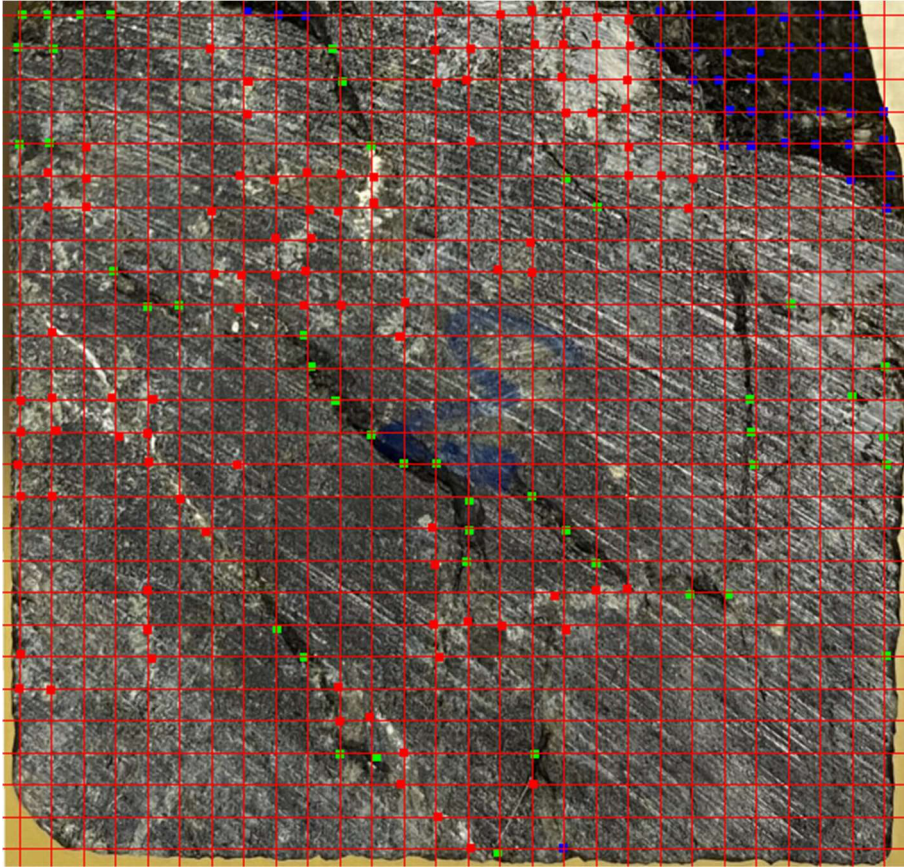
Ukupno se fotografiralo 10 uzoraka koji su piljeni u obliku kockica dimenzija 5x5x5cm. Problem je bio što se nisu mogle u potpunosti dobiti pravilne kockice dimenzije jedne stranice 5 cm. Uslijed piljenja bi dolazilo do oštećenja vrhova i rubova, kao što se vidi i na slici 8.



Slika 7. Razvijeni plašt uzorka serpentinitičke breče ljes-2. Vidljivo je da je oštećenje vrhova i rubova kocke.

#### 4.3. METODA TOČKASTOG BROJANJA

Metodom točkastog brojanja se odredio udio minerala u mineralnom sastavu stijene, ali i pojedinih strukturnih elemenata kao što su žilice, prazne pukotine, ispunjene pukotine i dr. Metoda se bazira na prekrivanju uzorka mrežom točaka te prebrojavanjem točaka koje padaju na pojedini element (slika 8). Svaka stranica uzorka istočkana je mrežom od 3600 do 4624 točaka na površini od 25 cm<sup>2</sup>. Ukupno je obrađeno 10 uzoraka u programu Proview. Obzirom da veći dio uzorka otpada na mineral serpentin, da bi se dobio udio serpentina u uzorcima prvo se točkaju pukotine i žilice. Dobiveni broj oduzme se od ukupnog broja točaka čime se dobije broj točaka koje otpadaju na serpentin.



Slika 8. Prikaz metode točkastog brojanja. Različitim bojama su označene prazne pukotine (zelena), bijele pukotine (crvena) i vrhovi (plava) kako bi dobili postotak za svaki od njih. Površina uzorka je 25 cm<sup>2</sup>.

## 5. REZULTATI

Makroskopskim i mikroskopskim pregledom dvanaest uzorka je klasificirano u serpentinite i serpentinitiske breče. Uzorci ljes-1, ljes-5, ljes-6, i ljes-12 klasificirani su kao serpentiniti, a uzorci ljes-2, ljes-3, ljes-4, ljes-7, ljes-8, ljes-9 i ljes-11 kao serpentinitiske breče.

### 5.1. MINERALOŠKI SASTAV UZORAKA

U tablici 1. je prikazan mineralni sastav svih uzorka određen mikroskopski, odnosno navedeni su minerali i ostale karakteristike koje su uočene tijekom mikroskopske analize. U svim uzorcima se uočava “mesh” tekstura koja je karakteristična za serpentinite. Pukotine ispunjene karbonatima se pojavljuju u većini uzoraka, osim u uzorku ljes-5. Spinel se također pojavljuje u većini uzoraka. Karbonata općenito isto tako ima po većini uzoraka, u obliku pukotina, matriksa, žilica. Bastitna tekstura se uočava u uzorcima ljes-2, ljes-5, ljes-6, ljes-8 i ljes-11. Granati su pronađeni u samo jednom uzorku ljes-10. Plavkasti klorit nalazi se u samo tri uzorka ljes-1, ljes-10 i ljes-11, i to malim količinama, a prepoznaje se po svojoj plavičastoj anomalnoj boji. Brucit se uglavnom pojavljuje u obliku žila u uzorcima ljes-1, ljes-2, ljes-3, ljes-8 i ljes-10. Relikte piroksena prepoznajemo kao sitne ostatke piroksena u uzorcima ljes-1, ljes-2, ljes-5, ljes-10 i ljes-11.

Tablica 1. Prikaz sastava serpentinita i serpentinitiskih breča

	<i>ljes1</i>	<i>ljes2</i>	<i>ljes3</i>	<i>ljes4</i>	<i>ljes5</i>	<i>ljes6</i>	<i>ljes8</i>	<i>ljes10</i>	<i>ljes11</i>	<i>ljes12</i>
<i>Spinel</i>			+	+		+	+	+	+	+
<i>Granat</i>								+		
<i>Lizardit</i>		+	+						+	
<i>Magnezit</i>	+	+	+			+		+	+	+
<i>Brucit</i>	+	+	+				+	+		
<i>Karbonati</i>	+			+			+	+	+	+
<i>Bastit</i>		+			+	+	+		+	
<i>Relikti piroksena</i>	+	+			+			+	+	
<i>Mesh tekstura</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Klorit</i>	+							+	+	
<i>Pukotine</i>	+	+	+	+		+	+	+	+	+
<i>Breča</i>		+	+	+			+	+	+	

