

# Mineralna asocijacija na lokalitetu Lojane, Sjeverna Makedonija

---

Šestak, Nikolina

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

*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:217:362860>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-25**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Nikolina Šestak

**Mineralna asocijacija na lokalitetu Lojane,  
Sjeverna Makedonija  
(Mineral association at Lojane locality, North  
Macedonia)**

Seminar III  
Preddiplomski studij Geologije

Mentor:  
doc. dr. sc. Andrea Čobić

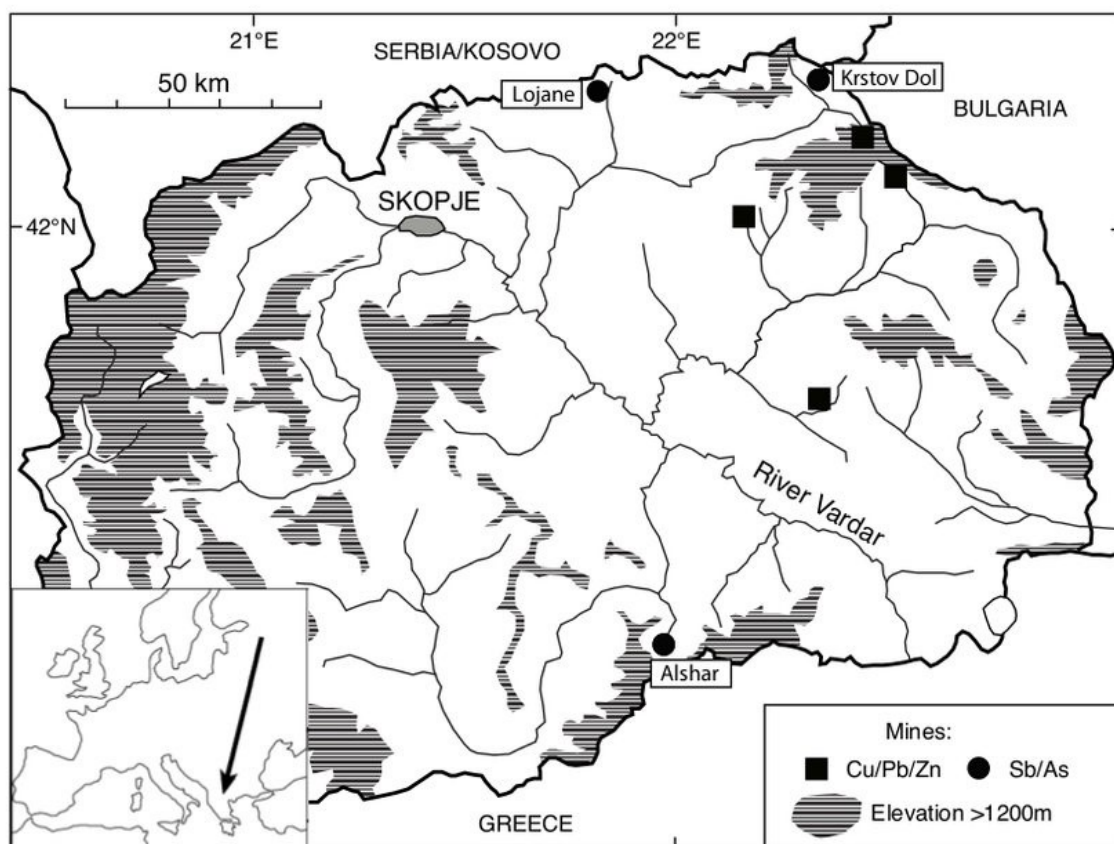
Zagreb, 2020.

# 1. Sadržaj

1. Uvod .....	1
2. Pregled dosadašnjih istraživanja .....	2
3. Geološka građa mineralnog ležišta Lojane .....	3
4. Materijali i metode istraživanja.....	6
4.1. Materijali.....	6
4.2. Metode istraživanja.....	7
4.2.1. Polarizacijska mikroskopija .....	7
4.2.2. Difrakcija rendgenskih zraka na prahu (XRPD) .....	8
5. Rezultati .....	10
5.1. Makroskopski opis uzoraka .....	10
5.2. Polarizacijska mikroskopija.....	10
5.3. Rentgenska difrakcija na prahu (XRPD) .....	15
6. Rasprava.....	23
7. Zaključak.....	25
8. Literatura.....	26

## 1. Uvod

Lojane je mineralno ležište koje se nalazi sjeverno od Kumanova, u blizini granice sa Srbijom, Crnom Gorom i Kosovom (slika 1). Eksploatacija tog ležišta odvijala se u razdoblju od 1923. do 1979. godine, a eksploatirao se arsen, antimon i krom. Ležište je smješteno u Vardarskoj zoni i sastoji se od nekoliko vrsta stijena kao što su serpentiniti s kromitima, fliš i vapnenac koji su i intrudirani u granit i andezit. Brojnim istraživanjima je zaključeno da mineralno ležište Lojane sadrži oko 300 000 t rude s udjelima oko 4% Sb i 5% As (Tasev et al 2018).



Slika 1. Geografski prikaz položaja lokaliteta Lojane (Alderon et al. 2014)

U ovom radu prikazane su mineraloške karakteristike i rudne mineralizacije ležišta Lojane. Istraživanje se temelji na metodama:

- Određivanja mineralnog sastava uzorka korištenjem mikroskopije u prolaznom svijetlu
- Određivanja mineralnog sastava uzorka metodom difrakcije rendgenskih zraka na prahu.

## 2. Pregled dosadašnjih istraživanja

Brojni radovi pisani su na temu zagađenja okoliša na području oko mineralnog ležišta zbog velike koncentracije antimona i arsena.

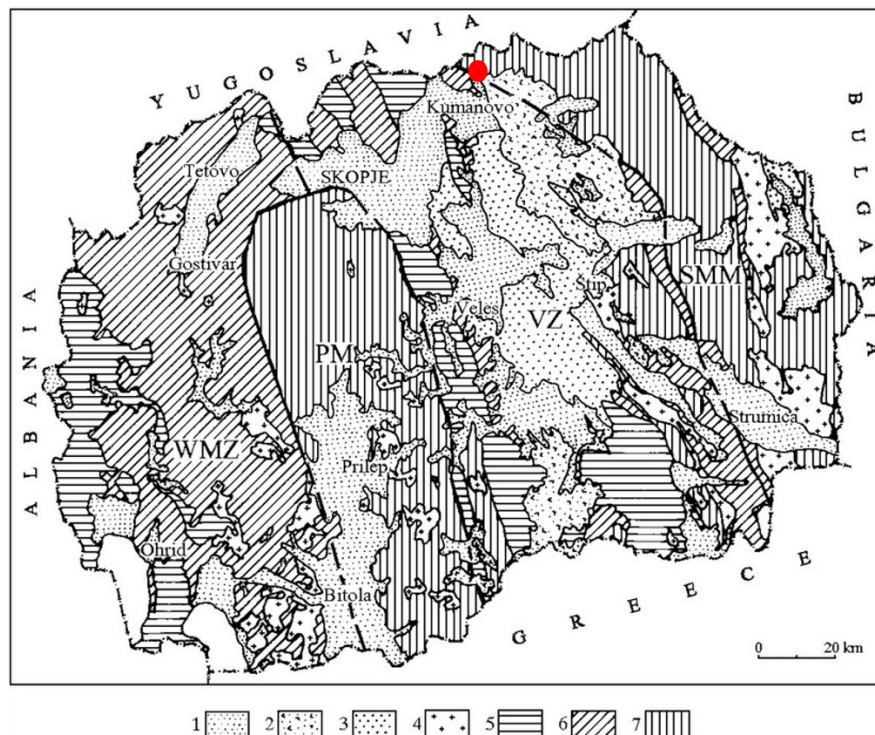
Alderon et al. (2014) su se u svom radu bavili utjecajem arsena i antimona na lokalno okruženje nakon eksploatacije na mineralnom ležištu Lojane. Ustanovili su da riječni sedimenti i tlo sadrže vrijednosti daleko više nego što je preporučeno, što znači da je područje oko lokaliteta vrlo onečišćeno. Problem je u arsenu i antimonu što su mobilni i nisu povezani u vodi, što im omogućuje veće rasprostranjenje kroz dulji vremenski period.

Tasev et al. (2018) ustanovili su da je lokalitet Lojane karakteristično epitermalno As–Sb ležište gdje je mineralizacija smještena unutar neogenskih vulkanita i jurskih ultrabazičnih stijena, te se sama mineralizacija javlja u vidu žila, u kojima se mogu pronaći minerali poput realgara, stibnita, auripigmenta.

Kolitsch et al. (2018) su se u svom radu bavili mineralogijom i geokemijom ležišta Lojane, gdje se najprije eksploatirao kromit, a kasnije stibnit. Ustanovljena su velika zagađenja arsenom i antimonom na tom području te je proučavana i supergena mineralizacija tog ležišta. Standardnim mineraloškim tehnikama utvrdili su i pojavu raznih minerala poput anabergita ( $\text{Ni}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ), gipsa ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), pararealgara (AsS), minerale grupe romeita (Ca,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , Na) $_2(\text{Sb, Ti})_2\text{O}_6(\text{O, OH, F})$ , rozenit ( $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) i druge. Raman spektroskopijom utvrđeno je da je hörnesit ( $\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) je najčešći sekundarni arsenik mineral te i imobilizator arsena, te je pronađen je unutar karbonata bogatim serpentinitom. Antimon se imobilizira u sekundarnim oksidima te se ugrađuje u skorodit. Nikal, koji potječe od sulfidnih i sulfarsenidnih minerala čiji je i dio sastava, te ulazi u anabergit i minerale grupe romeita.

