

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

Милош М. Велојић

ГЕНЕЗА ХИДРОТЕРМАЛНОГ Cu-Au
СИСТЕМА ЧУКАРУ ПЕКИ (ИСТОЧНА
СРБИЈА)

докторска дисертација

Београд, 2021.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Miloš M. Velojić

THE GENESIS OF HYDROTHERMAL Cu-Au
SYSTEM ČUKARU PEKI (EASTERN SERBIA)

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2021

Ментори:

Др Раде Јеленковић, редовни професор
Универзитет у Београду- Рударско-геолошки факултет
Ужа научна област: Економска геологија

Др Владица Цветковић, редовни професор
Универзитет у Београду- Рударско-геолошки факултет,
дописни члан САНУ
Ужа научна област: Петрологија

Чланови комисије за одбрану дисертације:

Др Раде Јеленковић, редовни професор
Универзитет у Београду- Рударско- геолошки факултет
Ужа научна област: Економска геологија

Др Владица Цветковић, редовни професор
Универзитет у Београду- Рударско-геолошки факултет,
дописни члан САНУ
Ужа научна област: Петрологија

Др Миле Бугарин, научни саветник
Институт за рударство и металургију, Бор
Ужа научна област: Економска геологија

Датум одбране: _____

ГЕНЕЗА ХИДРОТЕРМАЛНОГ Cu-Au СИСТЕМА ЧУКАРУ ПЕКИ (ИСТОЧНА СРБИЈА)

Сажетак: Главни циљ испитивања хидротермалног система Чукару Пеки је разумевање процеса који су довели до његовог настанка, а посебно еволуције рудоносних флуида из којих је настала рудна минерализација. Утврђено је да је овај систем настао у периоду пре 86,78 - 85,19 Ма из магматског интрузива који је био богат водом и имао висок оксидативни потенцијал. Током хлађења, из овог магматског интрузива су издвојени веома врели флуиди, који су имали температуре изнад 600°C и висок салинитет. У формирању хидротермалног система јасно се могу издвојити два стадијума: порфирски и епитермални. Карактеристични рудни минерали за порфирски стадијум су халкопирит, магнетит, борнит и пирит, док су најчешће околорудне промене калијска и хлоритска латерација. Овај стадијум је настао на температурама око 400°C кључањем високотемпературних сланих раствора. Са друге стране, епитермални стадијум се карактерише присуством ковелина, енаргита и пирита, док је напредна аргилитска алтерација најзаступљенија околорудна промена. Настао је дејством раствора који су имали температуре 200-300°C и низак салинитет. Рудном микроскопијом је установљено да се у порфирском систему могу наћи микронска зрна злата, електрума и телурида паладијума. Мерењем садржаја елемената у сулфидним минералима методом LA-ICP-MS, утврђено је да поједине минералне фазе у епитермалној зони концентришу веће количине ретких елемената: ру-сов пирит у масивним сулфидима концентрише злато и сребро, док енаргит концентрише германијум.

Кључне речи: Борска металогенетска зона, Тимочки магматски комплекс, порфирска лежишта, високосулфидациона лежишта, флуидне инклузије, рудне парагенезе, геохронологија, хидротермалне алтерације, LA-ICP-MS

Научна област: Геологија

Ужа научна област: Економска геологија

УДК број: 553.08:553.4(043.3)

THE GENESIS OF HYDROTHERMAL Cu-Au SYSTEM ČUKARU PEKI (EASTERN SERBIA)

