

# Појава Pb-Bi-(Cu) сулфосоли на локалитету Мушића Ријека, Босна и Херцеговина

Јовичић Павле



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

**[ДР РГФ]**

Појава Pb-Bi-(Cu) сулфосоли на локалитету Мушића Ријека, Босна и Херцеговина | Јовичић Павле || 2022 ||

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006651>

**Универзитет у Београду**  
**Рударско-геолошки факултет**



**Завршни рад**  
**Основне академске студије**  
**Појава Pb-Vi-(Cu) сулфосоли на локалитету**  
**Мушића Ријека, Босна и Херцеговина**

**Кандидат**

**Јовичић Павле**

**Г124/20**

**Ментор**

**Др Александар Пачевски**

**Београд, септембар, 2022.**

**Комисија:**

1. Др Александар Пачевски, ванредни професор, ментор

---

Рударско-геолошки факултет, Београд

2. Др Александар Кременовић, редовни професор, члан

---

Рударско-геолошки факултет, Београд

3. Др Даница Срећковић Батоћанин, редовни професор, члан

---

Рударско-геолошки факултет, Београд

**Датум одбране:** \_\_\_\_\_

## РЕЗИМЕ

На локалитету Мушића Ријека (планина Озрен, Босна и Херцеговина) пронађене су орудњене кварцне жице са појавом непознатих сулфосоли. Применом рудне микроскопије, СЕМ-ЕДС анализе и методе рендгенске дифракције, детектоване су различите врсте Pb-Bi-(Cu) сулфосоли – ајкинит, козалит, нејит, купронејит и лилијанит. Дефинисане су њихове основне особине и указано је на проблематику везану за саму генезу.

Кључне речи: *Озрен, Мушића Ријека, сулфосоли, бизмут.*

## САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
2. ОПШТИ ДЕО.....	3
Географски положај.....	3
Геолошка грађа.....	4
Преглед ранијих истраживања.....	9
Материјал и методе испитивања.....	10
Израда рудномикроскопских препарата.....	10
Скенирајућа електронска микроскопија (СЕМ).....	12
Метода рендгенске дифракције.....	15
3. СПЕЦИЈАЛНИ ДЕО.....	18
Резултати истраживања.....	18
4. ДИСКУСИЈА.....	29
5. ЗАКЉУЧАК.....	31
6. ЛИТЕРАТУРА.....	32
Захвалност.....	33

## 1. УВОД

Циљ овог завршног рада је детерминисање ретких сулфосоли са локалитета Мушића Ријека, као и одређивање њихових карактеристика, са освртом на њихову генезу. Главни разлог за покретање истраживања, које је иницирано овим завршним радом, је недовољно сазнање о појави и условима образовања ретких Pb-Bi-(Cu) сулфосоли од којих је већина први пут откривена на овом локалитету. Притом ове сулфосоли, које могу да се окарактеришу и као сулфосоли бизмута, представљају ретке, а неке од њих можда и по први пут откривене минерале чак и на подручју бивше Југославије. Кроз ово истраживање отвара се могућност и за откривањем нових минералиних врста.

Термин сулфосоли, усвојили су хемичари у 19. веку, по аналогији са комплексним солима кисеоника, као што су сулфати, фосфати, арсенати, антимонати, арсенити и антимонити. Оксосоли генерално одговарају комбинацији једноставних катјона са комплексним анионом. У сулфосолима, сумпор има улогу кисеоника, формирајући комплексне анионе. Иако је конфигурација у већини студија о сулфосолима компликованија од оних које се срећу у оксосолима, термин сулфосоли је сачуван као практична категорија у рудној минералогiji. Главни разлог је што сулфосоли формирају генетски добро дефинисану групу која се среће у специфичним условима формирања руде, углавном повезану са хидротермалним процесима. (Makovicky и др. 2008)

Сулфосоли генерално, су минерали из групе сулфида сложеног хемијског састава опште формуле  $A_xB_yS_z$ . На месту А положаја налазе се метали Pb, Cu, Ag, Fe, ређе Hg, Ti, Zn и др, док се на месту В присутни углавном металоиди и поједини метали (најчешће As, Sb и Bi). Ови минерали се одликују често веома

сложеним саставом, не толико због мноштва елемената, колико због њихових стехиометријских односа.

Постоји велики број минерала из групе сулфосоли, а њихова класификација углавном је базирана према стехиометрији или према хемијском саставу. Класификација према саставу се чешће користи и прикладнија је за испитивање рудних асоциација. Не постоји стриктна класификација по саставу, већ се углавном издвајају подгрупе према водећем елементу (Pb, Cu, Ag сулфосоли). (Pačevski A. 2018)

## **2. ОПШТИ ДЕО**

### **Географски положај**

Локалитет Мушића Ријека (слика 1.1), налази се на територији села Порјечина, општини Петрово, на планини Озрен у Републици Српској. Озрен са својом надморском висином од 918м припада појасу нижих планина. Смештен је између реке Босне на западу и реке Спрече на северо-истоку, док ка југу преко долине реке Криваје прелази у планину Коњух. Поред већ поменутих река Босне и Спрече, крајем доминирају мање планинске реке, од којих су значајније Јадрина и Прења.

Село Порјечина је саобраћајно везано за магистрални пут Добој – Тузла, са чијег се искључења на локални пут у дужини од 5 км, лако стиже.





Слика 1.1 Положај локалитета Мушића Ријека. (<http://www.sarajevotimes.com/wp-content/uploads/2014/12/bosna.jpg>)