### 3. Geološka građa mineralnog ležišta Lojane

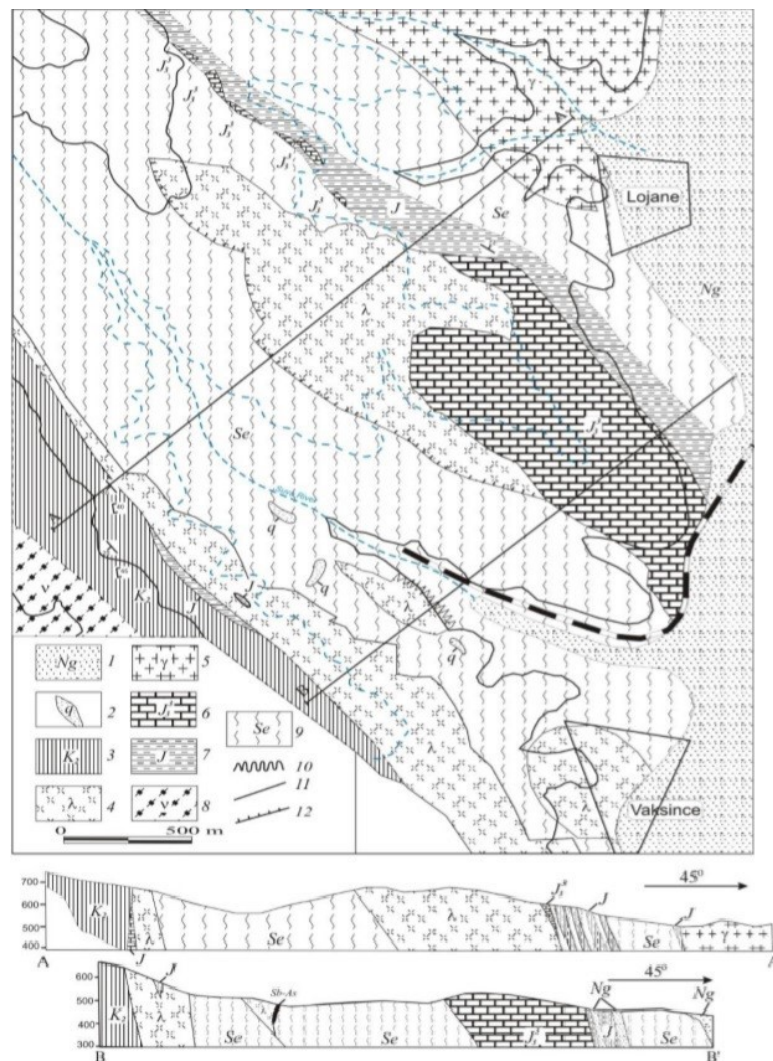
Područje mineralnog ležišta Lojane pripada sjeveroistočnom i istočnom dijelu Vardarske zone i malom dijelu Srpsko-makedonskog masiva (Slika 2). Prostor Vardarske zone nastao je zatvaranjem Tethysa krajem jure i početkom krede (Serafimovski i Janković 2000). Mineralno ležište sastoji se od različitih vrsta stijena. Na tom području pretežno dominiraju ultrabazične stijene i andeziti neogenske starosti, prisutni su još i jurski vapnenci, riolitne stijene, serpentiniti, gornjokredni fliš, graniti, šejlovi, neogenski sedimenti (Tasev et al 2018).



Slika 2. Geotektonske jedinice na području Sjeverne Makedonije; crvena točka označava lokalitet Lojane; VZ – Vardarska zona, SMM – Srpsko-makedonski masiv (Boev et al. 2002)

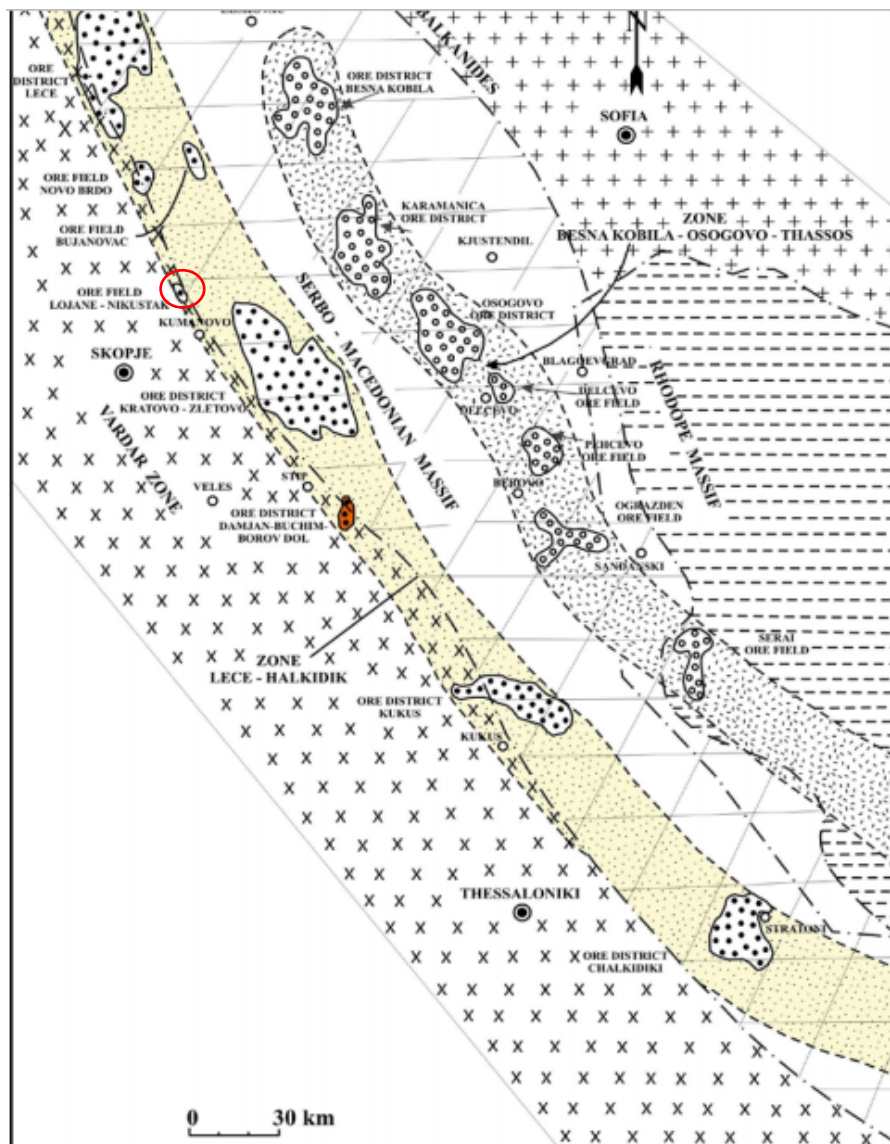
Intenzivni tektonski pokreti koji su se zbivali na području serpentinitnog masiva, zbog izrazito plastičnih svojstava same stijene i opterećenosti hidrostatskog tlaka. Serpentinit zbog svoje male gustoće s obzirom na okolne stijene, kada se nalazi pod utjecajem sile gravitacije kretat će se prema gore što je imalo i velik utjecaj na samo oblikovanje ležišta, a ujedno i na mineralizaciju. Crni tufovi utisnuti su između pojedinih formacija ili serpentinita u obliku žila (Tasev et al. 2018). Na rubovima mineralnog ležišta, vapnenci i rioliti koji se dalje pružaju prema sjeverozapadu, granitna masa između krednog fliša i riolitnih stijena koja se pruža prema jugu ukazuju nam na sažimanje cijelog tog prostora u smjeru SI-JZ (Slika 3). Gornjokredni fliš

s očuvanim teksturama preživio je isto tako deformacije, što se vidi u obliku pukotina s padom na suprotne strane (Slika 3): jedan dio pada prema jugozapadu kao i slojevi vapnenaca i pješčenjaka, a drugi dio pada obrnuto i vidljiva je u glini, što jasno ukazuje na kompresiju samog terena. Jurski vapnenci i riolitne stijene čine homogenu masu gotovo istih svojstava, deformirane su krto, no riolitne stijene pokazuju i plastična svojstva. Dobar primjer krte deformacije je vidljiv u mjestu Vrelo. Tamno-sivi vapnenci sa brojnim pukotinama su naknadno ispunjeni kalcitnim žilama nastalim na dubini većoj od 5 km (Tasev et al. 2018). Granicu između ta dva dijela čini poprečni rasjed (Tasev et al. 2018).



Slika 3. Geološki prikaz mineralnog ležišta Lojane; 1. neogenske naslage, 2. silicificirani serpentinit, 3. gornjokredni fliš 4. riolit, 5. granit, 6. gornjojurski vapnenci, 7. šejl, pješčenjak, 8. gabro, diorit, 9. serpentinit, 10. realgar i stibnit mineralizacija, 11, normalni rasjed, 12. reversni rasjed (Tasev et al. 2018)

Prostor mineralnog ležišta Lojane pripada jednoj od metalogenetskih jedinica Srpsko-makedonske metalogenetske provincije, Leće–Halkidiki metalogenetska zona. (Serafimovski i Janković 2000). Leće–Halkidiki metalogenetska zona (Slika 4) se nalazi između geotektonkih jedinica Vardarske zone i Srpsko-makedonskog masiva, te joj je pružanje u smjeru S-SZ. Na tom prostoru mogu se pronaći razne vrste ležišta, od porfirnih, hidrotermalnih, skarnskih, epitermalnih, kakvim se zapravo smatra i ležište Lojane. Epitermalna ležišta su pretežno žilnog tipa, te je mineralizacija smještena unutar magmatskih intruziva andezita i diorita (Serafimovski i Janković 2000).



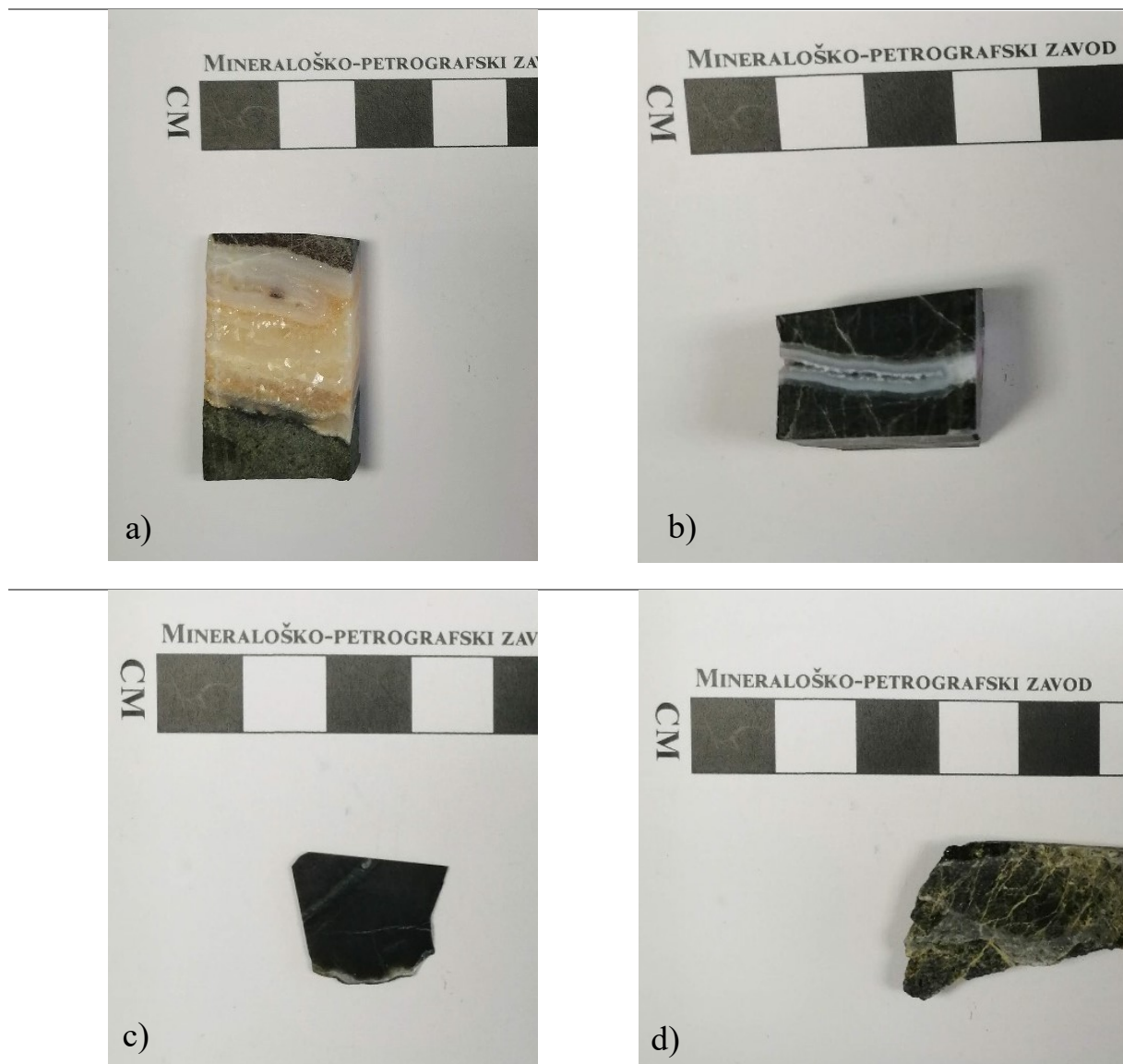
Slika 4. Položaj Leće–Halkidiki metalogenetske zone u odnosu na Vardarsku zonu i Srpsko-makedonski masiv; crveni kružić prikazuje lokalitet Lojane (Serafimovski et al. 2016)



## 4. Materijali i metode istraživanja

### 4.1. Materijali

Analizirana su četiri uzorka koji su sakupljeni na lokalitetu Lojane (Slika 5). Makroskopski izgled uzoraka korištenih za analizu u ovom radu; a) Lojane 1, b) Lojane 2, c) Lojane 3, d) Lojane 4). Makroskopski izgled uzoraka vidljiv je na slici 5.