Abstract: The main goal of the research conducted on the hydrothermal system of Čukaru Peki is the understanding of processes which led to its formation, with an emphasis on the evolution of hydrothermal fluids which led to the deposition of mineralization. This research indicates that the hydrothermal system was formed in the period of 86.78 – 85.19 Ma from a magmatic intrusive which was water-rich and had a high redox potential. The cooling of magma led to the separation of very hot fluids which had temperatures above 600°C and high salinity. Two stages can be distinguished in the formation of this hydrothermal system: porphyry and epithermal stages. Characteristic ore minerals for the porphyry stage are chalcopyrite, magnetite, bornite and pyrite, whereas the most common alterations are potassic and chlorite alterations. This mineralization stage was formed by boiling of hot saline fluids at temperatures around 400°C. On the other hand, epithermal stage is characterized by the presence of covellite, enargite and pyrite, with accompanying advanced argillic alteration. This stage was formed by hydrothermal fluids which had temperatures of 200-300°C and low salinities. Microscopic investigations indicate that micron-size grains of gold, electrum and palladium-telluride can be found in porphyry part of the system. Measuring of the concentrations of trace elements in sulfide minerals by LA-ICP-MS indicate that different mineral phases in epithermal zone contain higher concentrations of rare elements: py-cov pyrite in massive sulfides contains higher amounts of gold and silver, whereas enargite contains increased amounts of germanium.

Key words: Bor metallogenic zone, Timok magmatic complex, porphyry deposits, high sulphidation deposits, fluid inclusions, ore paragenesis, geochronology, hydrothermal alterations, LA-ICP-MS

Scientific field: Geology

Scientific subfield: Economic Geology

UDC number: 553.08:553.4(043.3)

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
1.1 Полазна претпоставка.....	2
1.2 Претходна студијска изучавања.....	2
1.3 Примењена методика истраживања.....	6
1.4 Коришћени термини.....	8
2. МЕТАЛОГЕНЕТСКИ ПОЛОЖАЈ И ГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ХИДРОТЕРМАЛНОГ СИСТЕМА ЧУКАРУ ПЕКИ.....	9
2.1 Тектонска грађа.....	10
2.2 Магматизам.....	12
2.3 Типови лежишта.....	15
2.4 Геолошка грађа лежишта Чукару Пеки.....	16
3. ГЕНЕТСКИ МОДЕЛ ЛЕЖИШТА.....	27
3.1 Врсте и сегменти генетског модела.....	27
3.2 Примена генетског модела на систему Чукару Пеки.....	28
4. УЗОРЦИ И МЕТОДЕ.....	32
5. РЕЗУЛТАТИ.....	35
5.1 Порекло магматског интрузива.....	35
5.1.1 Анализе ретких земаља у стенама.....	35
5.1.2 Одређивање старости лежишта.....	35
5.1.3 Анализе микроелемената у цирконима.....	38
5.2 Карактеристике хидротермалних флуида.....	41
5.2.1 Петрографско испитивање флуидних инклузија.....	41
5.2.2 Резултати микротермометријских мерења.....	45
5.3 Депоновање рудних минерала.....	52
5.3.1 Проучавање рудних парагенеза.....	52
5.3.2 Изучавање дистрибуције микроелемената у рудним минералима помоћу ласерске аблације (LA-ICP-MS).....	54
5.4 Пратеће појаве депоновања рудне минерализације.....	57
6. ДИСКУСИЈА.....	64
6.1 Порекло магматског интрузива.....	64
6.1.1 Концентрације елемената ретких земаља у стенама.....	64
6.1.2 Старости минерализације и садржаји микроелемената у цирконима.....	65
6.2 Мобилизација и транспорт рудних елемената.....	66
6.3 Карактеристике хидротермалних флуида.....	75
6.3.1 Порфирска зона.....	75

6.3.2 Високосулфидациона зона	77
6.4 Дeпoнoвaњe рудних минерала	77
6.4.1 Порфирски стадијум	77
6.4.2 Епитермални стадијум	80
6.5 Пратеће појаве депоновања рудне минерализације	83
6.5.1 Хидротермалне алтерације	83
6.5.2 Пострудне структурне деформације	87
6.5.3 Оксидација примарних минерала	88
6.5.4 Ореоли расејавања	88
7. ЗАКЉУЧАК	90
7.1 Утврђивање генетске везе са оближњим порфирским системима	90
7.1.1 Садржај елемената ретких земаља у стенама	90
7.1.2 Одређивање старости и садржаја микроелемената у цирконима	90
7.2 Утврђивање физичко-хемијских карактеристика рудоносних флуида	91
7.2.1 Мобилизација и транспорт рудних елемената	91
7.2.2 Карактеристике хидротермалних флуида	93
7.3 Утврђивање минералног састава и редоследа формирања минерализације	93
7.3.1 Дeпoнoвaњe рудних минерала	93
7.3.2 Пратеће појаве депоновања рудне минерализације	95
8. ЛИТЕРАТУРА	97
9. ПРИЛОЗИ	107