*Karbonatni  
matriks*

+

+

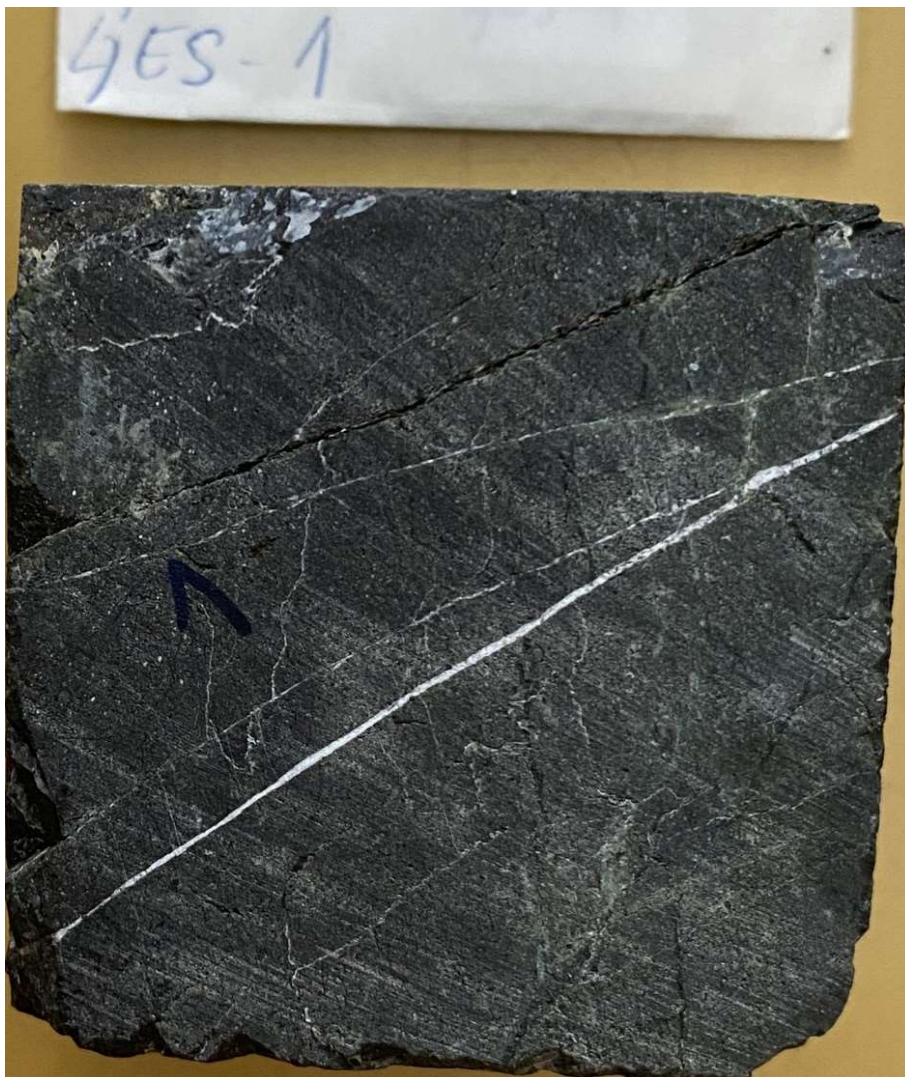
+

+

## 5.2. MAKRO I MIKRO-PETROGRAFSKI OPIS UZORAKA

### 5.2.1. SERPENTINITI

Uzorci ljes-1, ljes-5, ljes-6 i ljes-12 klasificirani su kao serpentiniti. Pretežito su tamno zelene boje, na dijelovima svijetle zelene. Bijele pukotine su jasno izražene što se uočava na slici 9.

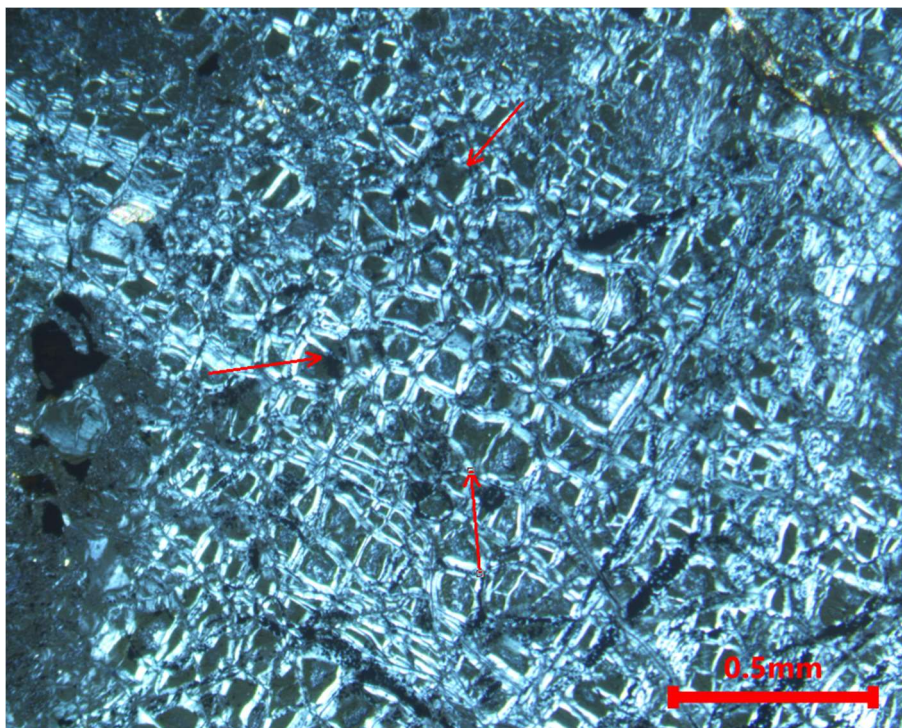


Slika 9. Makroskopski uzorak ljes-1, vrlo izražene bijele i prazne pukotine serpentinita.

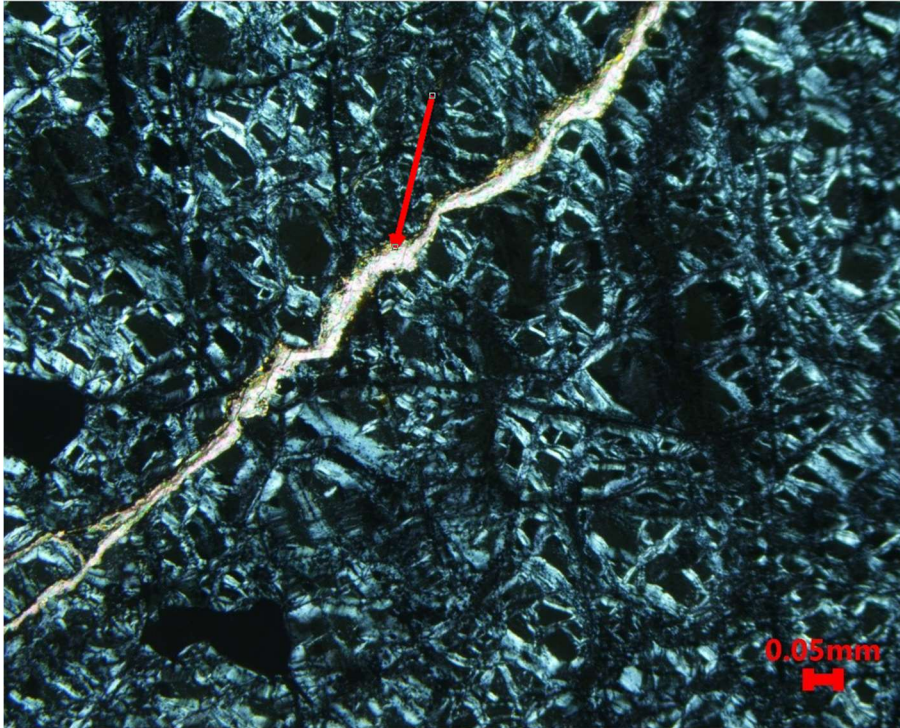
Tanke su oko 2-3 milimetara, a ima i debljih oko 1 do 2 centimetara. Osim bijelih pukotina, koje su ispunjene karbonatom, ima i zelenih ispunjenih kloritom i serpentinom te praznih koje su manje vidljive. U većini uzoraka primjećuju se fragmenti serpentinita. Fragmenti breče su veličina od 1 pa do 3 centimetara.