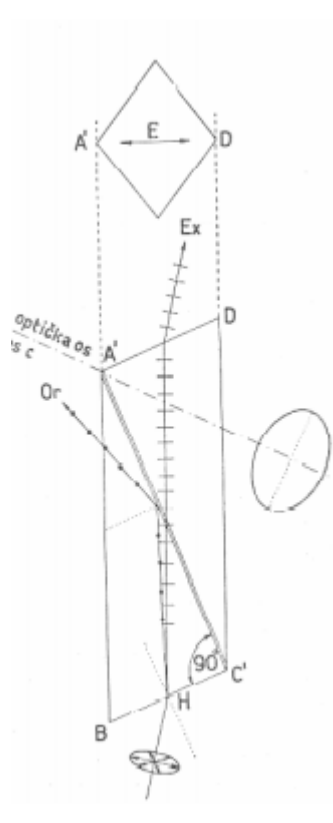
Slika 5. Makroskopski izgled uzoraka korištenih za analizu u ovom radu; a) Lojane 1, b) Lojane 2, c) Lojane 3, d) Lojane 4

## 4.2. Metode istraživanja

### 4.2.1. Polarizacijska mikroskopija

Polarizacijska mikroskopija je metoda kojom se određuju optička svojstva minerala koja ovise o smjeru širenja svjetlosti kroz mineral. Koristi se polarizirana svjetlost koja vibrira samo u jednoj ravнинi okomitoj na smjer širenja tzv. linearno polarizirana svjetlost (Vrkljan et al. 2019). Za prepoznavanje minerala, ali i njihovih svojstava, potrebno je tu svjetlost, prije nego dođe do samog minerala, i polarizirati pomoću polarizatora. Svjetlost se polarizira na principu totalne refleksije, apsorpcije i refleksije.

Primjer totalne refleksije je Nicol-ova prizma (prema izumitelju W. Nicolu) koju čini proziran kristal kalcita, prerezan pod određenim kutom i ponovno zalijepljen kanadskim balzomom indeksa loma 1,54. Zraka svjetlosti se, kada dopiše do prizme, lomi u dvije zrake: ordinarnu i ekstraordinarnu (Slika 6), a na spoju s kanadskim balzomom ordinarna zraka se potpuno reflektira zbog većeg indeksa loma ( $n=1,65$ ), dok će ekstraordinarna zraka nastaviti linearno. Ekstraordinarna zraka na taj način je linearno-polarizirana i dolazi do presjeka minerala koji se promatra.



Slika 6. Princip polarizacije kroz Nicol-ovu prizmu (Vrkljan et al. 2019)

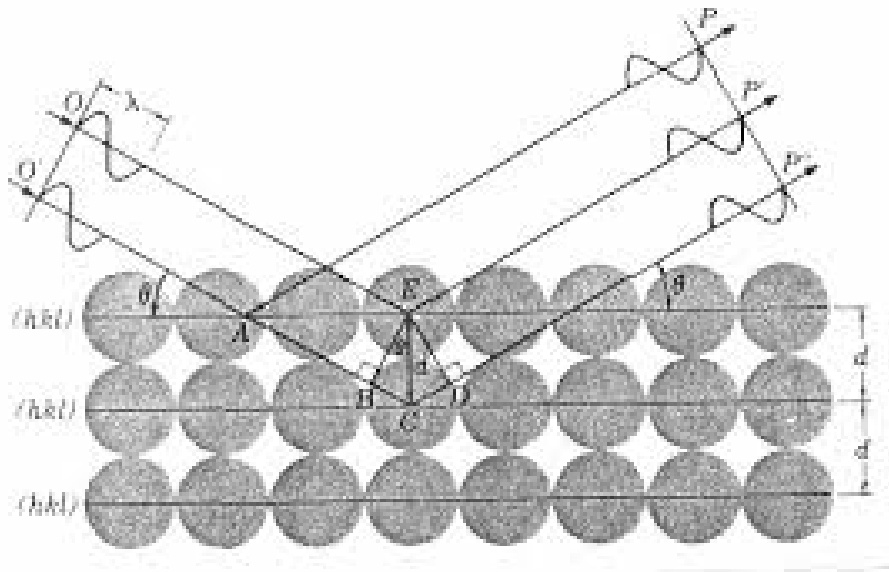
Kod apsorpcije, dvije zrake koje su nastale dvolomom mogu biti i različito apsorbirane, kao što je to kod turmalina kod kojeg je ordinarna zraka potpuno apsorbirana i koristi se kao polarizator, dok druga zraka prolazi nesmetano kroz mineral. Polarizacija refleksijom se zasniva na činjenici da se svjetlo koje je reflektirano s nemetalične plohe djelomično polarizira. Prema Brewsterovom zakonu stupanj polarizacije ovisi o kutu upada između reflektirane i refraktirane zrake, te je najveća polarizacija pod kutom od  $90^\circ$  (Vrkljan et al. 2019).

#### 4.2.1.1. Priprema uzorka i eksperimentalni dio

Uzorci su ispiljeni na pločice, potom zalijepljeni na predmetno stakalce uz pomoć kanadskog balzama, te brušeni abrazivnim prahom do debljine 0,02–0,03 mm i na kraju pokriveni pokrovnim stakalcem. Preparati su promatrani u uvjetima bez uključenog analizatora i uvjetima s uključenim analizatorom (ortoskopski uvjeti). U uvjetima bez uključenog analizatora promatran je oblik zrna, prisutnost kalavosti, pseudoapsorpcija, vlastita boja minerala, pleokroizam. S uključenim analizatorom promatrane su interferencijske boje, potamnjenje i optički karakter izduženja. Uzorka Lojane 3 nije bilo dovoljno kako bi se napravio preparat za daljnju analizu.

#### 4.2.2. Difrakcija rendgenskih zraka na prahu (XRPD)

Difrakcija rendgenskih zraka na prahu je kristalografska metoda koja se primjenjuje za kvalitativnu faznu analizu uzoraka. Difrakcija se temelji na raspršenju rendgenskih zraka, koje su reda veličine  $1\text{Å}$ , na elektronima. Difrakcija na mrežnoj ravnini dogodit će se ako se zadovolje geometrijski uvjeti pomoću Braggovog zakona ( $n\lambda = 2d\sin$ ) (Azároff 1968). Prema Braggovom zakonu (Slika 7), međumrežne ravnine koje se nalaze pod određenim kutom u odnosu na smjer upada zraka, gdje će razlika u hodu između reflektiranih zraka od međumrežnih ravnina biti jednaka cijelom broju višekratnika valne duljine zračenja te ujedno dolazi i do pojačavanja intenziteta zraka interferencijom. Svi minerali imaju svoju karakterističnu sliku difrakcije koja se uspoređuje sa standardiziranim uzorcima u bazi podataka (Slovenec 2011).



Slika 7. Braggov zakon (Azároff 1968)

#### 4.2.2.1. Priprema uzoraka i eksperimentalni dio

Uzorci su smrvljeni u ahatnom tarioniku i pripremljeni za snimanje. Uzorci su stavljeni na aluminijev nosač, te su analizirani na Mineraloško-petrografskom zavodu Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Korišten je difraktometar za prah Philips PW 3050/60 X'Pert PRO, uz bakreno zračenje ( $\lambda = 1.54060 \text{ \AA}$ ) pri 40mA i 40 kV. Uzorci su snimani u rasponu  $4^\circ - 65^\circ 2\theta$ , korak snimanja je  $0,02^\circ/2\theta$ . Uzorci (Slika 5) su podijeljeni na dodatne faze s obzirom na oblik zrna, boju, teksturu faza. Analizirano je 10 uzoraka i računalnom obradom dobivenih difraktograma u programu X'Pert High Score Plus (Panalytical 2004) i usporedbom s podacima iz baze podataka PDF2 (ICDD 2004) dobiveni su rezultati analize.

## 5. Rezultati

### 5.1. Makroskopski opis uzoraka

Uzorak Lojane 1 predstavlja stijenu sa žilom od karbonatnih minerala i kremenom, došlo je do zapunjavanja otvorenog prostora, te su vidljive češljaste, simetrične i kokardna tekstura (Slika 5a).

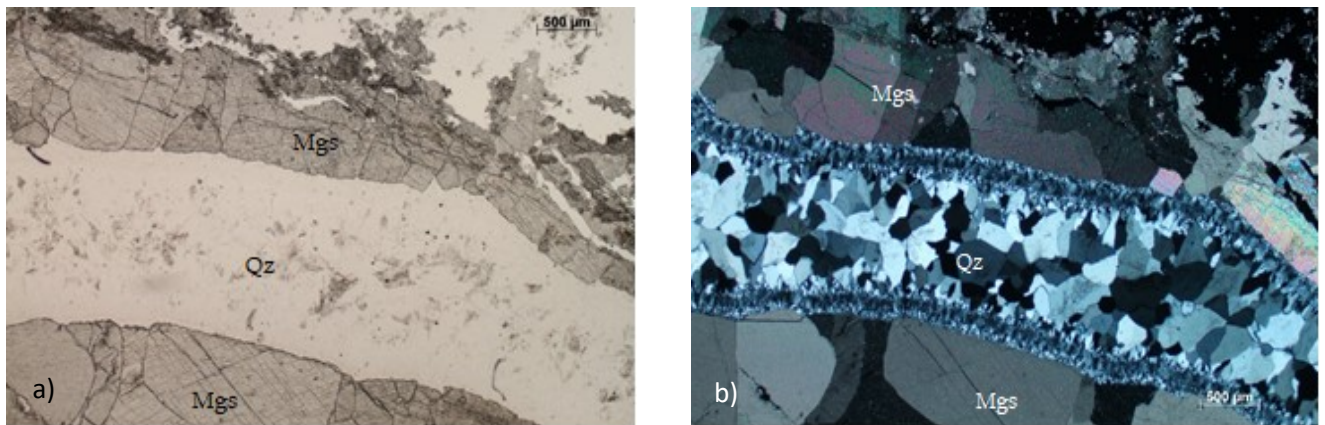
Uzorak Lojane 2 predstavlja tamnu masivnu stijenu masnog sjaja, s brojnim žilama kvarca. Žila kremenom ima vidljivu krustifikaciju (Slika 5b).