1. УВОД

Хидротермални Cu-Au систем Чукару Пеки је откривен 2011. године. Носилац је једног од највећих порфирских лежишта бакра у југоисточној Европи. Поред порфирског, штокверкно-импрегнационог типа минерализације, садржи и значајне минералне ресурсе бакра и злата у масивно-сулфидним, високо-сулфидационим рудним телима.

Циљ комплексних геолошких истраживања хидротермалног Cu-Au система Чукару Пеки у дисертацији је разумевање генезе, а посебно еволуције рудоносних флуида из којих је настала рудна минерализација. У првом делу дисертације анализирани су геолошки, геотектонски и металогенетски положај рудоносног система, дефинисане су његове основне карактеристике (величина, облик, контролни фактори просторног положаја), технолошки типови рудне минерализације, њихови просторни односи, минерални и елементни састав и др. Изведени закључци су базирани на резултатима до данас спроведених истраживачких активности, као и сопствених теренских, лабораторијских и кабинетских изучавања аутора у периоду 2017-2020. године.

Тежиште активности у дисертацији је на разумевању гасно-течних флуида, њихових карактеристика и еволуције, анализи примарних извора рудних елемената, процеса њиховог мобилисања, транспорта и обарања у различитим срединама. Размотрени су, такође, и бројни, пратећи процеси формирања рудних тела. Уочене карактеристике рудне минерализације у хидротермалном систему Чукару Пеки упоређене су са сличним морфогенетским типовима лежишта бакра и злата Борске металогенетске зоне, а посебно оних која се налазе у хидротермалном систему Борског лежишта.

Геолошким истраживањима су у хидротермалном систему Чукару Пеки, утврђени високи садржаји племенитих метала (злато, сребро, паладијум) и ретких елемената (германијум и др.). Разјашњење вида њиховог концентрисања и идентификовање минерала-концентратора, значајно би увећало економски значај идентификованих минералних ресурса и резерви бакра.

Очекивани задаци дисертације су следећи:

- Утврђивање минералног састава и редоследа формирања различитих типова рудне минерализације, укључујући анализу минералних парагенеза, главних рудних минерала бакра, злата и сребра и других ретких елемената и њихове везе са различитим фацијама хидротермалне алтерације. Истраживања су спроведена применом рудно-микроскопске анализе, изучавањем изабраних узорака на електронском микроскопу са енерго-дисперзивним спектрометром (SEM-EDS) и мерењима садржаја елемената у траговима ласерском аблацијом у комбинацији са индуктивно-спрегнутом плазмом и масеним спектрометром (LA-ICP-MS).
- Утврђивање генетске везе између хидротермалног система Чукару Пеки и хидротермалног система Бор, а посебно њене природе (геодинамичка, магматска, структурно-геолошка, временска и др.). Закључци истраживања су базирани на радиометријском датирању (U-Pb датирању циркона, мерењу ретких елемената у цирконима и мерењу концентрације елемената ретких земаља у примерцима целих стена).
- Дефинисање физичко-хемијских и термодинамичких карактеристика рудоносних флуида који су продуковали различите типове рудне минерализације у хидротермалном систему Чукару Пеки (температура, притисак, салинитет, густина и др.), као и њихове промене од почетних до завршних стадијума формирања рудне минерализације. У том циљу,

спроведена су опсежна испитивања флуидних инклузија, од проналажења адекватних група инклузија, дефинисања фазних односа, вршења експерименталних загревања и хлађења на термалном сточићу до додатних анализа, укључујући и РАМАН спектроскопију.