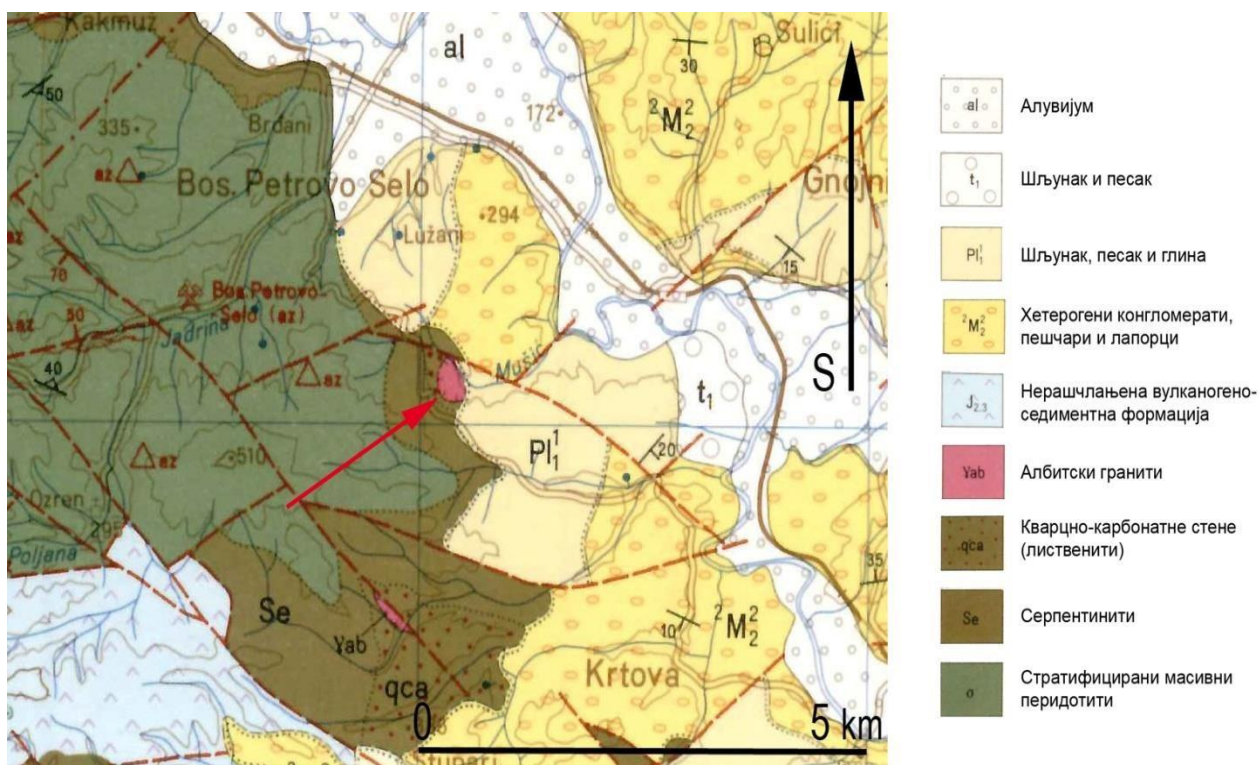
## Геолошка грађа

Подручје одакле воде порекло испитивани примерци, припада офиолитском комплексу масива Озрена који се највећим делом налази на листу Завидовићи Основне геолошке карте 1:100.000 (слика 1.2). Масив Озрена претежно је изграђен од стена вулканогено-седиментне формације која налаже нормално преко јурских седимената. Тријаске творевине су представљене кречњацима и ређе доломитима. Поред тога, заступљене су и терцијарне стене

које на подручју листа Завидовићи граде неколико неогених басена, док је квартар развијен само дуж речних долина. (Kapelar I., i dr. 1973)

Најраспрострањеније творевине у околини локалитета су перидотити и серпентинити који заједно са јурским седиментима чине вулканогено-седиментну формацију. У оквиру ове јединице, ређе се појављују кварцно-карбонатне стене у асоцијацији са албитским гранитима, чија је генеза посебно значајна за настанак испитиваних сулфосоли. Преко ових јединица таложени су неогени седименти док је квартар заступљен у кориту реке Спрече која се налази недалеко.

Описи поменутих геолошких формација преузети су из Тумача геолошке карте листа Завидовићи. (Kapelar i dr. 1973)



Слика 1.2 Положај локалитета Мушића Ријека на геолошкој карти листа Завидовићи и легенда картираних јединица. (Kapelar I., i dr. 1973)

## Перидотити

Перидотитски масиви стоје у јасном тектонском контакту са седиментима вулканогено-седиментне формације. То се манифестује тиме што су мале масе потпуно, а велике у рубним деловима серпентизиране, катаклизиране и милонитизиране. Важно је истаћи да у околним јурским седиментима нису запажене контактне метаморфне промене. Ове чињенице упућују на претпоставку да су ултрамафити интродовани као чврста тела у јурске седименте.

Перидотити имају масивну или паралелну текстуру, док је структура обично зрнаста, ретко порфиرويدна. Често су испресеци густим системима пукотина, који су распоређени тако да условљавају паралелопипедно лучење које се често визуелно запажа. Главни минерали који их изграђују су оливин, енстатит и дијалаг, поред којих долазе секундарно: серпентин, талк, амфибол, хлорит, карбонати и кварц, док се акцесорно јавља спинел.

Петролошки посматрано најзаступљенији су лерзолити док су харцбургити ређи. Без обзира на то, већина перидотита је у одређеној мери серпентинисана. Најчешће је у њима серпентин заступљен од 20 до 50%, јако ретко са мањим садржајем.

## Серпентинити

Серпентинити се јављају на неколико начина. Готово редовно их сусрећемо у рубним деловима великих ултрамафитских масива у виду ужег или ширег омотача. Такве узане серпентинске зоне сусрећемо у периферним деловима Озренског масива. Врло често се појављују као мање масе у вулканогено-седиментној формацији, готово на целом подручју њеног развоја.

Доста су честе и велике масе серпентинита у оквиру већих перидотитских масива који се граниче са млађим, најчешће терцијарним седиментима. Серпентините редовно сусрећемо и унутар већих ултрамафитских масива у виду узаних зона дуж раседа.

Серпентинити су обично интензивно тектонизирани, што је нарочито изражено у најперифернијим деловима ултрамафитских маса и на малим серпентинским телима која се налазе у оквиру вулканогено-седиментне формације. То се испољава катаклазираношћу и милонитизацијом серпентинита, а редовно је праћено и појавама шкриљавих серпентинита. Готово редовно су искомадани у блокове и прожети густим системима пукотина.

У састав серпентинита улазе следећи минерали: серпентини, хлорит, талк, амфиболи, магнетит, лимонит, хематит, карбонати, кварц, опал и калцедон, поред којих се могу појавити реликтни минерали: оливин, енстатит и дијалаг, док се акцесорно јављају спинели. Структура серпентинита је редовно веома ситнозрна, а текстурама им је масива и паралелна.

#### Нерашчлањена вулканогено-седиментна формација

Јурска вулканогено-седиментна формација представља врло дебели комплекс стена веома разноврсног састава. Поред великог броја седиментних стена, у њој налазимо огромне масе већ поменутих ултрабазита, као и ефузивне и интрузивне базичне стене и киселе магматите.

У саставу вулканогено-седиментне формације доминирају међу седиментима кластичне стене: псамитске, пелитско-алевритске и псефитске, док се много подређеније појављују рожнаци и кречњачке стене.

## Албитски гранити

Албитски гранити се јављају у виду мањих маса, обично покривају површине од неколико стотина квадратних метара. Везани су искључиво за веће раседне зоне; јављају се дуж раседа у ултрамафитима или дуж контакта ултрамафита и терцијарних седимената. Мада се ради о малим масама, оне су веома значајне за објашњење низа минерализација. Минерални састав им је релативно једноставан; битни минерали су албит и кварц, а обојени састојци, обично биотит, су мање заступљени. Секундарно долазе хлорит и леукоксен, а акцесорни су апатит и циркон. У хемијском саставу се нарочито истиче повећани садржај натријума.

Ове стене су уврштене у јурску вулканогено-седиментно формацију, мада за то нема поузданих доказа.

## Кварцно-карбонатне стене

Кварцно-карбонатне стене настале су хидротермално-метасоматским потискивањем серпентинита. Јако варирају у структури и јављају се криптокристаласти до крупнозрни варијетети. Текстура им може бити хомогена, кавернозна и паралелно тракаста. Карбонат је обично представљен гвожђевитим магнезитом (бројнеритом) који се често лимонитизира тако да онда имамо лимонитско-карбонатне стене.

Кварцно-карбонатне стене су на појединим местима везане за граните. Претпоставља се да су поменути албитски гранити везани за јурски магматизам, па су ту уврштене и кварцно-карбонатне стене, као продукти метасоматског деловања гранитских хидротерми. Интересантно је истаћи да се у кварцно-карбонатним зонама сусрећу често и мање или веће зоне талкних стена, што је конкретно случај и на локалитету Мушића Ријека.

## Преглед ранијих истраживања

Подручје листа Завидовићи, и масив Озрена у оквиру њега, истраживани су у више наврата почевши од осамдесетих година деветнаестог века. Прве радове који су обухватили овај део Босне, писали су аустријски и мађарски геолози, који су направили и прву прегледну геолошку карту у размери 1:576000. Велики допринос истраживању ове регије дао је Мијо Кишпатић (1897) који је објавио монографски рад о кристалним стенама босанске серпентинске зоне. На то су се надовезивали Фридрих Кацер, који је између осталог заслужан за израду прегледне геолошке карте у размери 1:200000 која је обухватила и ово подручје, затим, А. Пилгер, Р. Јовановић и остали који су износили различите теорије о старости и генези офиолитске зоне Озрена. Јакоб Памић у својим радовима први офиолите сврстава у јурску вулканогено-седиментну формацију у коју су се перидотити утискивали дуж веће раседне зоне као чврста тела.