Uzorak Lojane 3 je također tamna masivna stijena masnog sjaja, s vidljivom žilom u lijevom rubu (Slika 5c).

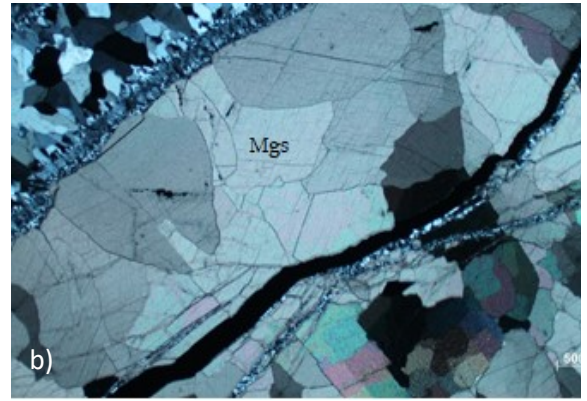
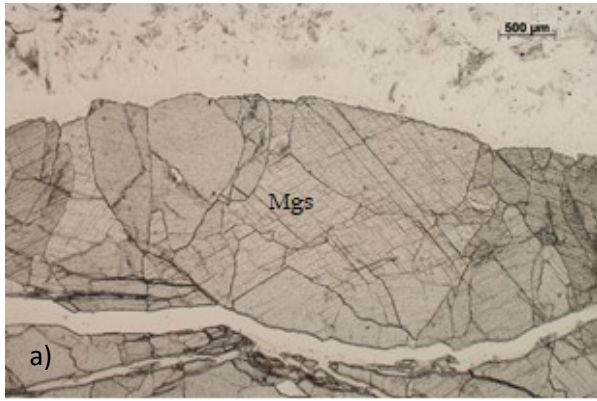
Uzorak Lojane 4 je stijena bez sjaja, vidljive su žile kremenom i serpentina. Vidljiva je kokardna tekstura te je riječ o zapunjavanju otvorenog prostora (Slika 5d).

### 5.2. Polarizacijska mikroskopija

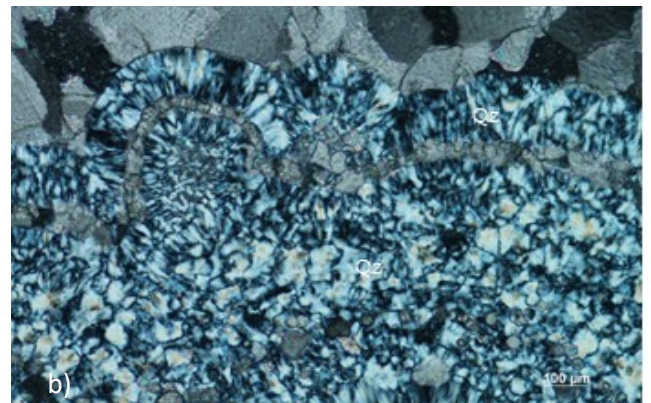
Uzorak Lojane 1 predstavlja žilu ispunjenu karbonatnim mineralima i kremenom koja presijeca stijenu. Od minerala su prisutni dolomit ili magnezit (ili kalcit) (Slika 8, Slika 9), kremen (Slika 10).



Slika 8. Mikroskopski uzorak Lojane 1 a) bez analizatora b) s analizatorom ( Qz-kremen, Mgs- magnezit); Vidljiva simetrična tekstura

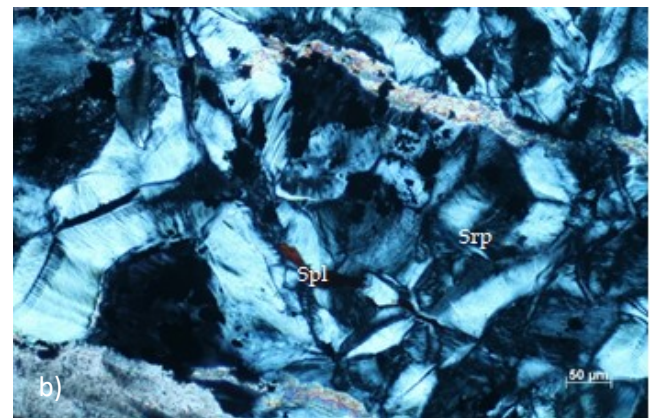
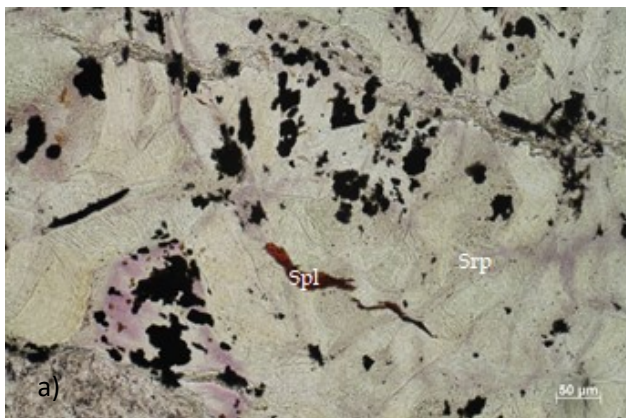


Slika 9. Mikroskopski uzorak Lojane 1 a) bez analizatora b) s analizatorom (za kratice vidjeti sliku 8)

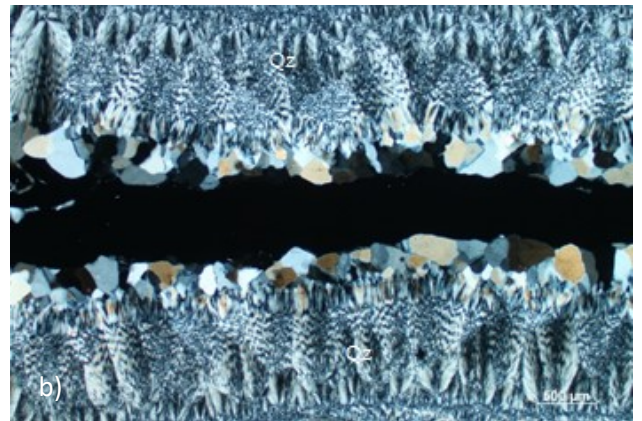
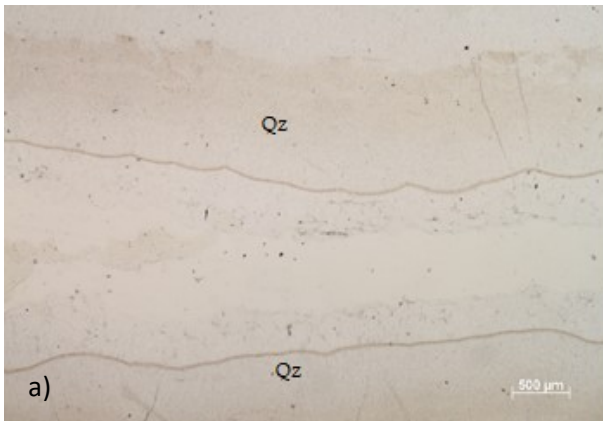


Slika 10. Mikroskopski uzorak Lojane 1 a) bez analizatora b) s analizatorom (za kratice vidjeti sliku 8); vidljiva krustifikacija

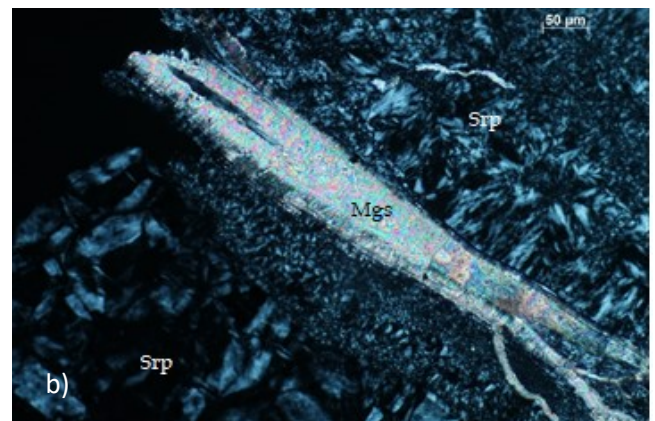
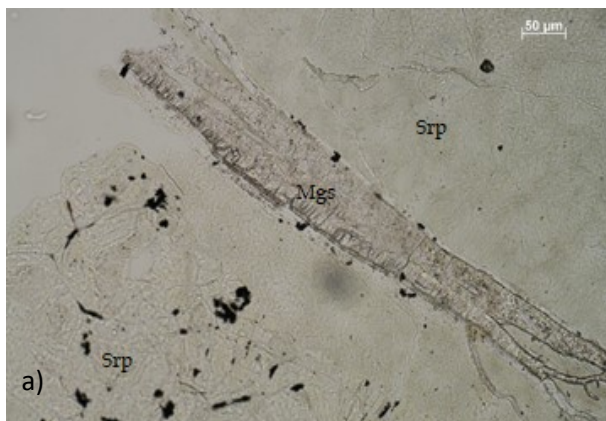
Uzorak Lojane 2 predstavlja tamnu masivnu stijenu boje sa izraženom kremenovom žilom. Od minerala prisutni su serpentin i spinel (Slika 11), kremen (Slika 12) magnezit (ili dolomit ili kalcit) (Slika 13).