Добијени резултати ће омогућити поузданије сагледавање услова формирања хидротермалног система Чукару Пеки, али и указати на нове правце истраживања и путеве валоризације племенитих метала и ретких елемената.

1.1 Полазна претпоставка

Полазна хипотеза је да хидротермални рудоносни систем Чукару Пеки припада серији ендегених лежишта минералних сировина, групи хидротермалних (постмагматских), односно класи порфирских лежишта бакра и злата. У хипсометријски вишем нивоу садржи масивни до семи-масивни тзв. високосулфидациони део рудне минерализације богат ковелином, са високим концентрацијама злата, док у хипсометријски нижим нивоима система и делом латерално, преовлађује штокверкно-импрегнациони тип минерализације. Претпоставља се да је богати, масивно до семи-масивно сулфидни тип минерализације настао услед наглог истискивања гасно-течних флуида из апикалних делова нижег порфирског система у више нивое, а што је праћено бречизирањем и хидротермалним алтерисањем околних стена.

1.2 Претходна студијска изучавања

Основне геолошко-металогенетске карактеристике хидротермалног рудоносног система Чукару Пеки су од његовог проналазак 2011. године до данас, описиване од стране различитих аутора и приказане у бројним материјалима фондовског карактера, као и мањем броју научно-стручних публикација (Вањећевић & Large, 2014; Јеленковић et al., 2016; Вањећевић et al., 2019). У већини радова, положај и услови стварања рудне минерализације разматрани су са геолошко-економског аспекта, преко анализе уочених морфогенетских и технолошких типова рудних тела и руда, средине њихове просторне локализације и пратећих процеса стварања минерализације, ; при опису услова стварања лежишта, често је коришћен принцип аналогije са другим лежиштима бакра и злата на простору Борске металогенетске зоне. Систематска научна истраживања поменутог рудоносног система, међутим, нису вршена.

Вањећевић & Large (2014) су на основи резултата спроведених геолошких истраживања хидротермални систем Чукару Пеки генетски класификовали као високосулфидационо епитермално лежиште (горња зона) и порфирско лежиште бакра (доња зона), док Јеленковић et al. (2016) горњу зону тумаче као хидротермално вулканогени тип минерализације са бакроносним пиритом (енг. *Hydrothermal volcanic deposits of copper bearing pyrite*), а доњу зону као штокверкно-импрегнациони (порфирски) тип минерализације бакра и злата.

У прошлости, у периоду пре проналазак хидротермалног рудоносног система Чукару Пеки, у границама тзв. истражног поља Брестовац- Метовница коме припада, у више наврата су вршена геофизичка и геолошка истраживања. Први подаци о геофизичким радовима на овом простору налазе се у извештају немачког геофизичара О. Мајсера из 1950. године (резултати мерења методом сопственог електричног потенцијала), док су у раздобљу 1969-1988. године, на истом простору вршена гравиметријска, геомагнетна и геоелектрична испитивања различитим методама од стране истраживача „Завода за геолошка и геофизичка

испитивања” из Београда и „Геофизичког института” из Београда (Циленшек и Стаменић, 1988). На основу ових истраживања, лоцирано је 10 истражних бушотина, од којих је само једна (B10) пресекла слабу сулфидну минерализацију. Резултате и интерпретацију модерних аеромагнетних испитивања Тимочког магматског комплекса приказује Игњатовић (2014).

Изучавање дистрибуције елемената из групе ретких земаља у стенама Тимочког магматског комплекса су спровели Stein et al. (2002). Утврдили су њихов адакитски карактер, односно да имају релативно високе концентрације Al_2O_3 и Sr, као и ниске концентрације Y и HREE (тешки елементи ретких земаља). На основу добијених резултата, претпоставили су да је матична магма вероватно настала директним парцијалним стапањем мафичног протолита, док Kolb et al. (2013) сматрају да је адакитски карактер стена Тимочког магматског комплекса вероватно последица интензивне фракционације амфибола на високим притисцима у нивоима доње коре. Са друге стране, исти аутори наводе да магме из којих су настале стене које имају геохемијски карактер андезита вулканских лукова, нису укључивале фракционацију амфибола, већ су диференциране у нивоима горње коре, путем комбинованих процеса фракционације и асимилације.