Фокус више радова било је лежиште азбеста у Босанском Петрову Селу, о којем су међу првима писали М. Митровић (1955) и Б. Вакањац (1962). (Kapelar I., i dr. 1976)

Локалитет Мушића Ријека истраживан је у оквиру потенцијалног лежишта талкита. Б. Вакањац (1962 и 1964) описујући лежишта хризотил азбеста у Босанском Петрову селу, спомиње и продукте контактено хидротермалног метаморфизма дуж СИ обода озренског ултрабазичног масива. Он унутар контактенометаморфног појаса уочава зоналност: гранитоид – кварцкарбонатне стене – талкити – талккарбонатне стене – серпентинити – серпентинисани лерзолити. Киселу магматску активност потврђују константовани дајкови албитског риолита, гранита и сијенита у широј околини лежишта Босанско Петрово Село. (Kapelar i dr. 1976)

Још 1972. Петар Зарић и Петар Јовановић у јамским истражним радовима на локалитету Мушића ријека, описују појаву ретких минерала бизмута (ајкинит и гуанахуатит) у оквиру карбонатних жица. (Зарић 1972)

## **Материјал и методе испитивања**

Истраживањем испитиваног терена, нађена су сулфидна орудњења у кварцним жицама различитих дебљина, које су прожимале примарно талките, али и остале стене у оквиру локалитета Мушића Ријека. За потребе даљих лабораторијских анализа, узета су 3 орудњена фрагмента кварцних жица (узорци OZR2019/2, OZR2019/3 и OZR2019/4), од којих су направљени рудномикроскопски препарати, а са једног узорка (OZR2019/3) издвојен је материјал за потребе рендгенске дифракције.

## **Израда рудномикроскопских препарата**

Опис израде рудномикроскопских препарата преузет је из уџбеника Рудне микроскопије (Раџевски 2018).

Израда рудномикроскопских препарата обухватила је следеће кораке: одсецање узорака, импрегнацију и изливање препарата, и брушење и полирање.

Узорци руда и стена се уобичајено секу и одсецају дијамантским резним плочама. Услед трења током сечења долази до загревања узорка. Из тог разлога је неопходно спровести водено хлађење током сечења, при чему је најефикасније спровести фини млаз воде на контакт резне плоче и узорка. Поред хлађења, вода врши и подмазивање током сечења, услед чега се смањује дробљење и пуцање површина одсецања. Након сечења, потребно је очистити и осушити узорак.

Након одсецања комада узорка задовољавајућих димензија и са једном равном површином одсечка која ће даље бити полирана, следећи корак подразумева импрегнацију овог комада. Овај корак импрегнације ради се у циљу запуњавања и цементовања свих празних простора, тј. пора и прелина у узорку, а може да се прескочи само у случају веома компактног узорка који је готово без порозности. Главни циљ импрегнације је спречавање контаминације плоче за полирање материјалом са узорка, а и смањење могућности за контаминацију самог узорка у току даље припреме. Импрегнација се постиже урањањем исечка узорка у вискозно импрегнационо средство, а најчешће се обавља у току изливања овог исечка у калуп. За импрегнацију, као и за следећи корак изливања, користе се органски полимери.

Развој многих метода микроанализа које су последњих година све доступније, омогућио је да се након прегледа под рудним микроскопом исти препарат користи и за друге микроскопске методе испитивања. Употреба одређених носача узорка стандардизованих димензијама у поменутиим софистицираним методама микроанализа, условљава и стандардизацију димензија рудномикроскопских препарата. Обично су то величине препарата пречника од 2.5 до 3.5 цм које уједно задовољавају и потребе рудномикроскопског прегледа узорака. Стандардизација димензија препарата се релативно лако постиже постављањем претходно припремљеног исечка узорка у калуп стандардизованог облика и величине и цементовањем различитим органским, углавном двокомпонентним полимеризујућим везивима.

Након одсецања, импрегнасања и изливања у калуп, препарат се даље бруси и полира. Сврхе брушења су следеће:

- уклонити везивно средство којим је вршено изливање са површине која треба бити исполирана (отварање препарата)
- одстранити површинску зону деформација и неравнина насталих у току сечења



- припремити глатку равну површину за даљи поступак полирања.

За поступак брушења, као и за наредни поступак полирања, користе се разна абразивна средства, а то су обично синтетичка једињења високе тврдине. За брушење се најчешће користи SiC (силицијум карбид), а величина зрна абразива означава се у мешима, гритима или микронима.

Даље углачавање површине препарата финијим абразивима заправо представља процес полирања препарата. Полирање се генерално може поделити на грубо и фино. Грубо полирање подразумева коришћење абразива са величином зрна од 15 до 6  $\mu\text{m}$ , док се финално полирање обично обавља у два корака, нпр. са абразивом величине зрна 3 и 1  $\mu\text{m}$ . У случају комплексног миенраланог састава, када узорак садржи минерале различитих тврдина, пожељно је искористити целу гарнитуру абразива тј. од 15,9, 6, 3, 1, 0.5  $\mu\text{m}$ .

Најчешће коришћени абразив је дијамант и користи се у опсегу од 15 до 1  $\mu\text{m}$ . Наноси се најчешће у виду пасти на специјалне подлоге које су залепљене на металне дискове.

Овако обрађен узорак, тј. добијене препарат, спреман је за даље рудномикроскопско проучавање.

## **Скенирајућа електронска микроскопија (СЕМ)**

Након рудномикроскопског посматрања, исти препарати (слика 1.3) су даље анализирани скенирајућим електронским микроскопом у комбинацији са енергетско-дисперзивном спектрометријом. С тим да су поред препарата, за потребе анализирања потенцијалних секундарних минерала, са узорка OZR 2019/2 издвојени ситнији фрагменти који су заједно скенирани.



Слика 1.3 Рудномикроскопски препарати у носачу СЕМ-а.

Метода скенирајуће електронске микроскопије користи се за посматрање и карактеризацију чврстих материјала у оквиру милиметарске до нанометарске скале, односно са увећањем до 300.000 пута. (Erić S. 2019)

Загревањем волфрамског филамента у електронском топу, ослобађају се електрони високе енергије који се усмеравају ка аноди. Даљим проласком кроз прорез на аноди, електрони долазе до колоне у којој се вакуумском пумпом ствара вакуум, како емитовани електрони не би реаговали са честицама из ваздуха. (Erić S. 2019)

Узорци који се анализирају морају бити чврсти и електропроводни. Електронепроводни узорци се пре анализирања морају прекрити златом, угљеником или неким другим типом проводника, што је случај и са испитиваним узорцима. (Erić S. 2019)

Примарни електрони, емитовани са електронског топа микроскопа, у интеракцији са електронима у узорку производе: секундарне електроне, повратно расуте електроне и карактеристично рендгенско зрачење. (Erić S. 2019)

Секундарни електрони настају приликом нееластичног судара примарних електрона са електронима из узорка. Примарни електрон избија електрон из атомског омотача у узорку. Избијени (секундарни) електрони имају ниску енергију, емитују се са подручја близу близу површине узорка и дају информације о топографији. (Erić S. 2019)

Повратно расути електрони потичу од еластичних судара примарних електрона са електронима из узорка. Примарни електрони се враћају скоро у истом правцу од којег су стигли са веома малим губитком енергије. Хемијски елементи који имају већи атомски број продукују много више повратно расутих електрона у односу на оне са мањим атомским бројем. Подручје узорка које садржи елементе са већим атомским бројем због тога изгледа светлије на *BSE* (backscattered electron image) снимку. (Erić S. 2019)

Трећа врста сигнала је карактеристично рендгенско зрачење. У стању мировања, атом унутар узорка садржи електроне у такозваном основном стању у засебним енергетским нивоима или електронским љускама везаним за језгро. Примарни електрон може побудити један електрон у унутрашњој љусци (нпр. у К љусци атома) и избацити га из те љуске. Избацивање електрона узрокује нестабилност атома па електрон из спољашњих, високоенергентских љуски попуњава место са ког је електрон избачен, при чему долази до серија карактеристичног зрачења. (Erić S. 2019)