Slika 11. Mikroskopski uzorak Lojane 2 a) bez analizatora b) sa analizatorom (Spl- spinel, Srp- serpentin)

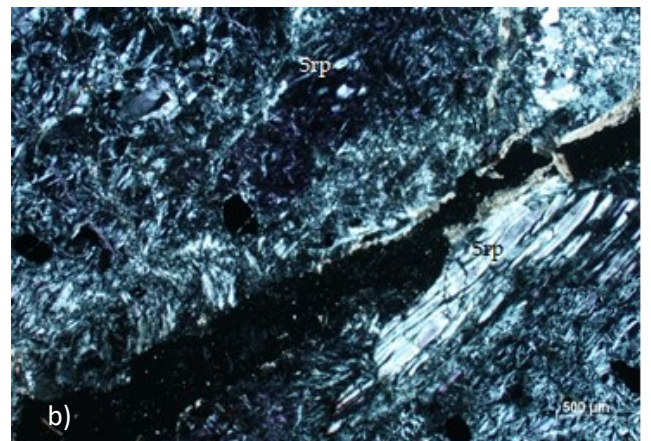
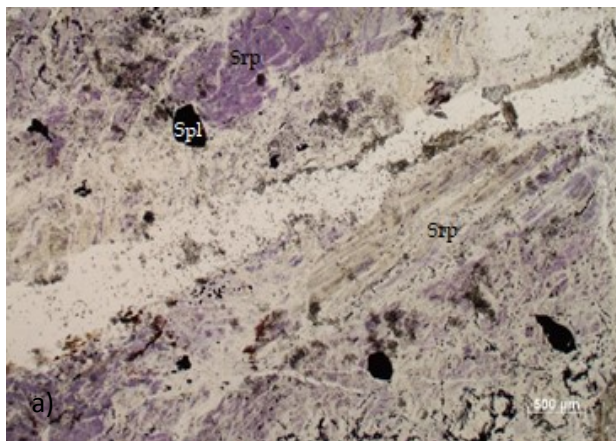


Slika 12. Mikroskopski uzorak Lojane 2 a) bez analizatora b) sa analizatorom ( za kratice vidjeti sliku 8) vidljiva simetrična tekstura

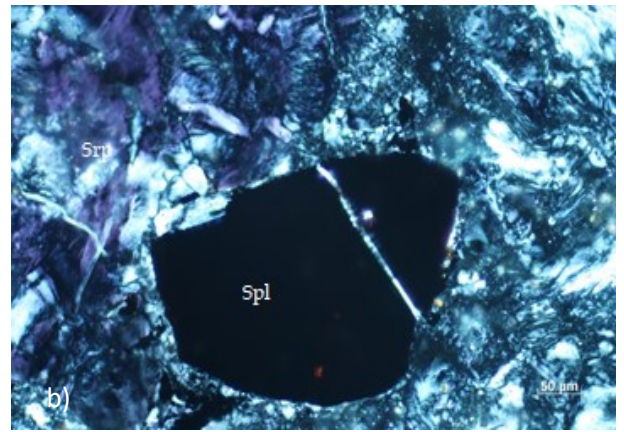
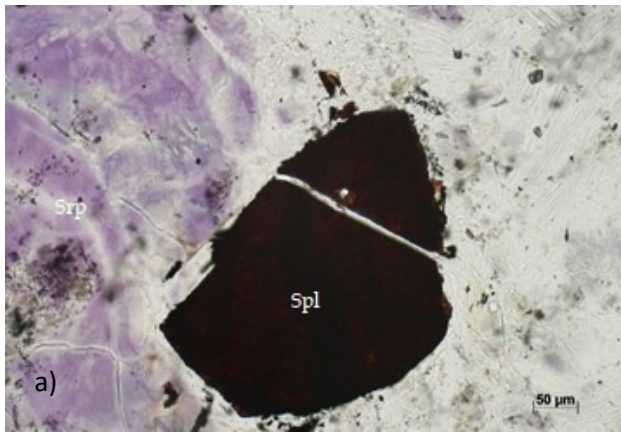


Slika 13. Mikroskopski uzorak Lojane 2 a) bez analizatora b) sa analizatorom (za kratice vidjeti slike 8 i 11)

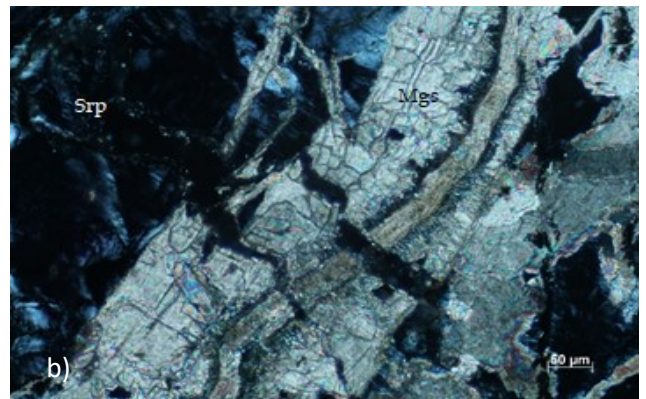
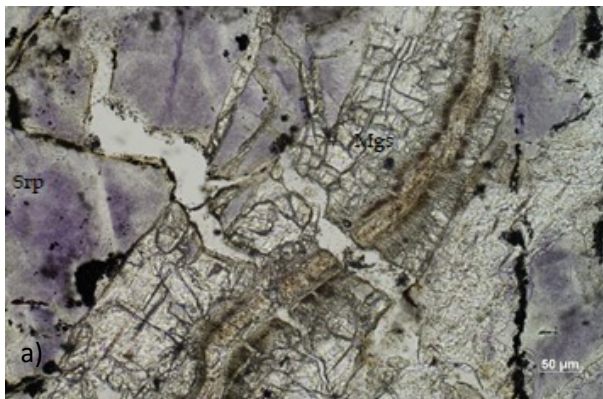
Uzorak Lojane 4 čini stijenu sa brojnim žilicama u kojoj su prisutni serpentin (Slika 14), spinel (Slika 15), dolomit ili magnezit (ili kalcit) (Slika 16).



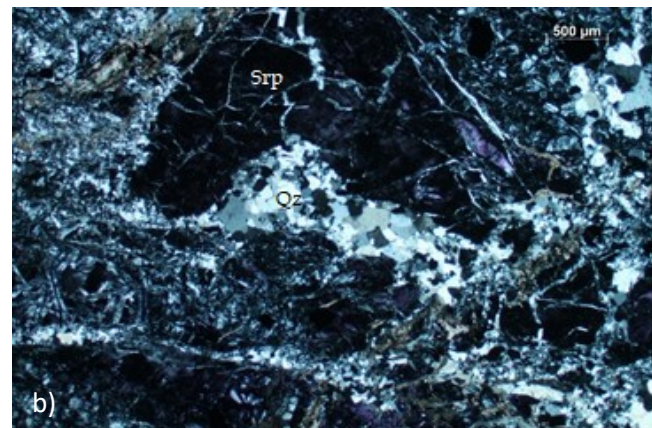
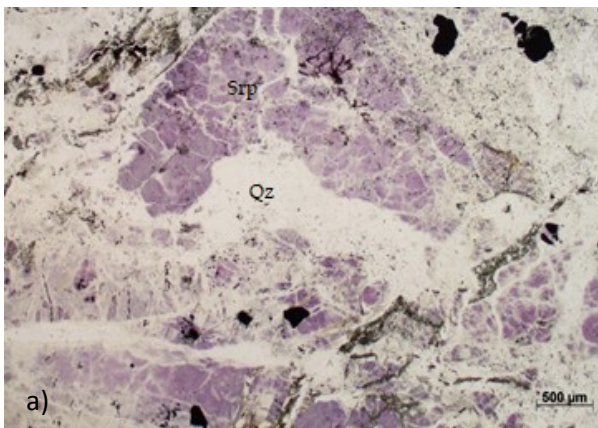
Slika 14. Mikroskopski uzorak Lojane 4 a) bez analizatora b) s analizatorom (za kratice vidjeti sliku 11)



Slika 15. Mikroskopski uzorak Lojane 4 a) bez analizatora b) s analizatorom (za kratice vidjeti sliku 11)

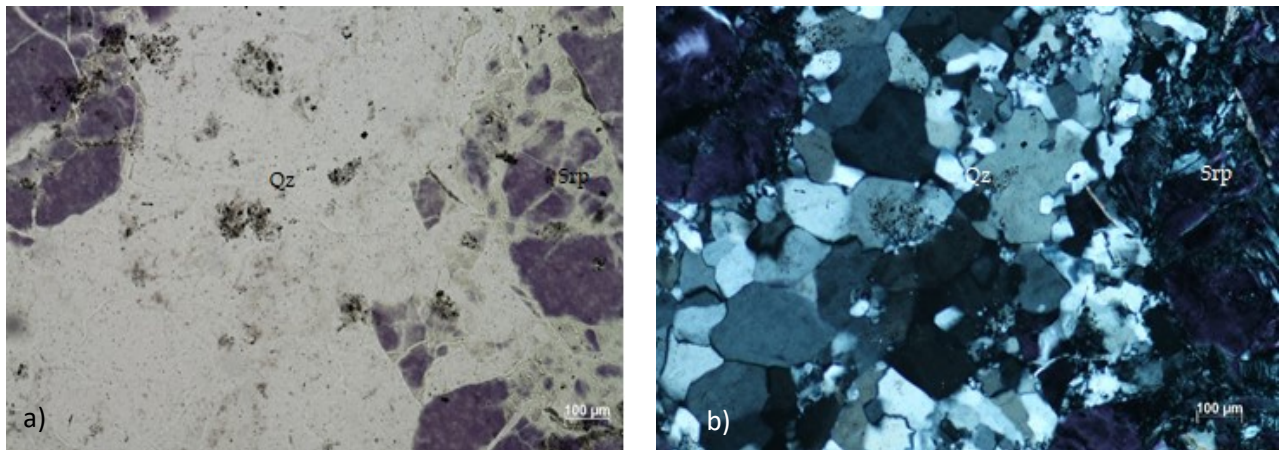


Slika 16. Mikroskopski uzorak Lojane 4 a) bez analizatora b) s analizatorom (Kratice vidi sliku 8 i sliku 11)



Slika 17. Mikroskopski uzorak Lojane 4 a) bez analizatora b) sa analizatorom (Kratice vidi sliku 8 i 11)





Slika 18. Mikroskopski uzorak Lojane 4 a) bez analizatora b) sa analizatorom (Kratice vidi sliku 8 i sliku 11)

Minerali su prepoznati po optičkim svojstvima koje pokazuju. Karbonatni minerali koji mogu biti prisutni u uzorcima su magnezit, dolomit ili kalcit (Slika 9). U uvjetima bez analizatora su najčešće alotriomorfna zrna, bezbojni sa vidljiva dva sustava kalavosti, opaža se pseudoapsorpcija, reljef je umjereno visok do nizak. S uključenim analizatorom interferiraju u boji višeg reda i potamne simetrijski s obzirom na pukotine kalavosti. Kremen se (Slika 12) u uvjetima bez analizatora može prepoznati po vrlo niskom reljefu koji je pozitivan, bezbojan je, javlja se u igličastu obliku, u uvjetima s analizatorom interferira u bijeloj i sivoj boji prvog reda i ima undulozno potamnjenje. Serpentin (Slika 14) u uvjetima bez analizatora se javlja u obliku alotriomorfni zrna, niskog reljefa te su pojedina zrna obojena blago zeleno, a pojedina blago ljubičasto. U uvjetima s analizatorom interferira u bijelo-sivoj boji prvoga reda te potamni paralelno, a ponegdje su vidljive i pukotine. U mikroskopskim preparatima su ponegdje prisutni i opaki minerali poput spinela (Slika 15), u uvjetima bez analizatora je visokog reljefa, zrna su hipidiomorfna te je crveno-smeđe boje, u uvjetima s analizatorom je taman zbog izotropnosti. Javlja se još i magnetit koji je bez uključenog analizatora crven, visokog reljefa, alotriomorfno oblika (Slika 11), a u uvjetima s uključenim analizatorom je iste boje.