Одређивање старости стена Тимочког магматског комплекса, као и лежишта бакра која су за њих просторно и генетски везана, вршено је у више наврата, применом различитих метода (табела 1). Јанковић и др. (1981) су за старост различитих стена Тимочког магматског комплекса добили распон од 91 Ма до 60 Ма (K-Ar) и од 108 Ма до 55 Ма (Rb-Sr). Ванјешевић et al. (2001) су применом методе K-Ar за подручје Борског рудника добили вредност од $89,7 \pm 3,6$ Ма, док су Clark & Ullrich (2004) на основу мерења старости Ar-Ar методом закључили да је минерализација бакра у лежишту Мајданпек формирана између 84,0 Ма и $83,6 \pm 0,6$ Ма, што се поклапа с временом образовања прве фазе вулканске активности на овом подручју. Lips et al. (2004) наводе да је просечна старост мусковита насталог алтерацијом у Борском лежишту $86,6 \pm 1$ Ма (Ar-Ar), а Von Quadt et al. (2002) на основу мерења U-Pb старости циркона из стена Тимочког магматског комплекса закључују да је главна минерализациона активност трајала у распону од 86 Ма до 84 Ма. Lerouge et al. (2005) су вршили мерења K-Ar методом на алуниту из орудњених стена околине Бора и добили средњу старост од $84,6 \pm 1,2$ Ма. Zimmerman et al. (2008) су вршили одређивање старости методом Re-Os и добили вредности од $86,24 \pm 0,4$ и $85,94 \pm 0,4$ Ма за лежиште бакра Бор и $87,88 \pm 0,5$ за лежиште Велики Кривељ. Kolb et al. (2013) су вршили мерења старости циркона из Тимочког магматског комплекса и закључили да је старост стена у његовом источном делу у распону од 89,9-82,8 Ма, а у западном делу 82,2-78,9 Ма). Ванјешевић et al. (2019) су испитивањима у области Николичева утврдили да постоје 2 стадијума андезита прве вулканске фазе: V1A, тзв. Старији (90-89 Ма) продуктивни андезити, који имају адакитски афинитет и млађи (86-85 Ма), неминерализовани V1B андезити који су у подручју хидротермалног рудоносног система Чукару Пеки названи „Горњи андезити” и који показују мање изражен адакитски афинитет.

Изотопске анализе сумпора у стенама Борске металогенетске зоне вршили су Дровеник и др. (1975) и Lerouge et al. (2005). Дровеник и др. (1975) су установили да δS^{34} у сулфидним минералима Борског рудника (прим. лежишта) варира од +0,52‰ до -10,52‰, док је Lerouge (2005) одредио распон вредности δS^{34} од +3‰ до -0,6‰. Дровеник и др. (1975) су измерили високе вредности за анхидритске и баритске жице (+18,05 до +20,12‰), док су Lerouge et al. (2005) добили сличне вредности δS^{34} за анхидрит и алунит (+17,5 до +19,8‰). Ова проучавања указују да сумпор и вероватно већина рудних елемената воде порекло из омотача, као и да је део сумпора у епитермалној зони настао процесима редукције сулфата из морске воде.

Изотопе стронцијума је у магматским стенама Тимочког магматског комплекса проучавао Ловрић (1972). Одредио је да однос $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ у анализираним узорцима варира између 0,707 и 0,712 и на основу тога закључио да магма из које су ове стене кристалисале води порекло из горњег омотача, али да је контаминирана материјалом континенталне коре приликом кретања ка површини.

Табела 1: Одредбе радиометријске старости стена Тимочког магматског комплекса.