Детекција насталог карактеристичног рендгенског зрачења врши се ЕДС детекторима. Информације из детектора се шаљу на пулс процесор, који мери сигнале и преноси их на анализатор за приказ података. Прво што се добија као резултат хемијске анализе је ЕДС спектар, где се на оси X приказује енергија рендгенског зрачења у keV, док је на оси Y приказан интензитет у импулсима. Идентификација карактеристичних рендгенских линија спектра врши се помоћу софтверског програма. (Erić S. 2019)

Овом методом се могу одредити семиквантитативни и квантитативни садржаји главних елемената у минералу, као и хемијских примеса у концентрацијама до око 0.1 % масених. (Erić S. 2019)

## **Метода рендгенске дифракције**

Како би се потвдили резултати добијени СЕМ-ЕДС методом, тј. присуство одређених минералних врста, са узорка OZR 2019/3 издвојена је сулфидна фаза која је подвргнута методи рендгенске дифракције.

Метода рендгенске дифракције је једна од најефикаснијих метода за идентификацију кристалних фаза у свим врстама чврстих материјала и заснива се на дифракцији рендгенског зрачења са кристалне решетке испитиване материје, при чему су таласна дужина рендгенских зрака и параметри кристалне решетке истог реда величине. (Erić S. 2019)

Рендгенско зрачење представља високонапонско електромагнетно зрачење кратке таласне дужине у електромагнетном делу спектра између ултраљубичастог и  $\gamma$  зрачења. Рендгенски зраци настају када се електрони настали загревањем катоде крећу великом брзином и нагло зауставе на металној аноди рендгенске цеви, која тада постаје извор рендгенског зрачења. (Erić S. 2019)

Када се сноп паралелних рендгенских зрака усмери на кристалну решетку, долази до њиховог одбијања од равни у кристалној решетки. Одбијени зраци реагују међусобно тако да се поништавају или појачавају. Уколико је задовољен услов да је фазна разлика једнака целобројном умношку таласних дужина, доћи ће до појачавања. За одређену таласну дужину и за тачно дефинисано растојање између равни постоји само један угао под којим ће доћи до појачавања и тај угао се назива Брагов угао. До дифракције ће доћи само уколико је задовољен Брагов закон, односно уколико је фазна разлика једнака целобројном умношку таласних дужина. (Erić S. 2019)

У зависности од типа узорка који се користи, разликују се методе дифракције на узорцима монокристала и методе дифракције на поликристалним узорцима (прах). (Erić S. 2019)

Као резултат рендгенске дифракције узорка добија се дијаграм праха (дифрактограм). Дифрактограм се састоји од низа пикова различитог положаја и интензитета. Свака кристална фаза има свој карактеристичан дифрактограм састављен од низа пикова различитих интензитета. Подаци ових дифрактограма регистровани су у базама података и користе се као стандарди. Упоредивањем испитиваног материјала са доступним стандардима могуће је идентификовати испитивани поликристални материјал. (Erić S. 2019)

Узорак OZR 2019/3 је испитан на дифрактометру за прах Rigaku SmartLab. Употребљено је зрачење са антикатоде бакра таласне дужине  $\text{CuK}\alpha = 1,54178 \text{ \AA}$ . Радни напон на цеви био је  $U = 40 \text{ kV}$ , јаčina струје  $I = 30 \text{ mA}$ . Узорци су испитани под следећим експерименталним условима: опсег дифракционих углова  $5 - 70^\circ 2\theta$  са кораком  $0,01^\circ$  и брзином снимања од  $5 \text{ }^\circ\text{мин}^{-1}$ . Добијени подаци положаја дифракционих максимума ( $^\circ 2\theta$ ) као и одговарајући интензитети приказани су графички. На основу добијених вредности, упоређивањем са литературним подацима и PDF стандардима, идентификоване

су присутне (само) кристалне фазе чији је садржај у узорку већи од 2%.  
Аморфна компонента не испитује се примењеном методом.

### 3. СПЕЦИЈАЛНИ ДЕО

#### Резултати истраживања

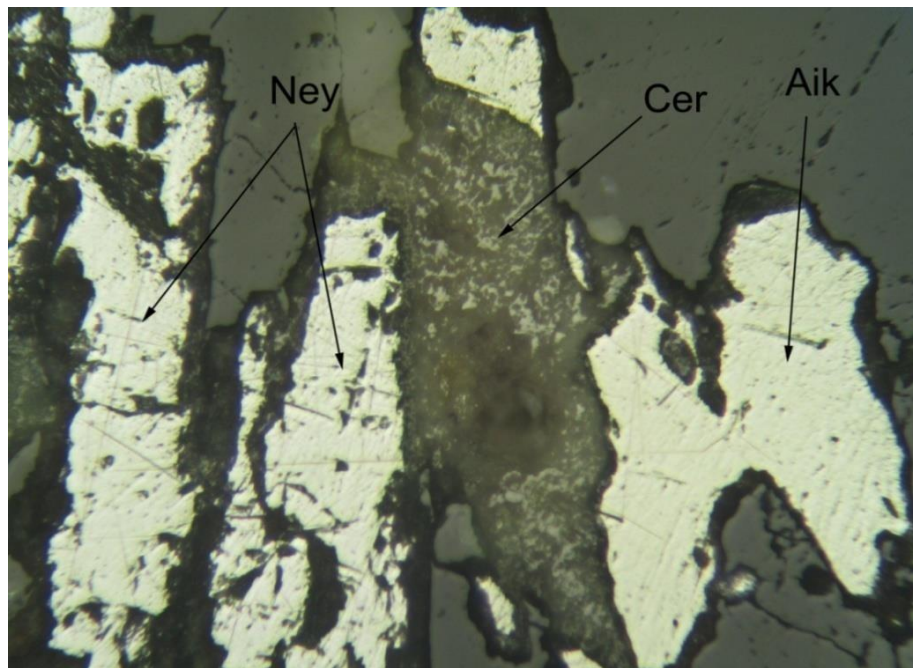
##### *Узорак OZR 2019/2*

Макроскопским посматрањем узорка OZR 2019/2 уочава се криптокристалести млечно бели кварц у којем се налазе црни до сиви, углавном игличасти до приткасти, сулфидни минерали око којих су у значајној мери заступљени бели до жути прашкасти секундарни минерали (слика 2.1).

Рудномикроскопском анализом могуће је уочити најмање три различита минерала. Минерал 1, идентификован као нејит, се јавља заједно са минералом 2, идентификованим као ајкинит. Појављују се у виду еухедралних (игличастих до приткастих) и анхедралних кристала димензија од 0.05mm до 1mm. Оптички су врло сличних карактеристика, с тим да нејит показује нешто јачу анизотропију и другачије је нијансе сиве. Те особине су служиле за њихово разликовање у овом стадијуму испитивања. Минерал 3 је идентификован као церузит, и у овом препарату је знатно заступљен. Јавља се као продукт алтерације углавном око зрна нејита и ајкинита, а у неким случајевима примарни минерали су потпуно замењени и видљива је само реликтна форма приткастих кристала. Оптички се због својих карактеристика, а примарно врло ниске рефлексације, лако разликује од нејита и ајкинита.