### 5.3. Rentgenska difrakcija na prahu (XRPD)

Rentgenskom difrakcijom na prahu analizirano je deset uzoraka. Aluminij (slike 25, 30, 31, 32) na pojedinim difraktogramima potječe od aluminijeva nosača.

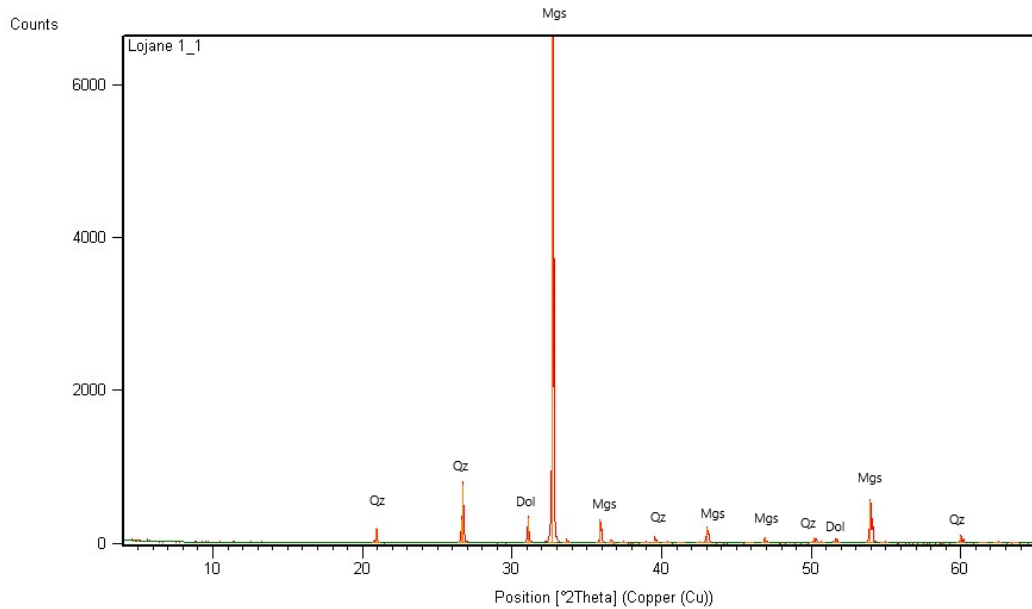
S uzorka Lojane 1 odvojene su četiri faze (Slika 19) s obzirom na veličinu zrna i boju faze, te su snimljena četiri difraktograma: Lojane 1\_1 (Slika 20), Lojane 1\_2 (Slika 21), Lojane 1\_3 (Slika 22) i Lojane 1\_4 (Slika 23).



*Slika 19. Odvojene faze uzorka Lojane 1; 1-Lojane 1\_1, 2- Lojane 1\_2, 3- Lojane 1\_3, 4-Lojane 1\_4*

## Lojane 1\_1

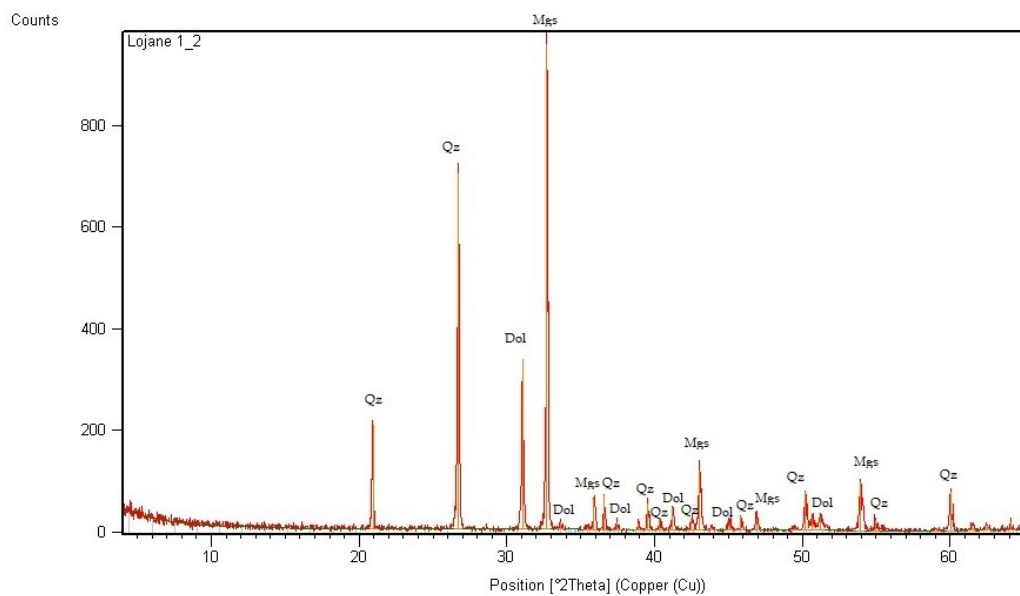
Rentgenskom difrakcijom na prahu u uzorku Lojane 1\_1 utvrđeni su kremen, magnezit i dolomit.



Slika 20. Difraktogram uzorka Lojane 1\_1, (Dol- dolomit, za ostale kratice vidjeti sliku 8)

## Lojane 1\_2

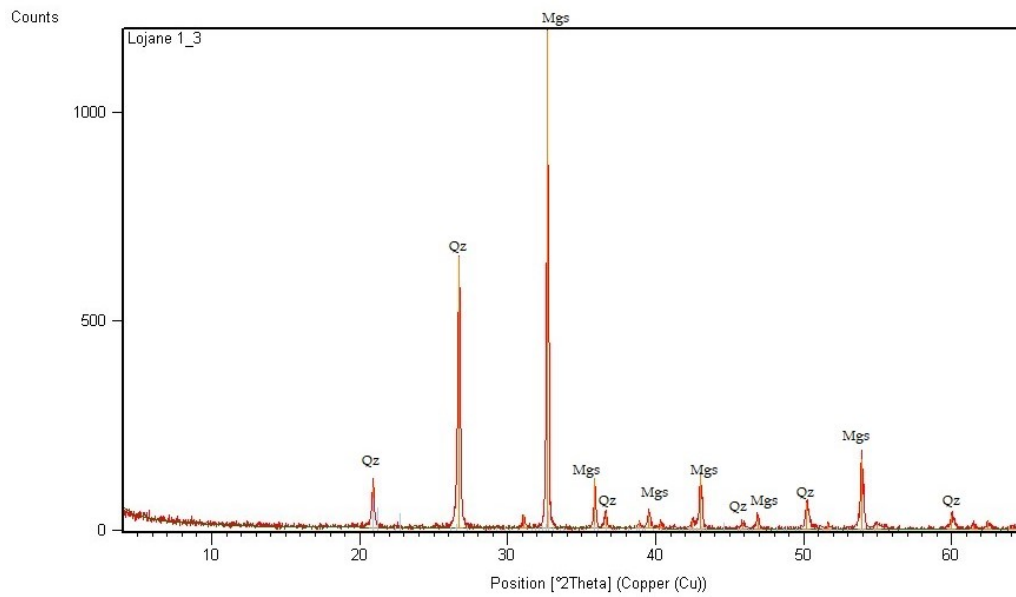
Rentgenskom difrakcijom na prahu u uzorku Lojane 1\_2 utvrđeni su dolomit, magnezit i kremen.



Slika 21. Difraktogram uzorka Lojane 1\_2 (za kratice vidjeti sliku 8 i 20)

### Lojane 1\_3

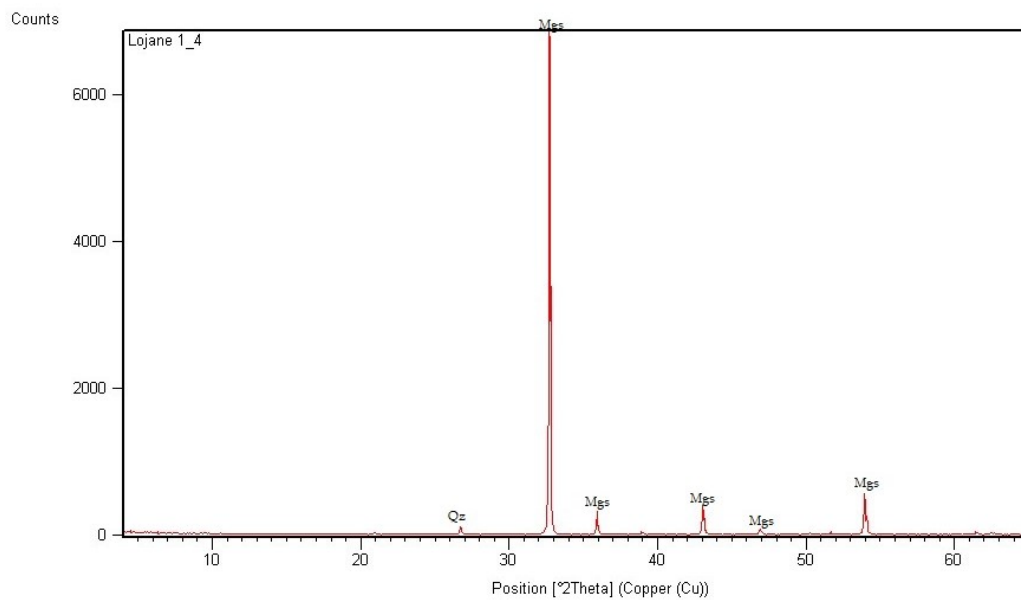
Rentgenskom difrakcijom na prahu u uzorku Lojane 1\_3 utvrđeni su kremen i magnezit.



Slika 22. Difraktogram uzorka Lojane 1\_3, ( za kratice vidjeti sliku 8)

### Lojane 1\_4

Rentgenskom difrakcijom na prahu u uzorku Lojane 1\_4 utvrđeni su magnezit i kremen.



Slika 23. Difraktogram uzorka Lojane 1\_4 (za kratice vidjeti sliku 8)

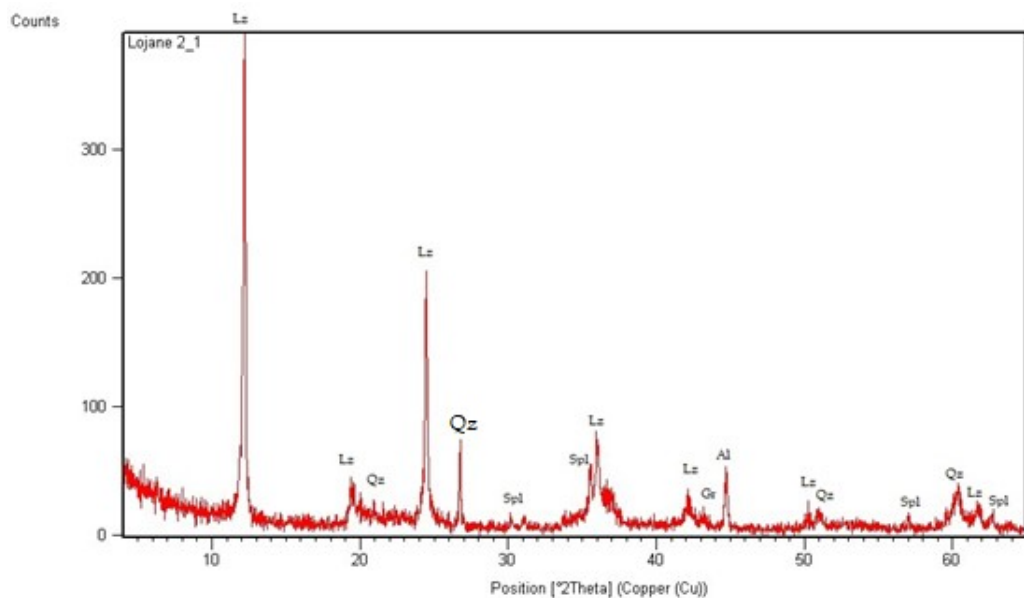
S uzorka Lojane 2 odvojene su dvije faze (Slika 24) u odnosu na boju i teksturu faze i snimljena su dva difraktograma: Lojane 2\_1 (Slika 25) i Lojane 2\_2 (Slika 26).