Аутори	Метода	Добијена старост
Јанковић и др., 1981	K-Ar Rb-Sr	91 - 60 Ma 108 - 55 Ma
Banješević et al., 2001	K-Ar	89,7 ± 3,6 Ma
Clark & Ullrich, 2004	Ar-Ar	84,0 - 83,6 ± 0,6 Ma
Lips et al., 2004	Ar-Ar	86,6 ± 1 Ma
von Quadt et al., 2002	U-Pb	86 - 84 Ma
Lerouge et al., 2005	K-Ar	84,6 ± 1,2 Ma
Zimmerman et al., 2008	Re-Os	86,24 - 85,94 ± 0,4 Ma
Kolb et al., 2013	U-Pb	89,9 - 82,8 Ma (источни део ТМК) 82,2 - 78,9 Ma (западни део ТМК)
Banješević et al., 2019	U-Pb	90 - 89 Ma (V1A) 86 - 85 Ma (V1B)

Испитивања флуидних инклузија на узорцима из Тимочког магматског комплекса су вршена у више наврата.

Прву анализу флуидних инклузија спровео је Блечић (1974) на узорку кварца из лежишта бакра Мајданпек и издвојио је 4 типа инклузија:

- 1) инклузије са пуно микроминерала (полифазне) и црвеним минералом (хематитом) у тзв. „залеченим” пукотинама кварца,
- 2) инклузије са знатним уделом течне фазе (25-60 запр. %) и малим уделом течне фазе (до 10 запр. %),
- 3) инклузије са металичним минералом (могуће пиритом) и
- 4) секундарне инклузије са 90 запр. % гасне фазе.

Strashimirov (1997) је спровео детаљну анализу флуидних инклузија на узорцима кварца из порфирског лежишта бакра Мајданпек и закључио да је поменути хидротермални рудоносни систем на почетку своје егзистенције био високотемпературног карактера (више од 580°C), а да је касније уследило издвајање веома сланих раствора (енгл. *Brine fluid*) у температурном распону од 550-450°C. Исти аутор је такође утврдио да се кључање раствора одиграло на температурама од око 400°C, што је довело до пада салинитета у систему и депоновања рудних минерала.

Кожељ (2002) је вршио испитивање флуидних инклузија на узорцима кварца, анхидрита и барита из епитермалних лежишта бакра и злата лежишта Бор (рудна тела Тилва Рош и Камењар) и издвојио 2 типа флуида:

- 1) средњетемпературне хидротермалне флуиде (150-250°C) са салинитетом од 2-14 теж. % NaCl екв. и

2) нискотемпературне хидротермалне флуиде (130-220°C) ниског салинитета (< 5 теж.% NaCl екв.).

Bailly et al. (2002) су спровели инфрацрвену микротермометрију на сулфидним (непровидним) минералима (енаргит и сфалерит) из високосулфидационог дела епитермалне зоне Борског лежишта и закључили да су се вредности температуре рудоносних флуида кретале у распону 164-240°C, а да је њихов салинитет био између 4,65 и 8,41 теж.% NaCl екв.

Lerouge et al. (2005) су на основу проучавања односа изотопа сумпора у алуниту и пириту израчунали да је температура формирања минерализације високосулфидационог типа у рудном телу Тилва Рош била 307°C, а у лежишту Борска река 327°C.

Утврђивањем видова транспорта рудних елемената у Борском лежишту се до сада бавило више аутора (Јанковић, 1990; Gržetić, 1990, 1992, 1996; Кожељ, 2002; Јанковић и др. 2002). Истраживања ових аутора указују да се пренос рудних елемената одвијао хидротермалним флуидима чија је рН вредност била између 7 и 2 (неутрална до веома кисела) и који су били редукционог карактера (са вредностима Eh између 0 и -0,5).