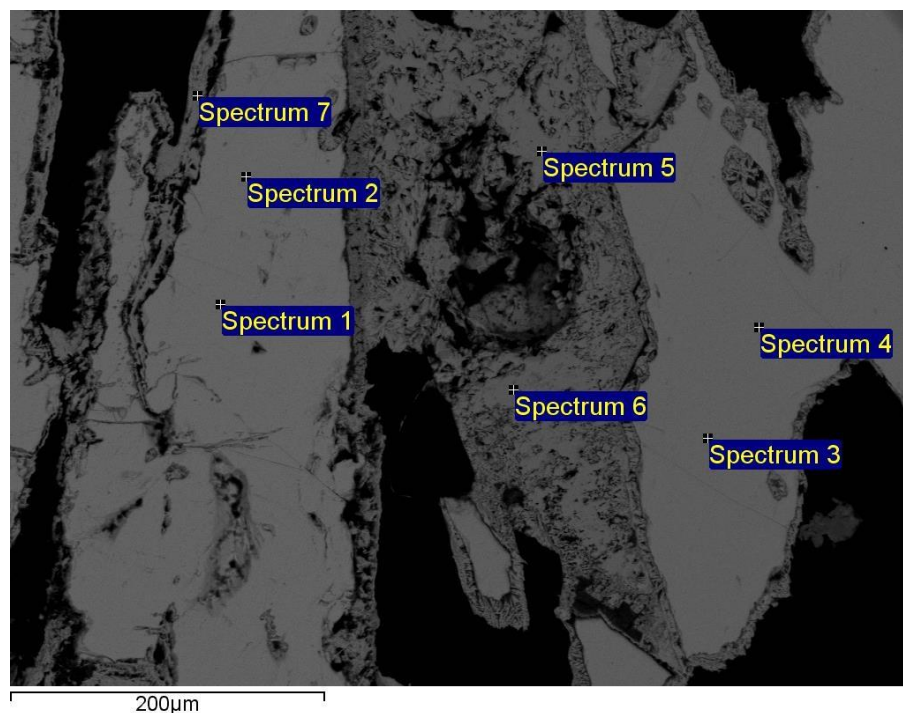


Слика 2.1 Макроскопски изглед узорка OZR 2019/2.



Слика 2.2 Препарат OZR 2019/2; Ney-нејит, Cer-церузит, Aik-ајкинит (одбијена светлост, //N, ширина микрофотографије ~1 mm).





Слика 2.3 BSE микрофотографија препарата OZR 2019/2.

Табела 2.1 СЕМ-ЕДС резултати и идентификација минерала за препарат OZR 2019/2.

Spektar	O	F	Al	Si	S	Fe	Cu	Ag	Pb	Bi	Ukupno
Spektar 1	/	/	/	/	16.48	/	3.00	1.30	42.70	36.51	100.00
Spektar 2	/	/	/	/	16.42	/	2.84	0.77	42.89	37.08	100.00
Spektar 3	/	/	/	/	17.18	/	9.40	0.00	34.15	39.26	100.00
Spektar 4	/	/	/	/	17.22	/	9.58	0.00	34.49	38.71	100.00
Spektar 5	21.98	0.00	0.00	0.00	0.00	/	/	/	78.02	0.00	100.00
Spektar 6	20.61	0.00	0.30	0.72	0.00	0.57	/	/	59.64	18.16	100.00
Spektar 7	17.65	2.24	/	0.64	0.00	/	/	/	13.80	65.68	100.00

Спектри 1 и 2: Нејит ( $\text{Ag}_2\text{Cu}_6\text{Pb}_{25}\text{Bi}_{26}\text{S}_{68}$ )

Спектри 3 и 4: Ајкинит ( $\text{PbCuBiS}_3$ )

Спектри 5,6 и 7: Церузит ( $\text{PbCO}_3$ )

### *Узорак OZR 2019/3*

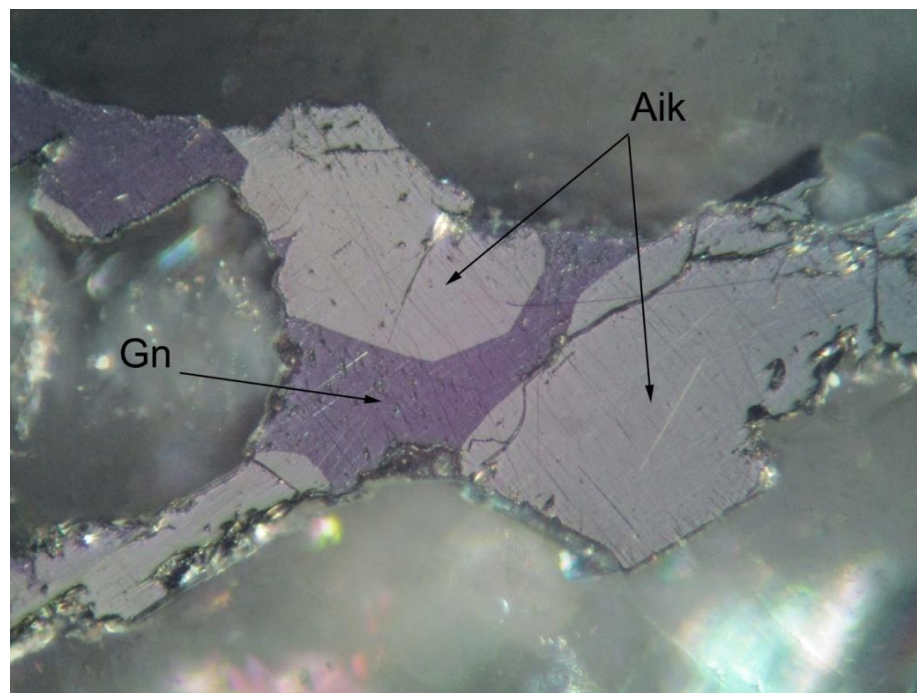
У основи узорка OZR 2019/3 такође се налази кварц у коме се запажају црни игличасти сулфидни минерали, док је садржај секундарних минерала значајно мањи.

Посматрањем рудномикроскопског препарата, запажају се најмање три различита минерала. Минерал 1 (галенит) се јавља углавном у виду анхедралних и ређе еухедралних хексаедарских зрна димензија од 0.1 до 0.5mm. Минерал 2 (ајкинит) се најчешће појављује у форми игличастих и приткастих кристала 0.05 mm до 1 mm. Знатно ређе, по ободима сулфидних минерала појављује се церузит. Галенит се прилично лако оптички разликује од осталих сулфидних минерала у препарату, пре свега због своје изотропије, мада се у одређеним зрнима јавља лажна анизотропија.

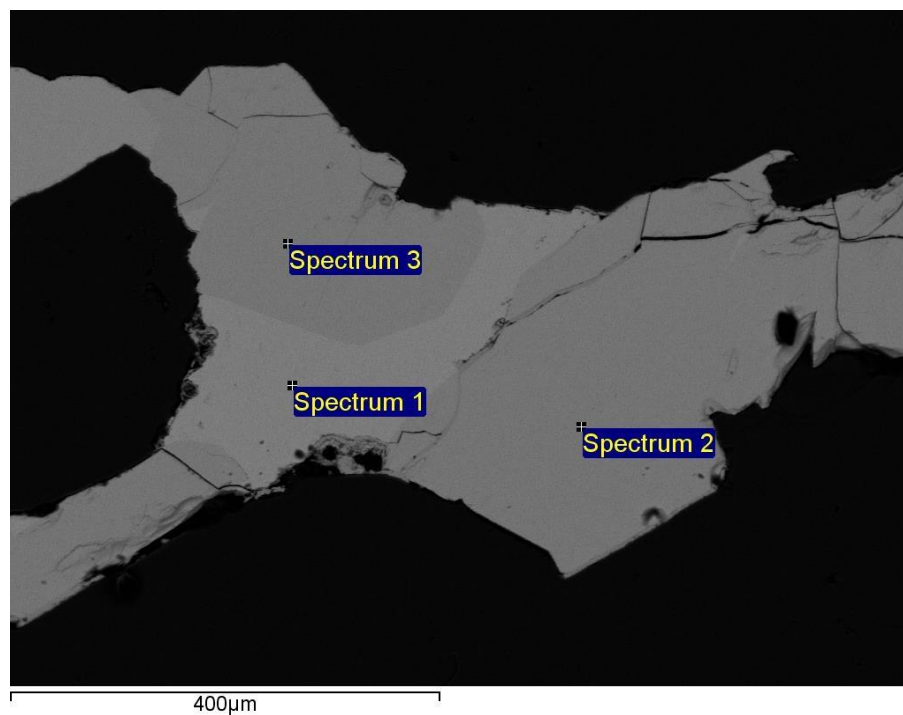
Даљом СЕМ-ЕДС анализом препарата утврђено је присуство и трећег сулфидног минерала – лилијанита, који због врло сличних оптичких карактеристика са ајкинитом, није мога бити издвојен рудномикроскопским прегледом. Лилијанит се јавља у виду еухедралних игличастих кристала дужине и преко 1 mm (слика 2.7).