Zeleno obojeni minerali i teksture dolaze primarno od minerala serpentina. Uočava se da se “mesh“ tekstura pojavljuje u svim uzorcima. Prepoznatljiva je po svojim ćelijama u obliku romboedra nalik zmijskoj koži (slika 10). Osim toga u uzorcima se uočavaju

plavkasti(anomalna plava) kloriti i karbonati (slika 21). Također uočavaju se tanke žilice, debljine oko 0,05 mm u kojima se nalazi karbonat (slika 11).

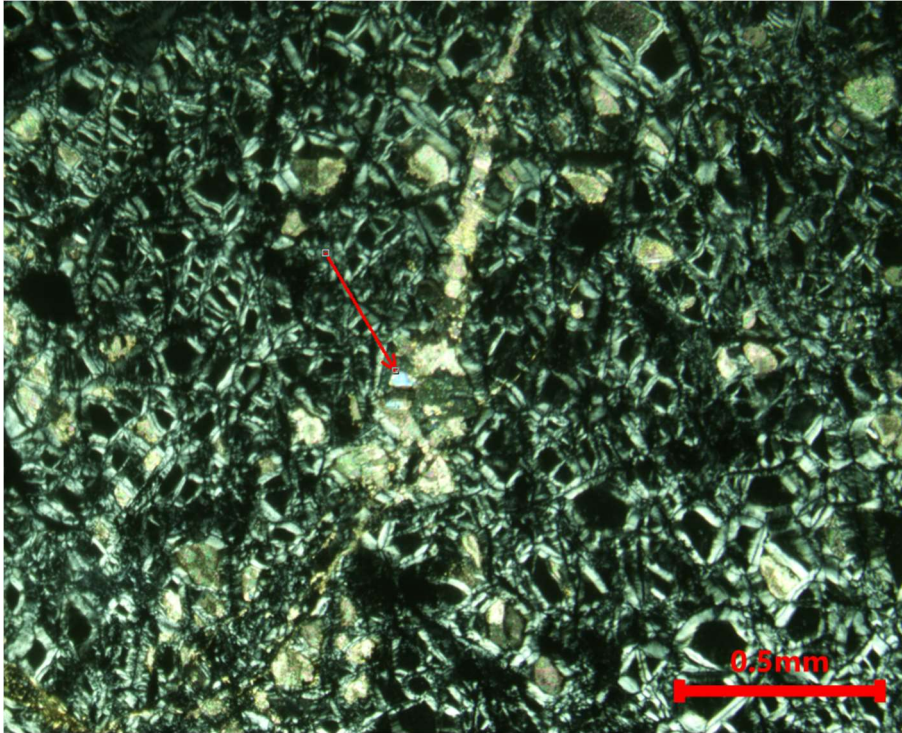


Slika 10. Prikaz “mesh“ teksture u uzorku. Strelica pokazuje “mesh“ teksturu. Slika (ljes-  
1) snimljena pod analizatorom.



Slika 11. Prikaz “mesh“ teksture i karbonatne žile (crvena strelica). Slika(ljes-3) snimljena pod analizatorom.

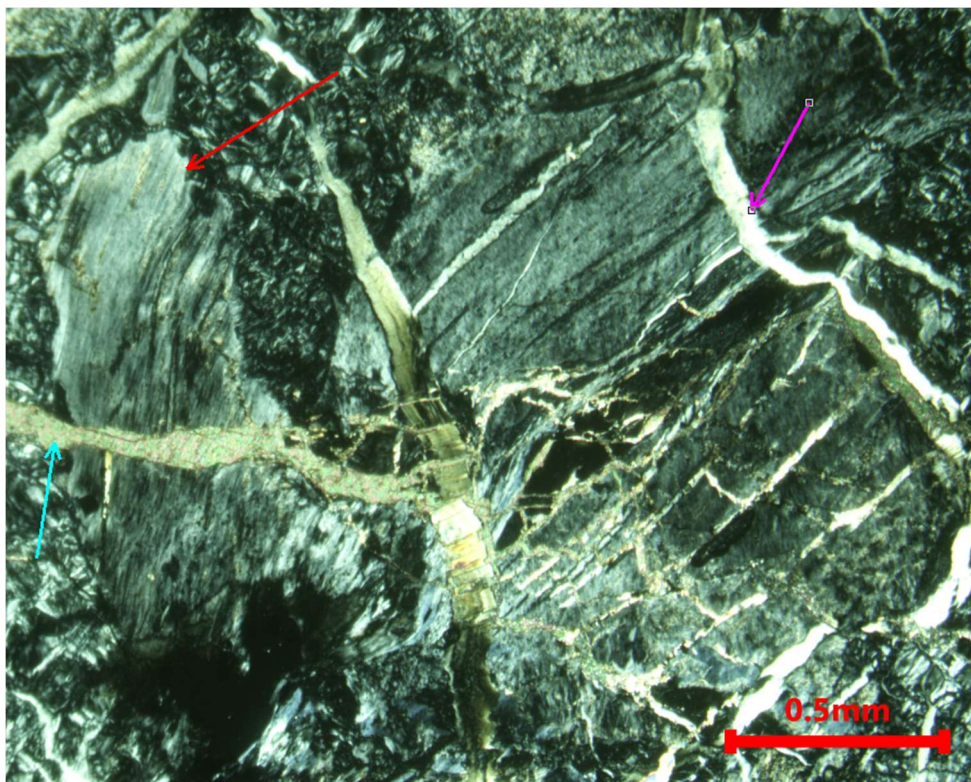
Mineral magnezit se uočava u većini preparata. Magnezit je najčešći akcesorni mineral nastao serpentinizacijom olivina. Magnezit u nekim preparatima ima sitna zrna, malih dimenzija kao na slici 12. Kako serpentinizacija napreduje magnezit stvara veća zrna. Magnezit ima interferencijske boje višeg reda, teže se raspoznaje jer slični dolomitu i kalcitu. Nalazi se većinom u pukotinama. U preparatima se pojavljuju i zrna bastita većih dimenzijama oko 2 do 3 centimetara.