Slika 24. Odvojene faze uzorka Lojane 2; 1- Lojane 2\_1, 2- Lojane 2\_2

### Lojane 2\_1

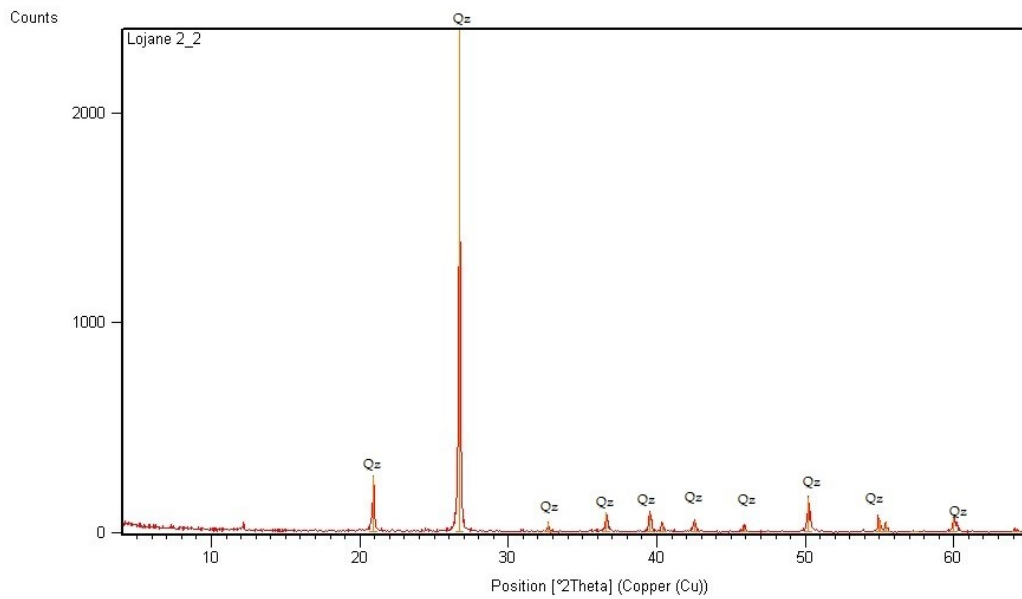
Rentgenskom difrakcijom na prahu u uzorku Lojane 2\_1 utvrđeni su lizardit, kremen, spinel i grafit.



Slika 25. Difraktogram uzorka Lojane 2\_1 (Lz-lizardit, Gr- grafit, za ostale kratice vidjeti Slika 8 i Slika 11)

## Lojane 2\_2

Rentgenskom difrakcijom na prahu u uzorku Lojane 2\_2 utvrđen je kremen.



Slika 26. Difraktogram uzorka Lojane 2\_2 (kratice vidi Slika 8)

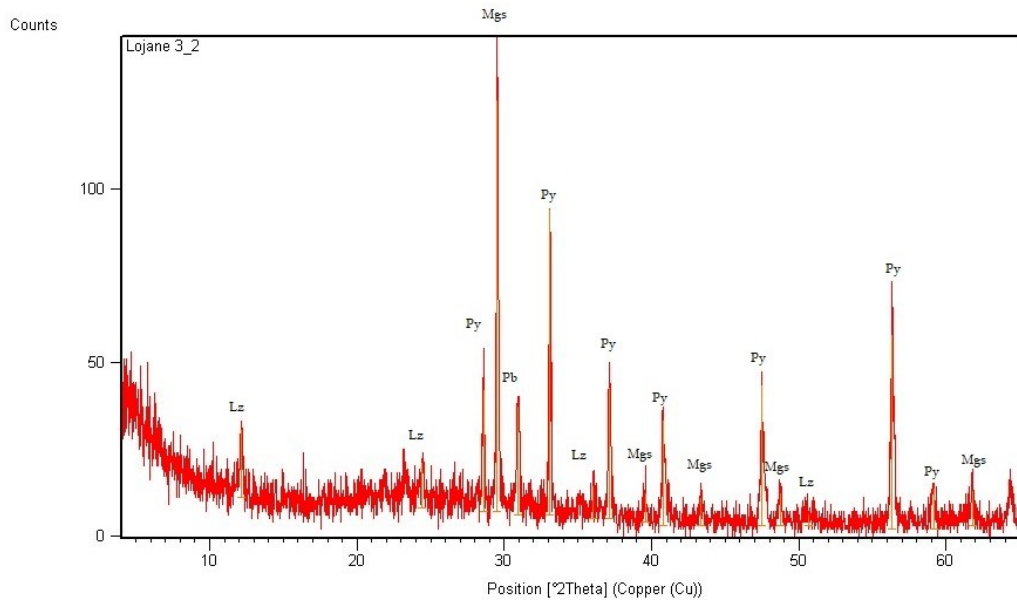
S uzorka Lojane 3 (Slika 27) odvojena je jedna faza na temelju boje faze i snimljen je jedan difraktogram: Lojane 3\_2 (Slika 28) jer za fazu Lojane 3\_1 nije bilo dovoljno uzorka za snimiti difraktogram.



Slika 27. Odvojene faze uzorka Lojane 3; 1- Lojane 3\_1, 2- Lojane 3\_2

## Lojane 3\_2

Rentgenskom difrakcijom na prahu u uzorku Lojane 3\_2 utvrđeni su pirit, magnezit, lizardit.



Slika 28. Difraktogram uzorka Lojane 3\_2 (Py-pirit, Pb-olovo, za ostale kratice vidjeti slike 8 i 11)

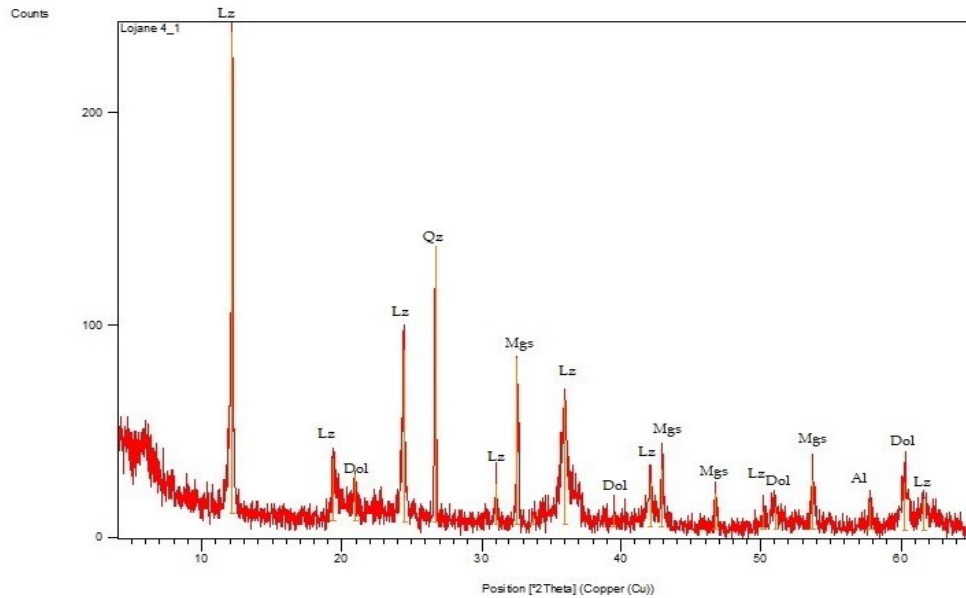
S uzorka Lojane 4 odvojene su tri faze (Slika 29) na temelju veličine zrna i boje faza i odvojena su tri difraktograma: Lojane 4\_1 (Slika 30), Lojane 4\_2 (Slika 31) i Lojane 4\_3 (Slika 32).



Slika 29. Odvojene faze na uzorku Lojane 4; 1- Lojane 4\_1, 2- Lojane 4\_2, 3- Lojane 4\_3

## Lojane 4\_1

Rentgenskom difrakcijom na prahu u uzorku Lojane 4\_1 utvrđeni su lizardit, dolomit, magnezit, kremen.

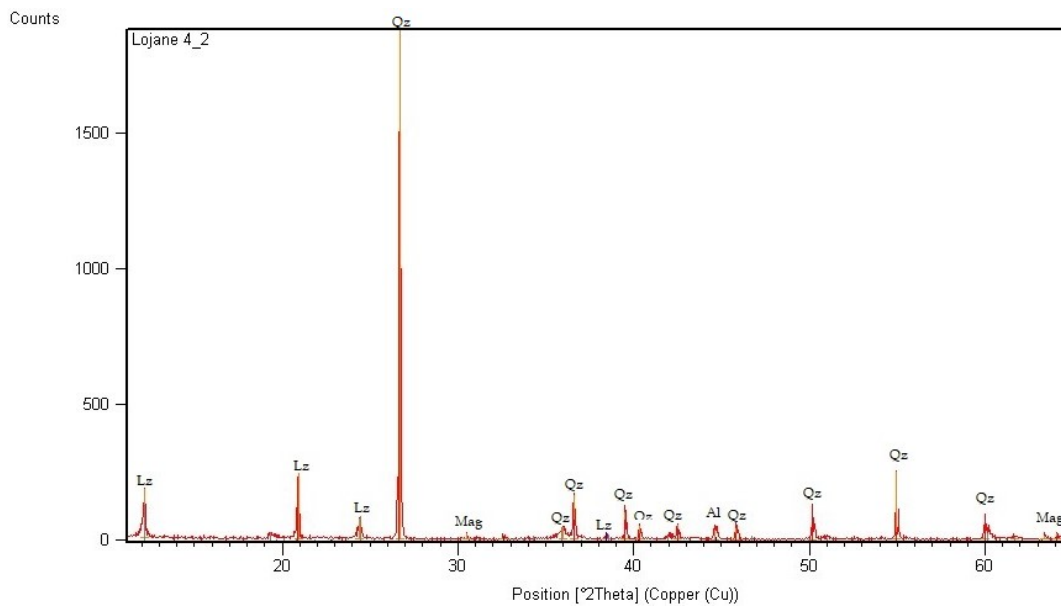


Slika 30. Difraktogram uzorka Lojane 4\_1 (za kratice vidjeti Slika 8, 20 i 25)

## Lojane 4\_2

Rentgenskom difrakcijom na prahu u uzorku Lojane 4\_2 utvrđeni su kremen, lizardit, magnetit.