*Слика 2.4 Макроскопски изглед узорка OZR 2019/3.*



*Слика 2.5 Препарат OZR 2019/3; Gn-галенит, Aik-ајкинит (одбијена светлост,  $\times N$ , ширина микрофотографије  $\sim 1$  mm).*



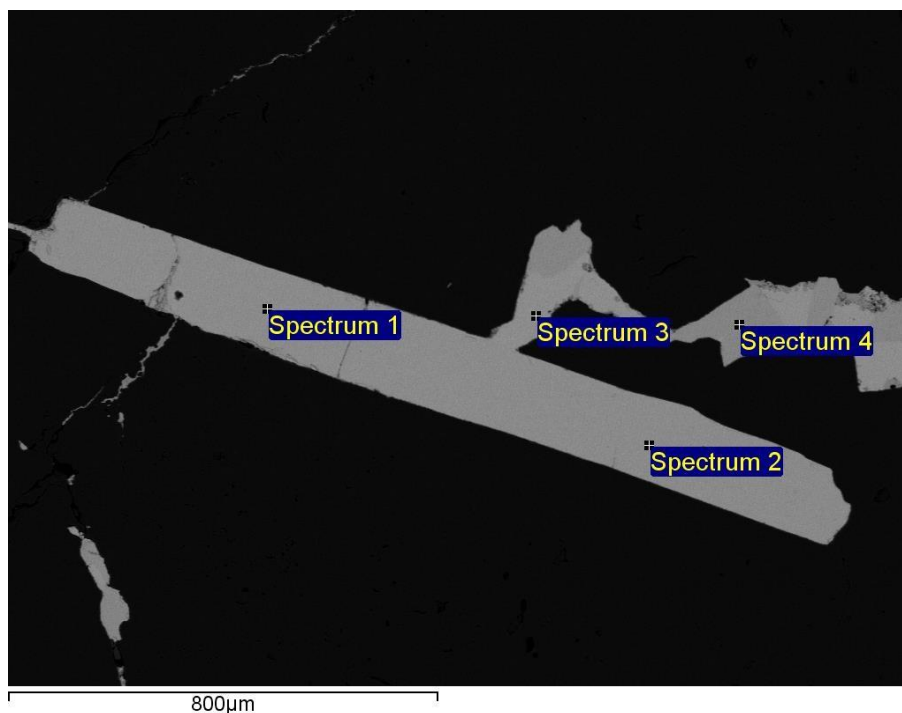
Слика 2.6 BSE микрофотографија препарата OZR 2019/3.

Табела 2.2 СЕМ-ЕДС резултати и идентификација минерала за препарат OZR 2019/3.

Spektar	S	Cu	Pb	Bi	Ukupno
Spektar 1	15.11	0.00	84.89	0.00	100.00
Spektar 2	17.02	9.53	32.18	41.27	100.00
Spektar 3	17.55	9.13	34.57	38.75	100.00

Спектар 1: Галенит (PbS)

Спектри 2 и 3: Ајкинит (PbCuBiS<sub>3</sub>)



Слика 2.7 BSE микрофотографија игличастог кристала лилијанита.

Табела 2.3 СЕМ-ЕДС резултати и идентификација минерала за препарат OZR 2019/3.

Spektar	S	Cu	Ag	Pb	Bi	Ukupno
Spektar 1	16.60	0.00	1.01	49.35	33.04	100.00
Spektar 2	16.07	0.00	1.47	48.07	34.39	100.00
Spektar 3	14.55	0.00	0.00	85.45	0.00	100.00
Spektar 4	17.76	8.97	0.00	33.92	39.34	100.00

Спектри 1 и 2: Лилијанит ( $Pb_{3-2x}Ag_xBi_{2+x}S_6$ )

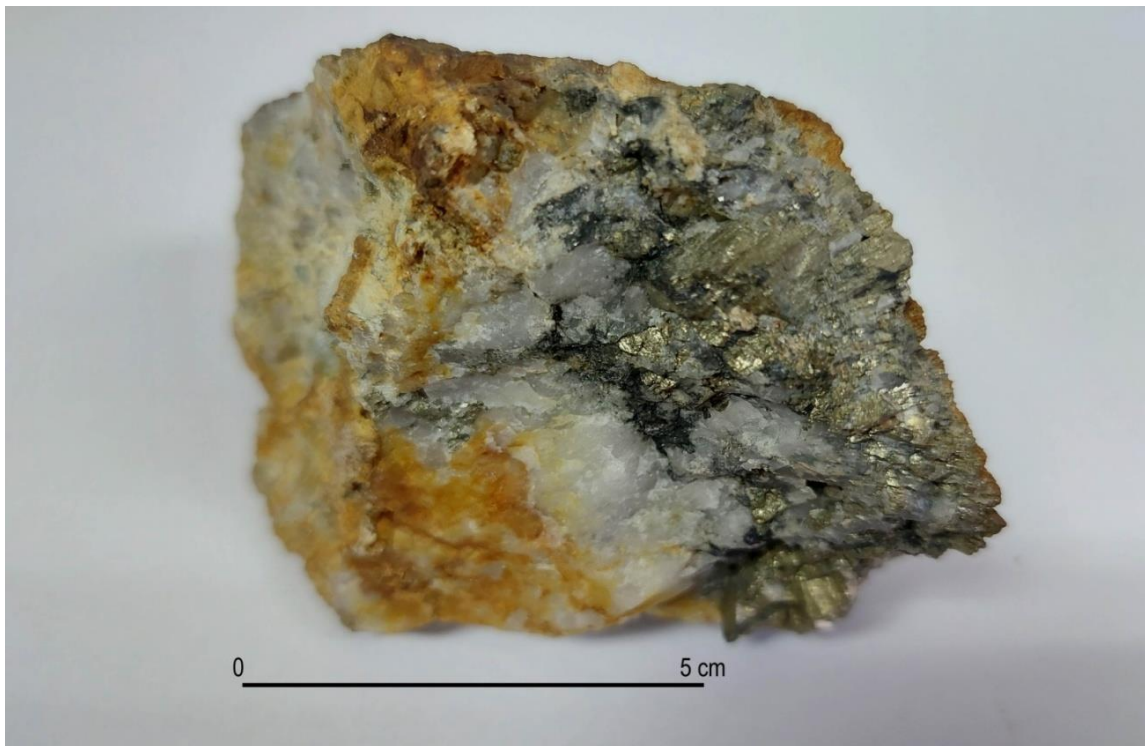
Спектар 3: Галенит ( $PbS$ )

Спектар 4: Ајкинит ( $PbCuBiS_3$ )