Slika 12. "Mesh" tekstura i magnezit. Strelica pokazuje magnezit. Slika(ljes-2) snimljena pod analizatorom.

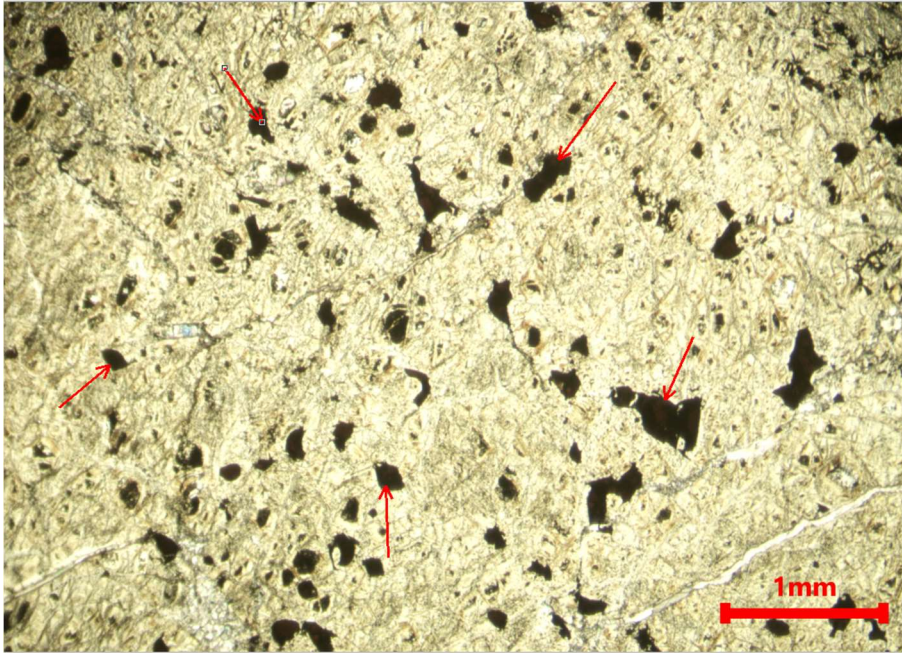
U uzorcima se uočava i bastit. Bastit je veliko zrno uklopljeno među serpentinite (slika 13). Nepravilnih je oblika i dimenzija je između 2 i 3 centimetara. Pod analizatorom je sivkaste do crne boje. Zamjećuje se u većini uzoraka. Tekstura mu je vlaknasta.



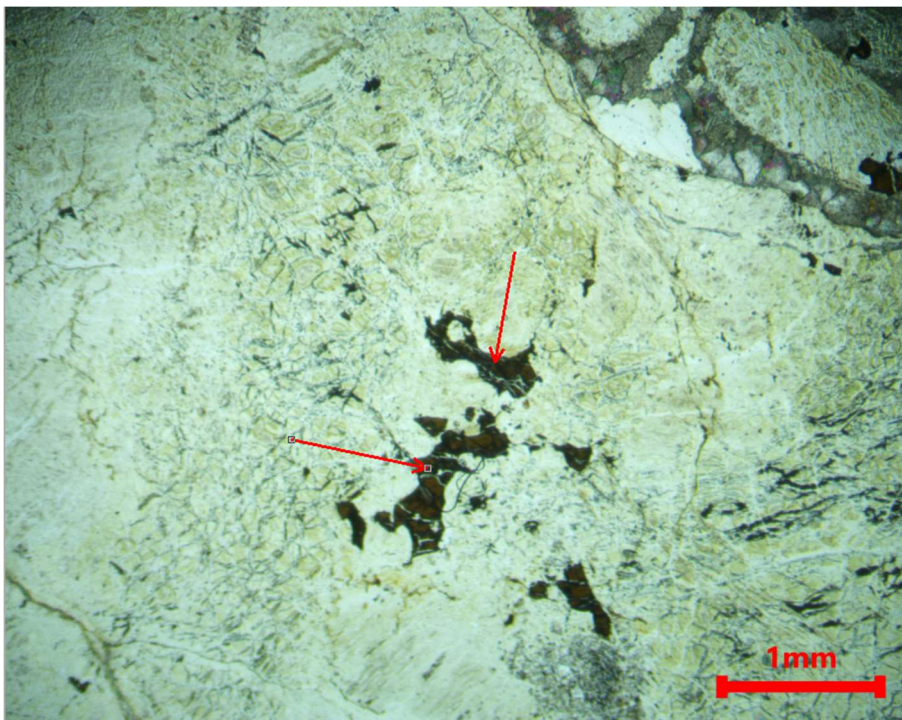


Slika 13. U uzorku se uočava bastit (crvena strelica), zatim karbonatna pukotina (zelena strelica) i brucitna pukotinu (roza strelica). Slika(ljes-10) snimljena pod analizatorom.

U uzorcima se mogu prepoznati i spineli. Veličina spinela varira od 0.5 do 1cm. U preparatu ljes-3 boja spinela je svjetlija nego u uzorku ljes-2. U uzorku ljes-4 se primjećuje dominaciju spinela u odnosu na druge uzorke (slika 14) te ovaj uzorak sadrži najviše spinela koji su raspoređeni po cijelom preparatu.

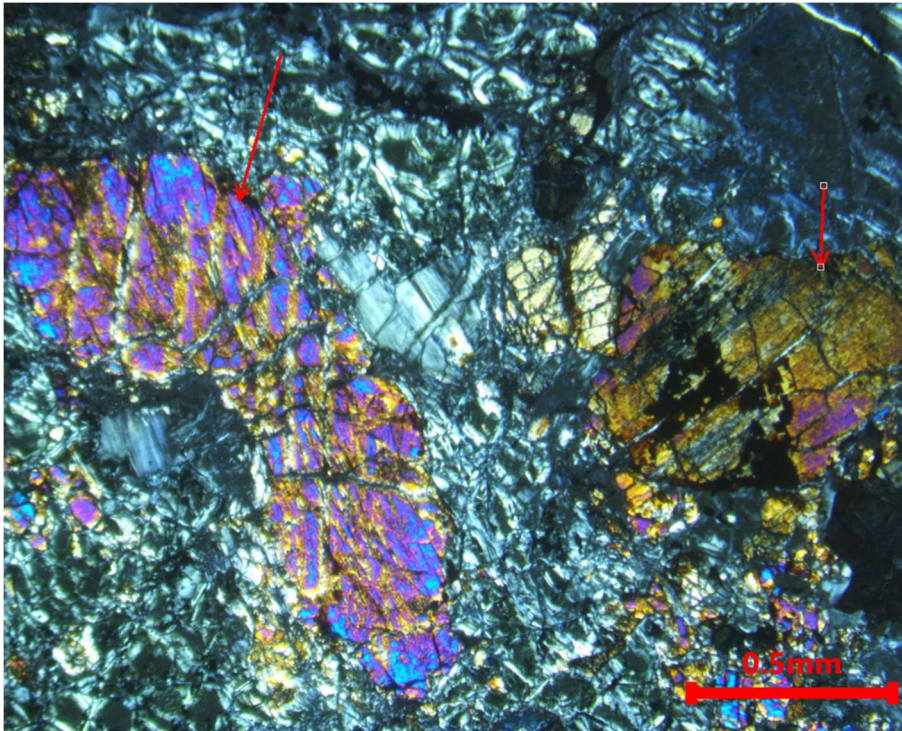


Slika 14. U uzorku broj ljes-4 se uočavaju spineli (crvene strelice). Slika snimljena bez analizatora.