Проучавањем рудних парагенеза у Борској металогенетској зони у прошлости се бавило више аутора. Њихов детаљан преглед се налази у радовима Цветковић (1989), Јанковић (1990), Вакањац (2000), Кожељ (2002), Јеленковић и др. (2002), и Јанковић и др. (2002). Рудне парагенезе хидротермалног система Чукару Пеки је детаљно изучавао Пачевски А. у периоду 2012 - 2014. године, док су петрографска испитивања вршили Цветковић В. и Шарић К. у периоду 2012 - 2013. године. Резултати изучавања су приказани у више интерних извештаја датих у списку литературе (Pačevski, Cvetković & Šarić, 2012; Pačevski, Cvetković & Šarić, 2013; Pačevski, 2014; Pačevski, 2014a).

Више аутора вршило је детаљно изучавање хидротермалних алтерација околних стена рудне минерализације бакра и злата у Борској металогенетској зони: Миловановић (1980), Карамата (1981) и Вакањац (2000). Вакањац (2000) је издвојио три типичне врсте алтерационих парагенеза. 1) Алтерациона парагенеза 1: Јавља се уз импрегнациона орудњења и углавном је чине рутил, сфен, епидот, хлорит, калцит и опацитски магнетит. 2) Алтерациона парагенеза 2: Јавља се уз импрегнациона орудњења и углавном је чине серицит, хлорит, кварц и пирит. 3) Алтерациона парагенеза 3: Јавља се у жичним лежиштима и углавном је сачињавају кварц, каолинит, пирит ± алунит, ± дијаспор.

Дистрибуцију микроелемената у сулфидним минералима из лежишта бакра и злата Борске металогенетске зоне детаљније су проучавали Павићевић и др. (1981, 1983, 1985), Мишковић (1989), Вакањац (2000) и други аутори. Синтетски приказ резултата поменутих испитивања и закључке приказали су Јанковић и др. (2002). Главни закључци о концентрисању микроелемената у високосулфидационим деловима Борских лежишта, по овим ауторима, су:

- Изразито повишени садржаји хрома и никла се примећују у скоро свим мономинералним фазама у масивним сулфидима.
- Посебно је значајан висок садржаја германијума у енаргиту.
- Повишени садржаји калаја и телура су примећени у свим минералима (до 0,4%).
- Присуство волфрама је уочено у свим рудним минералима (углавном у садржајима између 0,2 и 0,6%).

- Концентрације злата у појединим рудним минералима (углавном халкопириту, пириту и борниту) су релативно високе.
- Повишени садржаји селена су уочени у борниту и ковелину.
- Сребро је присутно у скоро свим анализираним минералима.
- Посебно су значајне повишене концентрације паладијума (до 0,5%) у више рудних минерала (пирит, халкопирит, борнит, дигенит, ковелин, лузонит и тетраедрит).

1.3 Примењена методика истраживања

Студијска изучавања генезе хидротермалног рудоносног система Чукару Пеки чији су резултати приказани у овој дисертацији, започела су на првој години докторских студија на Универзитету у Београду - Рударско-геолошки факултет, израдом семинарских радова и истраживачких студија. Затим су уследила теренска истраживања, лабораторијска испитивања и кабинетски радови.

У првој фази рада, кабинетски радови су обухватили прикупљање и анализу референтне литературе, публикација и материјала фондовског карактера који се односе на лежишта бабра и злата у Тимочком магматском комплексу, хидротермални рудоносни систем Чукару Пеки и лежишта сличног типа у свету.

Теренска истраживања су вршена ради стварања адекватне геолошке подлоге за даља проучавања и обухватила су:

- Геолошко картирање језгра селектованих карактеристичних дубоких истражних бушотина хидротермалног система Чукару Пеки, са посебним освртом на литологију, алтерације, различите типове рудних жица и остале видове рудне минерализације и различите типове бреча.
- Израду карактеристичних геолошких стубова на основу картирања бушотина са описом издвојених јединица и израду геолошких профила по задатим вертикалним пресецима који обухватају картиране истражне бушотине.
- Селекцију и узимање карактеристичних проба и узорка из језгара бушотина за потребе даљих рудномикроскопских и других лабораторијских испитивања.