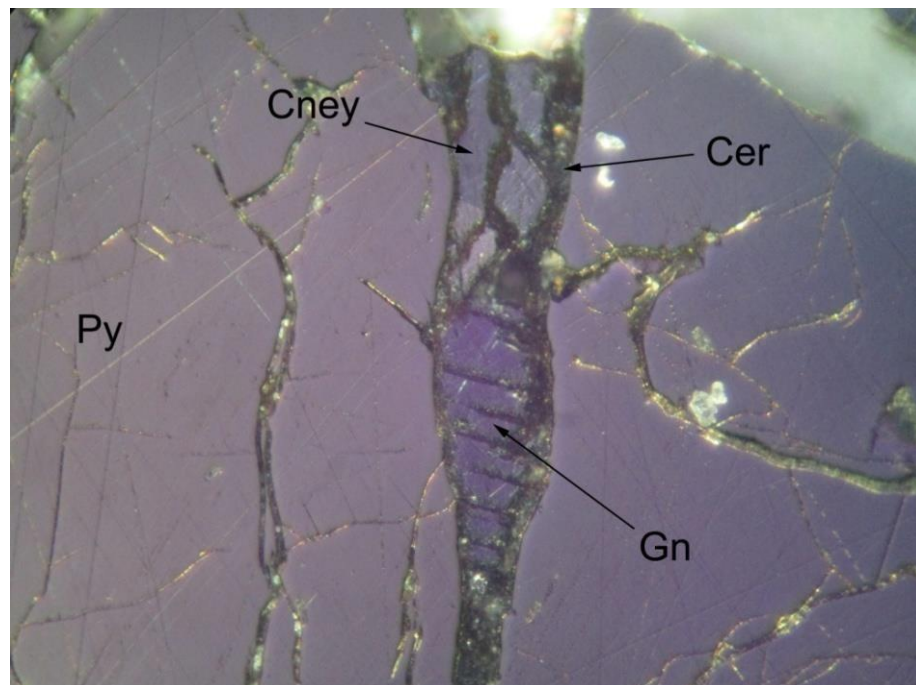
#### Узорак OZR 2019/4

Последњи узорак OZR 2019/4 представља фрагмент веће кварцне жице са великим уделом сулфидних минерала, при чему доминира пирит на рачун кога је образован лимонит (слика 2.8).

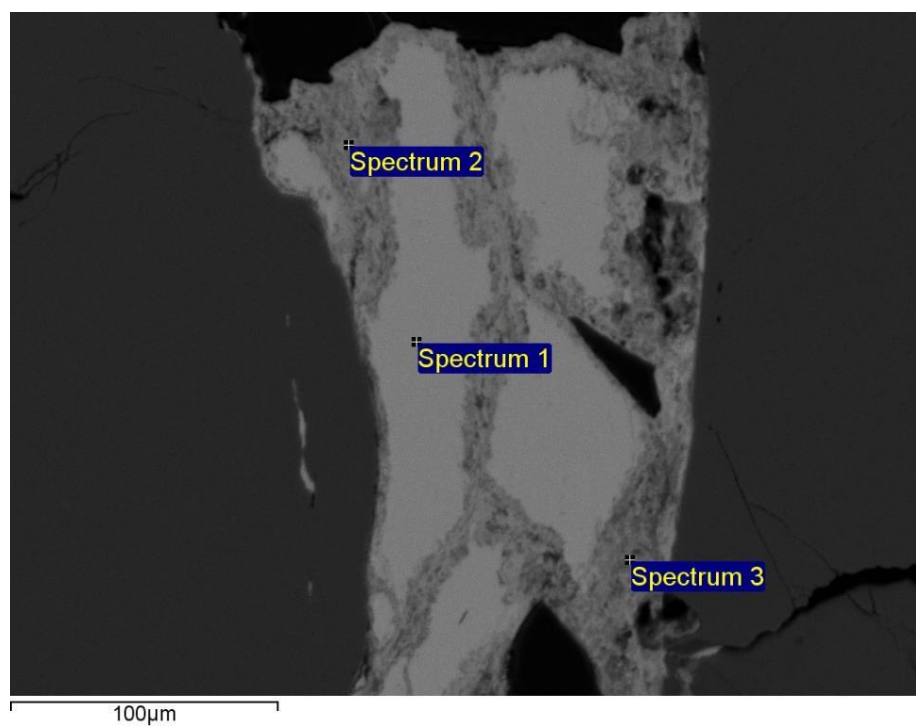
Рудномикроскопским прегледом јасно се уочава да препаратом доминира пирит. Јавља се углавном у виду анхедралних и ређе хексаедарских еухедралних зрна димензија од 0.05 mm до преко 5 mm, која су јако деформисана и испуцала. Између зрна пирита појављују се анхедрална зрна галенита димензија од 0.05 mm до 0.3 mm, као и еухедрална до ређе анхедрална игличаста зрна (сличних димензија као галенит) минерала за који је утврђено да је купронејит. Купронејит се због своје јасне анизотропије јасно разликује од пирита и галенита. Знатно ређе, у виду танке скраме око галенита и купронејита, појављује се церузит.



*Слика 2.8 Макроскопски изглед узорка OZR 2019/4.*



Слика 2.9 Препарат OZR 2019/4; Gn-галенит, Снеу-купронејит, Cer-церузит, Py-пирит (одбијена светлост, xN, ширина микрофотографије ~1 mm).



Слика 2.10 BSE микрофотографија препарата OZR 2019/4

Табела 2.4 СЕМ-ЕДС резултати и идентификација минерала за препарат OZR 2019/4.

Spektar	O	S	Fe	Cu	Pb	Bi	Ukupno
Spektar 1	/	16.99	/	1.24	42.55	39.23	100.00
Spektar 2	14.05	11.33	4.35	0.00	29.40	40.87	100.00
Spektar 3	17.81	6.18	/	0.00	29.19	46.82	100.00

Спектар 1: Купронејит ( $\text{Cu}_7\text{Pb}_{27}\text{Bi}_{25}\text{S}_{68}$ )

Спектри 2 и 3: Церузит ( $\text{PbCO}_3$ )

Табела 2.5 Оптичке особине сулфосоли детектованих рудним микроскопом.

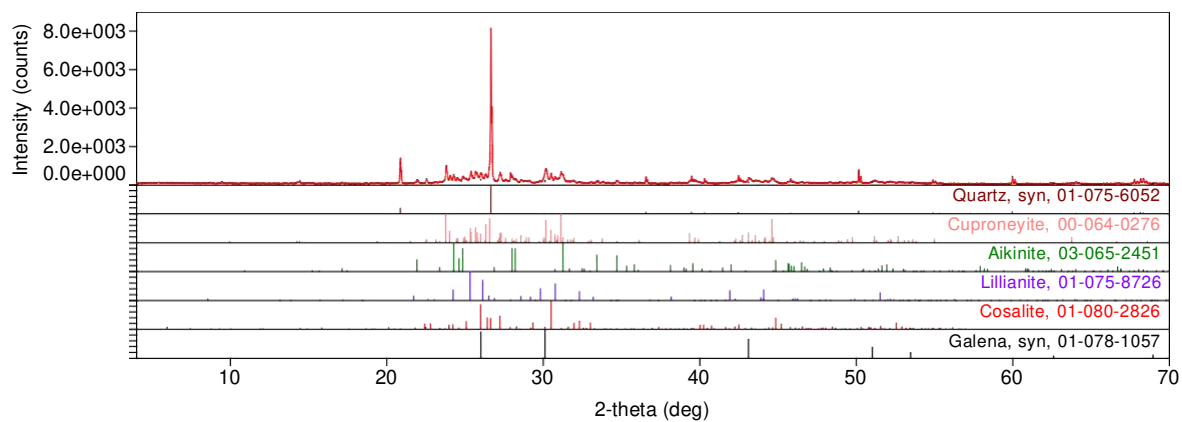
Назив минерала/оптичке особине	Боја	Рефлексија	Анизотропија	Унутрашњи рефлекси
Ајкинит	Крем жута до сиво жута, слаб плеохроизам	Висока рефлексија	Јасна анизотропија	Не показује унутрашње рефлексе
Козалит	Бела до жуто бела	Висока рефлексија	Слаба анизотропија	Не показује унутрашње рефлексе
Купронејит	Светло сива до беличаста, слаб плеохроизам	Висока рефлексија	Јака анизотропија	Не показује унутрашње рефлексе
Лилијанит	Светло сива до беличаста, врло слаб плеохроизам	Висока рефлексија	Јасна анизотропија	Не показује унутрашње рефлексе
Нејит	Светло сива до сиво жута, слаб плеохроизам	Висока рефлексија	Јака анизотропија	Не показује унутрашње рефлексе

## Резултати рендгенске дифракције

У узорку OZR 2019/3 идентификоване су следеће кристалне фазе: кварц (PDF картица број 01-075-6052), купронеит (PDF картица број 00-064-0276), аикинит (PDF картица број 03-065-2451), лилијанит (PDF картица број 01-075-



8726), (PDF картица број 00-064-0276), козалит (PDF картица број 01-080-2826) и галенит (PDF картица број 01-078-1057), слика 2.11.