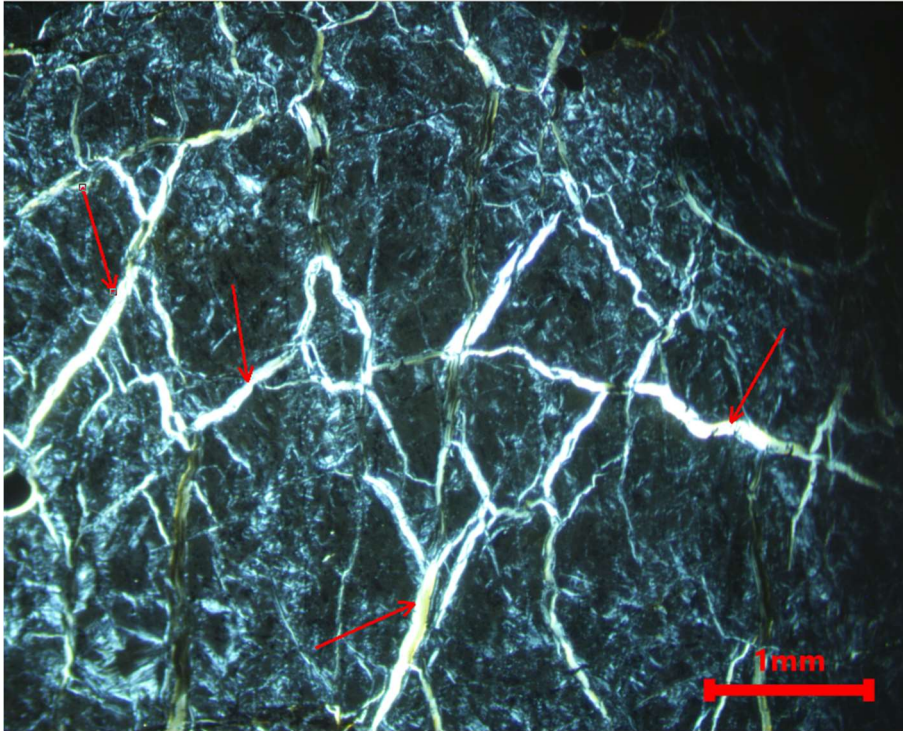
Slika 15. Smečkasti spinel (crvene strelice) u uzorku broj ljes-3. Slika snimljena bez analizatora.

Na slici 15. se primjećuje neobičan oblik spinela, koji su raspucani i deformirani. Jasno se vidi njegova tamno smeđa boja i pukotine. U nekim preparatima prepoznaju se i pirokseni a rjeđe se mogu uočiti i cijela zrna (slika 16). Piroksen se pod mikroskopom prepoznaje po karakterističnim visokim interferencijskim bojama i kosim potamnjenjem. U uzorcima se uglavnom pojavljuju kao relikti.



Slika 16. Žive interferencijske boje deformiranih piroksena (crvene strelice) u uzorku ljes-5. Slika snimljena pod analizatorom.

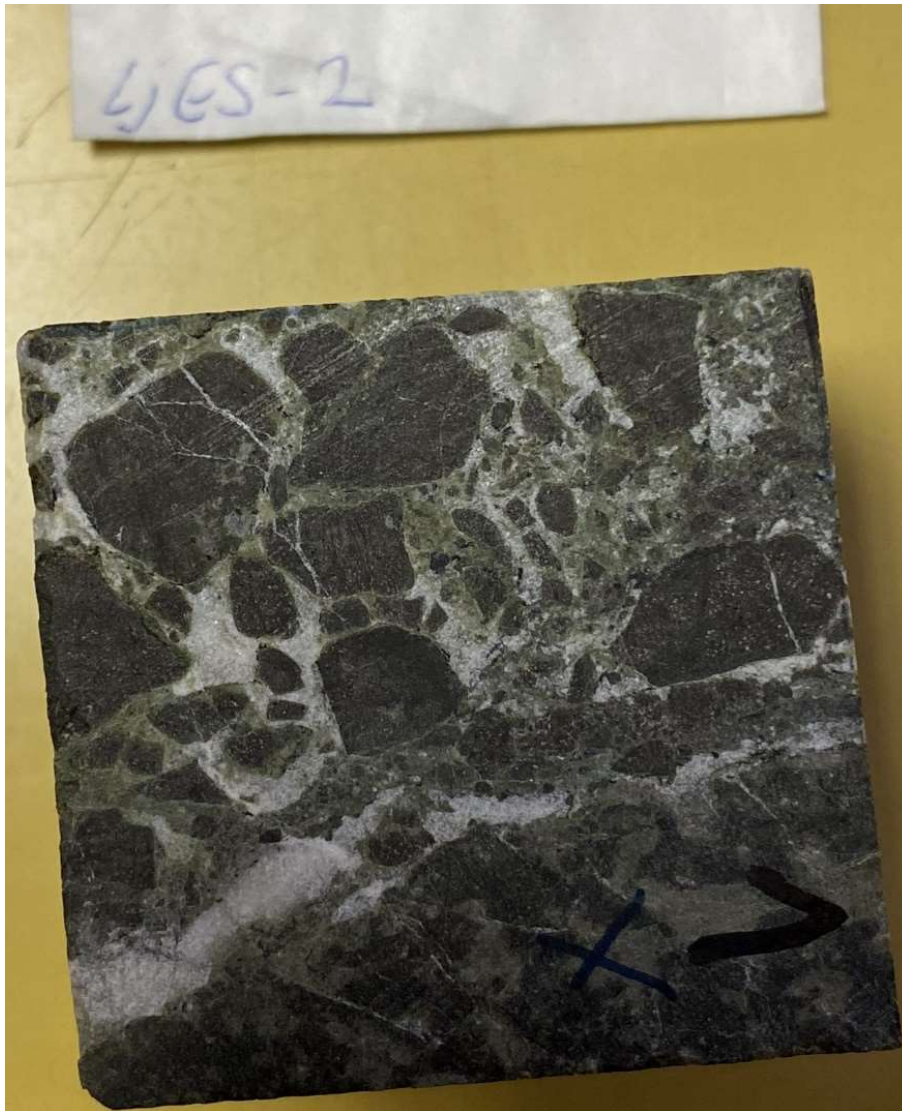
U nekim preparatima se uočavaju žilice koje su tanke debljina manjih od 1 mm (slika 17). U nekim mjestima su i deblje, i do 1 cm. U nekim uzorcima se moguće pojavljuju i žilice talka i/ili brucita, što je zaključeno na temelju optičkih karakteristika kao što su visoka interferencijska boja i visoki reljef.