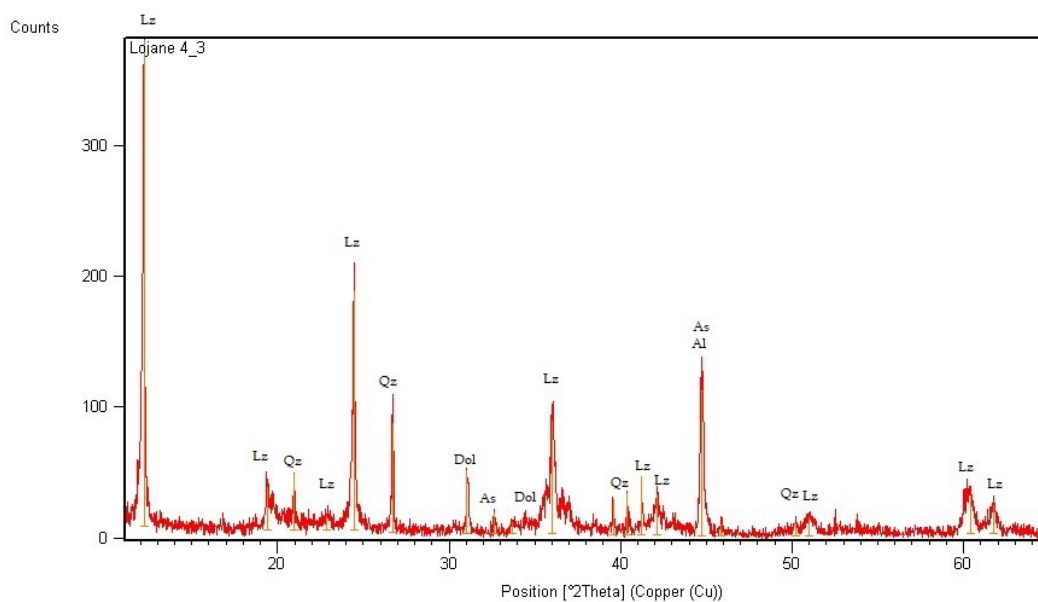




Slika 31. Difraktogram uzorka Lojane 4\_2 (Mag- magnetit, za ostale kratice vidjeti Slika 11 i Slika 25)

### Lojane 4\_3

Rentgenskom difrakcijom na prahu u uzorku Lojane 1\_2 utvrđeni su lizardit, kremen, dolomit, arsen.



Slika 32. Difraktogram uzorka Lojane 4\_3 (As- arsen, Al- aluminij, za ostale kratice vidjeti slike 8, 11, 20 i 25)

## 6. Rasprava

Mineralno ležište Lojane karakterizira pojava žila unutar stijena što je i vidljivo na uzorcima (Slika 5), prvenstveno uzorak Lojane 1 kojeg čini stijena sa karbonatnom žilom i žilom kremenca (Slika 5a). Od karbonatnih minerala prisutni su magnezit i dolomit (Slika 8 i 9) no polarizacijskom mikroskopijom ne može se sa sigurnošću reći radi li se o magnezitu, dolomitu ili možda kalcitu zato što sva tri minerala imaju vrlo slična optička svojstva (pseudoapsorpcija, reljef, interferencijska boja...). Rentgenskom difrakcijom na prahu utvrđeno je da se u uzorku Lojane 1 (slike 20–23) ipak radi o magnezitu i dolomitu, te da kalcit nije prisutan. Pojava magnezita i dolomita je vrlo karakteristična za serpentinite (Bermanec 1999) Magnezit nastaje alteracijom iz magnezijem bogatih stijena (npr. peridotiti ili serpentiniti) tijekom cirkulacije vrućih otopina koje sadrže CO<sub>2</sub> i koje ovise o temperaturi i tlaku (Evans 1993). Dolomit se javlja u asocijaciji s magnezitom te nastaje istim procesima kao i magnezit, samo pri različitoj temperaturi i tlaku u odnosu na magnezit. Rentgenskom difrakcijom na prahu utvrđeno je da se nalazi u uzorku Lojane 1 (slike 20, 21). Uzorak Lojane 2 čini žila kremenca unutar stijene. Na temelju korištenih metoda za analizu, polarizacijske mikroskopije i rendgenske difrakcije na prahu, vidljivo je da je riječ o kvarcnoj ispuni (slike 12 i 26). Pukotine su se pojavile zbog utjecaja tektonskih sila tijekom rasjedanja na tom području, gdje su cirkulirajući fluidi zapunili taj prostor i kristalizirali u obliku krustifikacije (Slika 5). Kremen se pojavljuje u obliku iglica (Slika 12) što ukazuje da je nastao na niskim temperaturama (Bermanec 1999), a takvi su uvjeti karakteristični za epitermalna ležišta (Evans 1993). Vrlo slično epitermalno ležište nalazi se na Novom Zelandu, kojeg također karakterizira žilna ispuna u stijenama, pukotine su ispunjene cirkulirajućim hidrotermalnim fluidima, tijekom zapunjavanja otvorenog prostora kristalizirajući u obliku kokardne, češljaste i simetrične teksture (Christie et al. 2007). Lizardit koji se nalazi u sastavu stijene uzorka Lojane 2 (Slika 25), Lojane 3 (Slika 28) i Lojane 4 (Slika 30) govori da se na području lokaliteta Lojane dogodila alteracija primarnih stijena (Tasev et al. 2018) jer serpentini primarno nastaju alteracijama iz olivina, amfibola i piroksena (Bermanec i Slovenec 2006). Da serpentina ima u uzorku, vidljivo je na difraktogramu (Slika 25) te slici mikroskopskog uzorka (Slika 13). Najčešće u asocijacijama s mineralima serpentina dolaze i minerali grupe spinela (Bermanec 1999) što je vidljivo u uzorku Lojane 2 (Slika 11) koji potječu vrlo često iz bazičnih ili ultrabazičnih stijena. Ponekad je vrlo teško odrediti u polarizacijskoj mikroskopiji radi li se o spinelu, kromitu ili magnetitu (minerali grupe spinela) jer su vrlo slične boje (crvene, crveno-smeđe), no rentgenskom difrakcijom na prahu je utvrđeno da je riječ o spinelu (Slika 25). Pojava pirita u uzorku Lojane 3 (Slika 28) utvrđena je samo metodom

rendgenske difrakcije jer u polarizacijskoj mikroskopiji nije bio primijećen. Pirit može ukazivati na reduktivne uvjete u sustavu, te se često nalazi u sastavu serpentinita. Pirit ima i značajnu ulogu kod određivanja količine zlata u ležištu zato što tijekom precipitacije sumpora će se precipitirati i zlato (Christie et al. 2007).

## 7. Zaključak

Tijekom analize uzoraka sa lokaliteta Lojane, utvrđeno je sljedeće:

- Najčešći minerali u uzorcima su magnezit, dolomit, kvarc i lizardit
- Akcesorni minerali koji se javljaju su minerali grupe spinela (spinel, magnetit), pirit
- Mineralizacija se događa uslijed cirkuliranja fluida kroz pukotine u stijenama gdje i kristalizira
- Igličasti oblik kvarca koji su posloženi u obliku siga, karakteriziraju nisku temperaturu prilikom kristalizacije
- Magnezit nastaje alteracijom magnezijem bogatih stijena, odnosno vruće otopine bogate CO<sub>2</sub> prenose ione magnezija do mjesta gdje i kristalizira, pretežno zajedno s dolomitom
- Lizardit, mineral grupe serpentina- kaolina je također vjerojatno nastao alteracijskim procesima najčešće iz olivina, piroksena i amfibola
- Najveći dio zauzima serpentinski masiv nastao alteracijom magmatskih stijena
- Mineralno ležište prema svojim mineraloškim karakteristikama bi moglo pripadati epitermalnom tipu ležišta

## 8. Literatura

Alderon, D., Serafimovski, T., Burns, L., Tasev, G. (2014): *Distribution and mobility of arsenic and antimony at mine sites in Fry Macedonia*. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences 9, 43–56.

Auge, T., Morin, G., Bailly, L., Serafimovski, T. (2017): *Platinum-group minerals and their host chromitites in Macedonian ophiolites*. Eur. J. Mineral 29, 585–596.

Azáróff, L. V (1968): *Elements of X-ray crystallography*. Mcgrawhill book Co. New York, broj stranica dodati.

Bermanec, V. (1999): *Sistematska mineralogija- mineralogija nesilikata*, Targa, Zagreb, 83-105.

Bermanec, V. i Slovenec, D.(2006): *Sistematska mineralogija- mineralogija silikata*, Zagreb,

Boev, B., Lepitkova, S., Petrov, G. (2002): *Granitoid formations in the Republic of Macedonia*, Proceedings of XVII. Congress of Carpathian-Balkan Geological Association and Guide to Geological Excursions, 53, 1-22.

Christie, B. A, Simpson, P. M., Barker, R. G., Breathwaite, R. L. (2007): *Exploration for epithermal Au–Ag deposits in New Zealand: History and strategy*. New Zealand Journal of Geology and Geophysics 62, 414–441.

Đorđević, T., Kolitsch, U., Serafimovski, T., Tasev, G., Tepe, N., Stogler- Pollach, M., Hofmann, T., Boev, B. (2019): *Mineralogy and weathering of realgar-rich tailings at a former As-Sb-Cr mine at Lojane, North Macedonia*. The Canadian Mineralogist 57, 403–423.

Evans, A. M. (1993): *Ore geology and industrial minerals*. Blackwell, Singapur, 290–294.

ICDD (2004): *Powder Diffraction File, PDF-2 DATABASE SETS* 1–46. Pennsylvania

Kolitsch, U., Đorđević, T., Tasev, G., Serafimovski, T., Boev, I., Boev, B. (2018): *Supergene mineralogy of the Lojane Sb-As-Cr deposit*. Geologica Macedonica 32, 95–117.

Panalytical (2004): X'Pert HighScore Plus. version 2.1 ed. Almelo, Nizozemska: Panalytical.

Serafimovski, T., Janković, S. (2000): *General metallogenic features and comparison of the Metalliferi mountains and the Lece-Chalkidiki metallogenic zone*. *Geologica Macedonica* 14, 1–84.

Serafimovski, T., Tasev, G., Strmić Palinkaš, S., Palinkaš, L., Gjorgijev, L. (2016): *Porphyry Cu mineralization related to the small tertiary volcanic intrusions in the Bučim ore deposit, Eastern Macedonia*, *Geologia Croatica* 12, 101–119.

Tasev, G., Serafimovski, T., Boev, B., Gjorgijev, L. (2018): *Morphological types of mineralization in the Lojane As-Sb deposit, Republic of Macedonia*. SGEM: Exploration and Mining, 2018. Bugarska

Vrkljan, M., Borojević Šoštarić, S., Tomašić, N. (2019): *Optička mineralogija, određivanje minerala polarizacijskim mikroskopom*, Zagreb, 17-47.