Слика 2.11. Рендгенски дијаграм праха узорка OZR 2019/3.

#### 4. ДИСКУСИЈА

Првобитни рудномикроскопски и СЕМ-ЕДС резултати успешно су потврђени методом рендгенске дифракције и тиме је утврђено присуство ретких Pb-Bi-(Cu) сулфосоли на локалитету Мушића Ријека.

Добијени резултати потврђују присуство различитих ретких Pb-Bi-(Cu) сулфосоли тј:

- Ајкинита ( $\text{PbCuBiS}_3$ )
- Козалита ( $\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_5$ )
- Купронејита ( $\text{Cu}_7\text{Pb}_{27}\text{Bi}_{25}\text{S}_{68}$ )
- Лилијанита ( $\text{Pb}_{3-2x}\text{Ag}_x\text{Bi}_{2+x}\text{S}_6$ )
- Нејита ( $\text{Ag}_2\text{Cu}_6\text{Pb}_{25}\text{Bi}_{26}\text{S}_{68}$ )

Порекло ових сулфосоли мора се приписати већ поменути албитским гранитима и хидротермалној активности везаној за њих. Ретка и штура литература наводи да су киселе магматске стене, картиране као албитски гранити, представљене гранитпорфирима и албитским риолитима. Гранитпорфири се јављају као дајкови и жице. Могу бити сасвим свежи, када изграђују дубље унутрашње делове дајкова (констатовано дубинским бушењем) или хидротермално алтерисани у контактним деловима уз талките и свуда на површини терена, где је алтерација поспешена површинским распадањем. Свеже стене су ситнозрне, холокрсталоасто порфирске структуре и масивне текстуре. Албитски риолити се јављају у виду тањих жица које се могу наћи по перидотском масиву и ван појаса контактено метаморфно измењених стена. (Kapelar I., i dr. 1976)

Нажалост услед покривености терена и интензивног површинског распадања постојећих изданака, врло је тешко пронаћи репрезентативне

примерке ових киселих стена. Услед веће резистентности, знатно чешће се проналазе кварцне жице различитих дебљина (од <1 cm до >30 cm), у оквиру којих су констатоване испитиване сулфосоли.

Важно је напоменути да овим радом нису детаљније испитани секундарни минерали настали распадањем како галенита, тако и сулфосоли. Овде се помиње само церузит ( $PbCO_3$ ), мада само једна СЕМ-ЕДС анализа у потпуности одговара овом минералу, док остале показују променљив садржај бизмута. Овакав резултат може се приписати присуству секундарних минерала бизмута, од којих већина спада у ретке минерале у природи, а не треба искључити могућност и за откривањем нове минералне врсте.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Испитивање сулфидних орудњења пронађених на локалитету Мушића Ријека, дало је врло занимљиве резултате у погледу минералних врста. Истраживање је обухватило коришћење рудне микроскопије, СЕМ-ЕДС анализе и методу рендгенске дифракције. Утврђено је присуство ретких и неких врло ретких Pb-Bi-(Cu) сулфосоли, тачније ајкинита, козалита, нејита, купронејита и лилијанита. Осим ајкинита, остали наведени минерали су по први пут откривени на поменутом локалитету, као и секундарни минерали настали оксидацијом ових сулфосоли, а који захтевају детаљнију анализу како би се прецизно дефинисали.

Појава Pb-Bi-(Cu) сулфосоли се генетски приписује киселом магматизму у оквиру офиолита, који ће такође бити предмет даљег проучавања.

Овим радом начињен је само почетни корак у погледу испитивања како ретких сулфосоли и секундарних минерала, који су настали њиховом алтерацијом, тако и локалитета Мушића Ријека генерално.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

Erić S., 2019. *Primenjena mineralogija*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, str. 4-11.

Kapelar I., Olujić J., Pamić J., Sunarić-Pamić O., 1973. Tumač za list Zavidovići (OGK 1:100000 SFRJ), Savezni geološki zavod, Beograd, str. 5-27.

Kapelar I., Olujić J., Sunarić-Pamić O., 1976. *Mineralne sirovine Bosne i Hercegovine*, Geoinženjering, Sarajevo, str. 309-314.

Makovicky E., Moelo Y., Mozgova N., 2008. Sulfosalt systematics: a review. Report of the sulfosalt sub-committee of the IMA Commission on Ore Mineralogy, *European Journal of Mineralogy* 20, str. 7-46.

Pačevski A., 2018. *Rudna mikroskopija*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, str. 13-105.

Зарић П., Јовановић П., 1972. *Геолошки гласник*, Сарајево, стр. 129-130.

## **Захвалност**

Овим путем захваљујем се ментору проф. др Александру Пачевском, на великој помоћи око израде рада и свих анализа, али и пре свега на стрпљењу и разумевању.

Посебну захвалност изражавам проф. др Александру Кременовићу на помоћи око анализе рендгенском дифракцијом.

## ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ ЗАВРШНОГ РАДА

Име и презиме студента Табле Јовић

Број индекса Г123/20

### Изјављујем

да је завршни рад под насловом

Појава Pb-Bi(Sn) сулфосоли на локалитету  
Муфта Рибка, Босна и Херцеговина

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да завршни рад у целини ни у деловима није био предложен за стицање друге дипломе на студијским програмима Рударско-геолошког факултета или других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

У Београду, 28.9.2022

Потпис студента

\_\_\_\_\_

**ИЗЈАВА**  
**О ИСЛОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ**  
**ЗАВРШНОГ РАДА**

Име (име родитеља) и презиме студента Павле (Војислав) Јовичић  
Број индекса Г124/20  
Студијски програм Геологија  
Наслов рада Појава Pb-Bi(ен) сулфосоли на локалитету Мушића Ријека, Босна и Херцеговина  
Ментор Др Александар Пачевски

Изјављујем да је штампана верзија мог завршног рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради одлагања у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити у електронском каталогу и у публикацијама Рударско-геолошког факултета.

У Београду, 28. 9. 2022.

Потпис студента

\_\_\_\_\_



## ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ ЗАВРШНОГ РАДА

Овлашћујем библиотеку Рударско-геолошког факултета да у Дигитални репозиторијум унесе мој завршни рад под насловом:

Појава Pb -Bi (Cu) сулфосоли на локалитету  
Мушића Ријека, Босна и Херцеговина

који је моје ауторско дело.

Завршни рад са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Мој завршни рад одложен у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета је (заокружити једну од две опције):

I. редуковано доступан кроз наслов завршног рада и резиме рада са кључним речима;

II. јавно доступан у отвореном приступу, тако да га могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се уз сагласност ментора одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве.)

У Београду, 28. 9. 2022.

Потпис ментора

Потпис студента