Slika 17. Brucitne žilice i “mesh“ tekstura (ljes-5). Slikano pod analizatorom.

### 5.2.2. SERPENTINITSKA BREČA

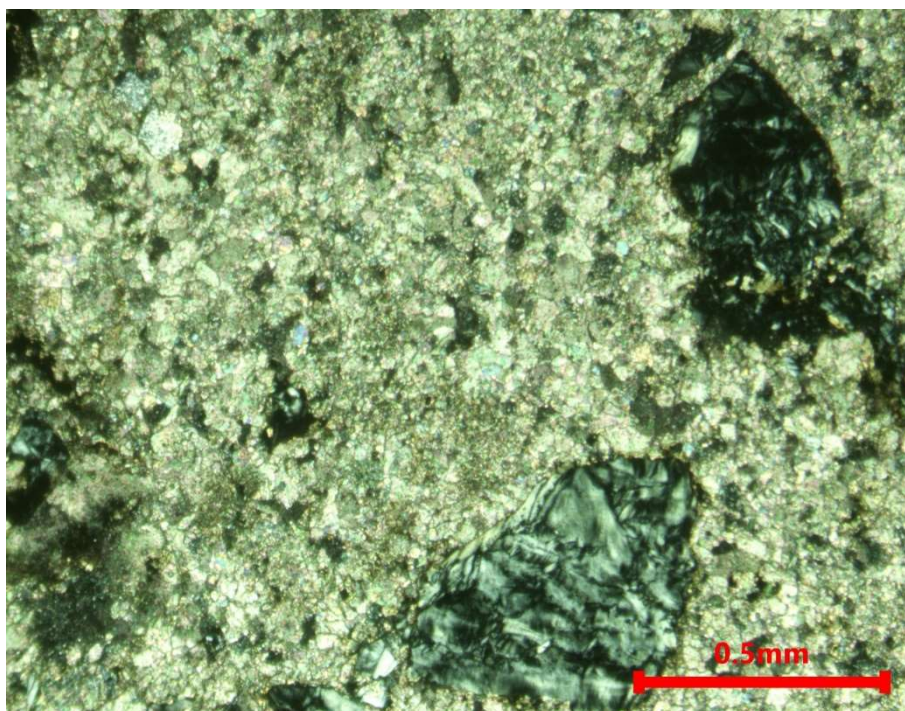
Veliki dio uzoraka (ljes-2, ljes-3, ljes-4, ljes-8, ljes-9, ljes-10 i ljes-11) je jako deformiran i izgrađen od serpentinitiskih fragmenata. Takvi su uzorci klasificirani kao breče. Makroskopski se uočavaju veliki fragmenti od nekoliko centimetara, nepravilnih oblika (slika 18).



Slika 18. Prikaz serpentinitiske breče (ljes-2) u kojoj se uočavaju lomljeni fragmenti minerala serpentina.

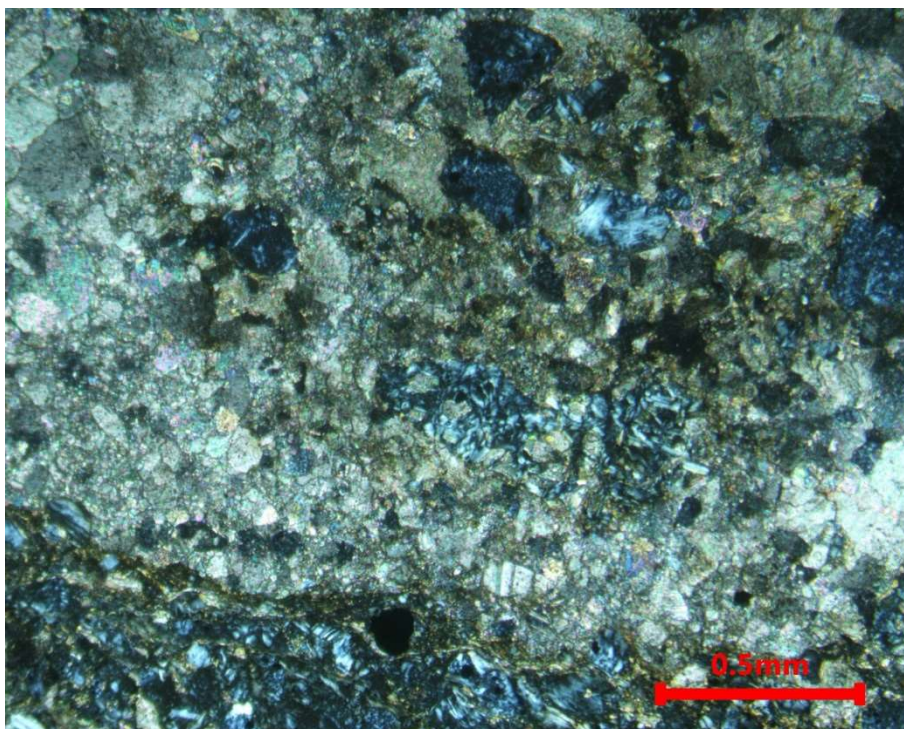
U uzorku ljes-2 (slika 18) jasno se raspoznaju lomljeni, uglati fragmenti serpentina, različitih veličina i oblika. Fragmenti su vezani sa karbonatnim matriksom. Tekstura je gruba zbog uglatih i nepravilnih oblika fragmenata serpentina. Boja može varirati, ovisno o mineralnom sastavu, ali češće su nijanse zelene, smeđe, crne ili sive boje, karakteristične za serpentinske

stijene. Među fragmentima rijetko se mogu prepoznati relikti olivina ili piroksena. Serpentin je vidljiv u obliku malih, vlaknastih ili izduženih kristala. Karbonatni matriks pod mikroskopom se odnosi na masu karbonatnih minerala, poput kalcita i dolomita koji ispunjavaju prostor između većih zrna minerala. U preparatima se jasno raspoznaju karbonati koji dolaze u obliku pukotina, žilica ili u matriksu (slika 19).

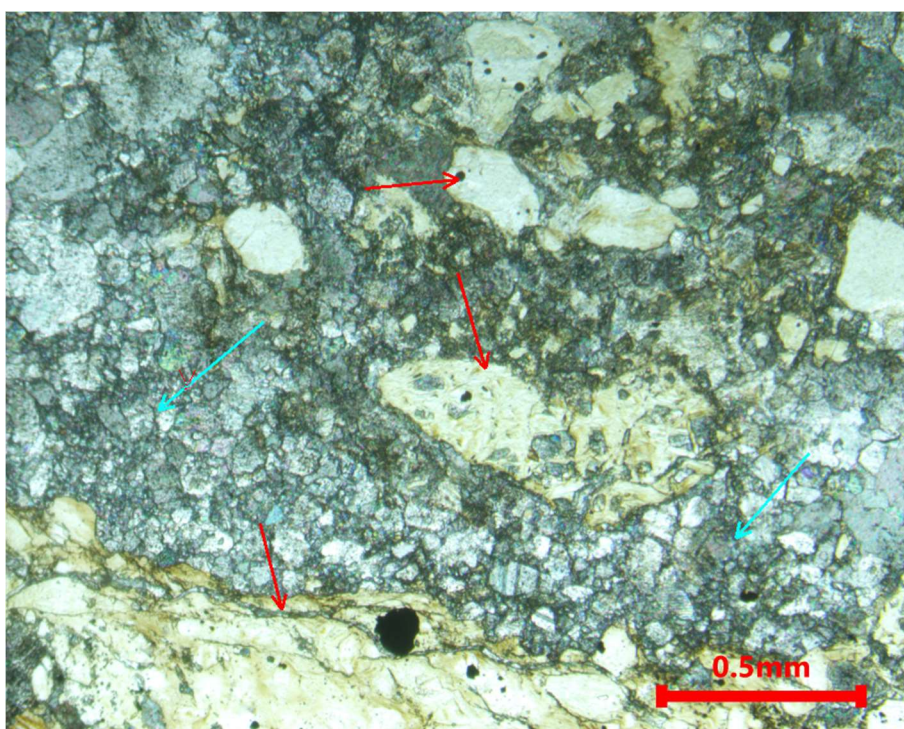


Slika 19. Karbonatni matriks s fragmentima serpentinita u uzorku ljes-9. Fotografirano s analizatorom.

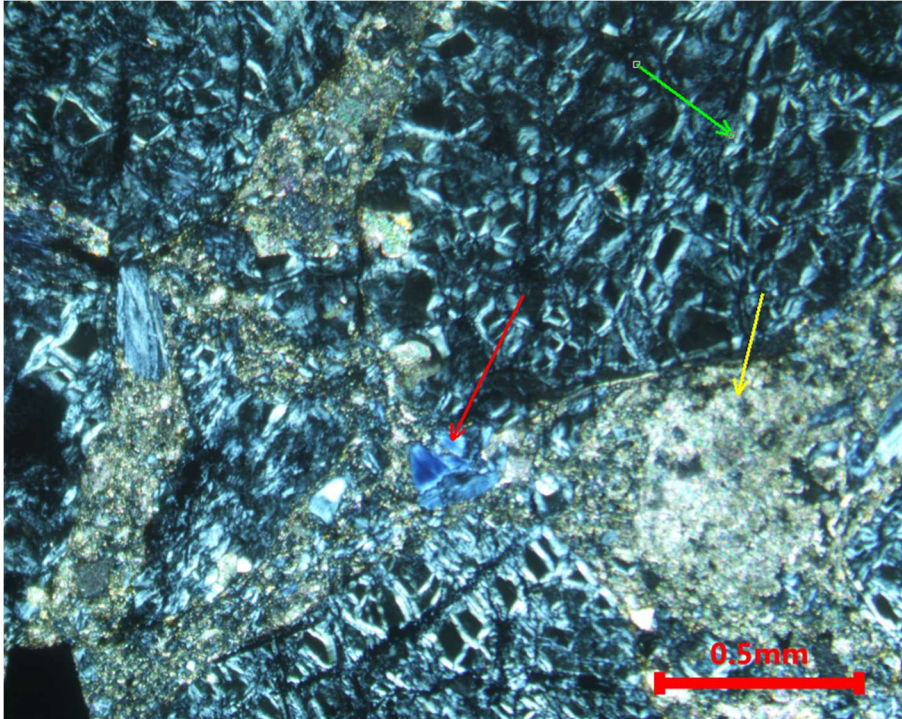
Karbonati su bez analizatora bezbojni do svjetlo sivi, a pod analizatorom pokazuju izrazito visoke interferencijske boje. Karbonatni matriks često ima pelitnu teksturu što znači da su zrna toliko sitna da se ne mogu razlučiti čak ni pod mikroskopom (slike 19 i 20).



Slika 20. Mikrofotografija breče (ljes-10) u kojoj se uočava karbonatni matriks. Fotografirano s analizatorom.



Slika 21. Mikrofotografija (ljes-4) breče bez uključenog analizatora. Uočavaju se uglati fragmenti serpentinita različitih veličina, a između njih se nalazi karbonatni matriks.



Slika 22. U uzorku(ljes-8) se uočavaju: plavkasti klorit (crvena strelica), karbonati (žuta strelica) i “mesh“ tekstura (zelena strelica).



### 5.3. RAZVIJENI PLAŠT I TOČKANJE UZORAKA

Na temelju fotografiranja razvijenog plašta i točkanja svih 10 uzoraka, odnosno svih strana uzoraka (ukupno 60 strane uzorka), dobili su se okvirni podaci o postotcima pojedinih komponenata sastava uzoraka serpentinita i breča. Iz tablice 2. očitava se da najveći udio serpentinita sadrži uzorak ljes-5 u iznosu od 99,3%, dok najmanji udio ima uzorak ljes-8 i to 85.4%. Udio bijelih pukotina u uzorcima varira od 0.4 % do 1.9%. Zelene pukotine se mogu detektirati samo u dva uzorka ljes-1 i ljes-12 i vrlo je mali udio oko 0.4%. Prazne pukotine se također nalaze u većini uzorka, a njihov udio je od 0.3 do 0.9%. Karbonatni matriks se samo uočava u brečama i najviše matriksa ima u uzorku ljes-8 udio matriksa iznosi 11,9%. Anizotropija serpentinita je uvjetovana prije svega razlomljenošću. Oštećenih vrhova ima u svim uzorcima, a najviši postotak oštećenosti je u uzorku ljes-12 i iznosi 3,1%. Na temelju ovih rezultata serpentinita se razlikuju od serpentinitičkih breča po slabije razvijenim pukotinama, i ne sadrže matriks i serpentinita ne sadrže fragmente minerala ili ostataka minerala kao breče. Serpentinitičke breče imaju veći udio pukotina i veći udio razlomljenosti. Srednja vrijednost bijelih pukotina za serpentinite iznosi 0,7 %, a za serpentinitičke breče iznosi 1,5 % što je jedan od razloga veće teksturne anizotropije za serpentinitičke breče. Srednja vrijednost praznih pukotina za serpentinite iznosi 0,4 %, a za serpentinitičke breče 0,7%.

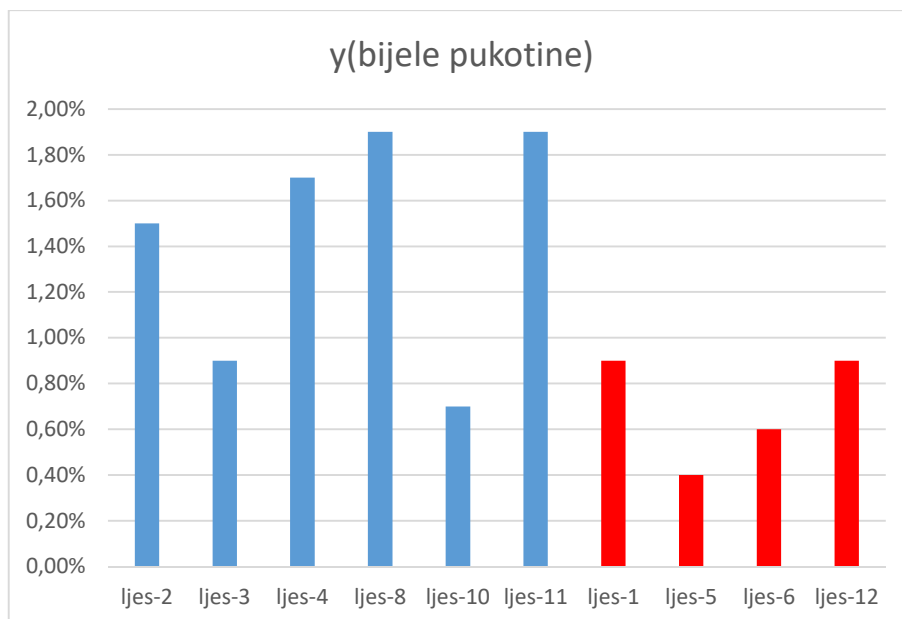
Tablica 2. Prikaz komponenti serpentinitskog sastava u istraživanim uzorcima

Uzorci/ komponente	bijele pukotine	zelene pukotine	vrhovi	serpentinit	prazne pukotine	matriks	UKUPNO
ljes-1	0.9%	0.2%	1.2%	97.4%	0.3%		100%
ljes-2	1.5%		0.6%	93.6%		6.9%	100%
ljes-3	0.9%		1.1%	92.8%		7.1%	100%
ljes-4	1.7%		0.9%	93.1%		4.4%	100%
ljes-5	0.4%		1.7%	99.3%	0.7%		100%
ljes-6	0.6%		0.5%	98.9%			100%
ljes-8	1.9%		0.4%	85.4%	0.4%	11.9%	100%
ljes-10	0.7%		0.9%	91.1%	0.9%	6.6%	100%
ljes-11	1.9%		0.8%	93.1%	0.4%	6.5%	100%
ljes-12	0.9%	0.4%	3.1%	98.2%	0.3%		100%

## 6. RASPRAVA I ZAKLJUČAK

Tema ovog završnog rada bila je određivanje petrografskih karakteristika deset uzoraka serpentinita i serpentinitičkih breča s područja Banovine. Serpentiniti su četiri uzoraka ljes-1, ljes-5, ljes-6 i ljes-12, a serpentinitičke breče su uzorci ljes-2, ljes-3, ljes-4, ljes-8, ljes-10 i ljes-11. Naglasak je bio na određivanju teksturne anizotropije uzoraka što je i ostvareno. Uzorci su makroskopski i mikroskopski opisani a za određivanje teksturne anizotropije (heterogenosti) uzoraka osim petrografske analize korištena je i metoda točkastog brojenja. Pod pojmom teksturna anizotropija (heterogenost) ovih uzoraka mogu se ubrojiti sve uočene komponente poput pukotina (bijeles, zelene, prazne), te i karbonatnog matriksa. Rezultati istraživanja pokazuju kako svi uzorci pokazuju teksturnu anizotropiju. Serpentinitičke breče pokazuju veću vrijednost teksturne anizotropiju u odnosu na serpentinite. Teksturnu anizotropiju smo odredili iz srednjih vrijednosti pukotina, vrhova i matriksa i za serpentinite iznosi 2,8%, a za serpentinitičke breče iznosi 9,7%.

U svim uzorcima se pojavljuju bijele pukotine, a najveći postotak je u uzorku koji pripada serpentinitičkim brečama. Serpentinitičke breče pokazuju veći udio bijelih pukotina od serpentinita, što se može vidjeti na grafičkom prikazu (slike 23). Glavna razlika između serpentinita i serpentinitičkih breča što je vidljivo i golim okom jesu fragmenti minerala serpentinita u brečama. Također breče sadrže i karbonatni matriks koji može biti i zelene boje upravo zbog serpentinita pa ga možemo zbog toga teže prepoznati.



Slika 23. Grafički prikaz serpentinitičkih breča (plavo) i serpentinita (crveno) u ovisnosti o bijelim pukotinama.

Osim bijelih pukotina i prazne pukotine se uočavaju u većini uzoraka. Praznih pukotina se također najviše uočava u serpentinitičkim brečama. Karbonatni matriks se samo pojavljuje u serpentinitičkim brečama. Vjerojatnost je da prazne pukotine, bijele pukotine, zelene pukotine, vrhovi da sve to utječe i na poroznost kamena i smanjene postojanosti.

Anizotropna svojstva su važna u primjeni serpentinita kao građevinskog materijala ili u ukrasnoj upotrebi, gdje različita orijentacija može utjecati na izgled i izdržljivost završne obrade. Na temelju svih ovih podataka zaključujemo da serpentinitičke breče pokazuju veći stupanj teksturne anizotropije od serpentinita kao što smo spomenuli na početku poglavlja postotak teksturne anizotropije za breče iznosi 9,7%, a za serpentinite 2,8%. Određivanje teksturne anizotropije omogućava bolju kontrolu nad kvalitetom, sigurnošću i trajnošću kamena, što je od bitnog značaja za njegovu primjenu u građevinarstvu, arhitekturi i drugim industrijama.

## 7. POPIS LITERATURE

- Bilić, Š. (2021). Petrogeneza peridotita i piroksenita na području Banovine, Hrvatska (Doctoral dissertation, University of Zagreb. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering).
- Crnković, B., & Šarić, L. (2003). Građenje prirodnim kamenom. Institut Građevinarstva Hrvatske.
- Evans, B. W., Hattori, K., & Baronnet, A. (2013). Serpentine: what, why, where?. *Elements*, 9(2), 99-106.
- Hobart M. King (2005). Serpentine: A group of minerals, used as architectural, ornamental and gem materials. A source of asbestos.
- Majer, V. (1993): Ofiolitni kompleks Banije s Pokupljem u Hrvatskoj i Pastireva u Bosni. *Acta Geol.*, 23, 39–84.
- Slovenec, D., (2002). Sistematska mineralogija. Zagreb. Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- Šikić, (2014) Osnovna geološka karta Republike Hrvatske, list Bosanski Novi 1:100.000. L 33-105. Hrvatski geološki institut Zagreb.
- Tomašić, I., & Fistrić, M. (1998). Utjecaj teksturnih značajki na ugradnju kamena. *Klesarstvo i graditeljstvo*, 9(1/2), 61-66.
- Viti, C., & Mellini, M. (1998). Mesh textures and bastites in the Elba retrograde serpentinites. *European Journal of Mineralogy*, 10(6), 1341-1359.
- Wicks, F. J., & Whittaker, E. J. W. (1977). Serpentine textures and serpentinitization. *Canadian Mineralogist*, 15(4), 459-88.

Web izvori:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:College\\_Hall\\_U\\_Penn.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:College_Hall_U_Penn.JPG) (pristupljeno