Припремни лабораторијски радови су обухватили:

- Припрему проба за хемијска и геохемијска испитивања (дробљење, млевење, спрашивање, скраћивање и др.).
- Израду рудних препарата за одбијену светлост, израду дупло-полираних препарата за испитивање флуидних инклузија и припрему препарата за друге методе лабораторијских испитивања.

Минералозна испитивања препарата су вршена применом метода:

- Рудне микроскопије за одређивање рудних парагенеза.
- Микроскопије у одбијеној светлости за испитивање флуидних инклузија.
- Микротермометријска испитивања флуидних инклузија помоћу термалног сточића.

- Скенирајуће електронске микроскопије.
- Раман спектроскопије.

Хемијска и геохемијска карактеризација узорака вршена је применом следећих метода:

- Масена спектрометрија са индуктивно спрегнутом плазмом (ICP-MS) за одређивање концентрације елемената ретких земаља.
- Одређивање старости стена помоћу U-Pb радиометријског датирања циркона хидротермалног система Чукару Пеки.
- Одређивање концентрације микроелемената у појединим минералима помоћу ласерске аблације у комбинацији са индуктивно спрегнутом плазмом и масеном спектрометријом (LA-ICP-MS).

Теренска истраживања су спроведена у више наврата 2017. и 2018. године у сарадњи са истраживачима из компаније Rakita exploration d.o.o. Током овог периода, детаљно је геолошки обрађено (картирано, интерпретирано и опробано) 9 дубоких истражних бушотина које пресецају рудну минерализацију у хидротермалном систему Чукару Пеки (бушотине са ознакама: FMTC1327, FMTC1328, FMTC1330, TC140053, TC150061, TC150062, TC150096, TC160117 и TC160125). Укупно су прикупљена 143 узорка предвиђена за даља лабораторијска изучавања.

Лабораторијски радови су обухватили израду 41 препарата за одбијену светлост и 33 дупло полираних препарата за изучавање флуидних инклузија. Препарати су припремљени у лабораторијама Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и на Универзитету у Леобену, Аустрија. Посебан проблем у оквиру ових радова било је проналажење адекватног поступка за прављење дупло полираних препарата за испитивање флуидних инклузија. Њихова израда подразумева висок степен полираности са обе стране препарата, коришћење адекватног растворног лепка за лепљење препарата за предметно стакло и прецизно сечење на адекватну дебљину (100-200 микрона). Овај поступак је важан како би препарат био довољно танак и провидан да би се виделе инклузије, а довољно дебео да у њему остану инклузије адекватне величине. Детаљан опис примењеног поступка израде препарата приказан је у публикацији Goldstein & Samson (2003).

Део микроскопских испитивања и сва микротермометријска мерења су спроведена на Рударско-геолошком факултету у Београду. Током рада је испољено више проблема:

- Недостатак инклузија у узорцима из високосулфидационог дела лежишта.
- Релативно мала величина већине проучаваних инклузија у кварцу из порфирског дела лежишта (< 10 микрометара), што отежава микротермометријска мерења.
- Експанзија кристала анхидрита и поремећај фазних односа у инклузијама у анхидриту при загревању (Vanko & Vach, 2005). Иако кристали анхидрита садрже пуно инклузија, овај процес ограничава број оних које је могуће измерити, јер се у сваком наредном мерењу смањује поузданост добијених резултата.

Радиометријско датирање циркона из хидротермалног система Чукару Пеки је спроведено на ЕТН Универзитету у Цириху, Швајцарска, док је већина осталих анализа: део микроскопских испитивања, скенирајућа електронска микроскопија (SEM), раман спектроскопија, масена спектрометрија са индуктивно спрегнутом плазмом (ICP-MS) и мерење дистрибуције микроелемената путем ласерске аблације (LA-ICP-MS) извршена на Универзитету у Леобену, Аустрија.

1.4 Коришћени термини

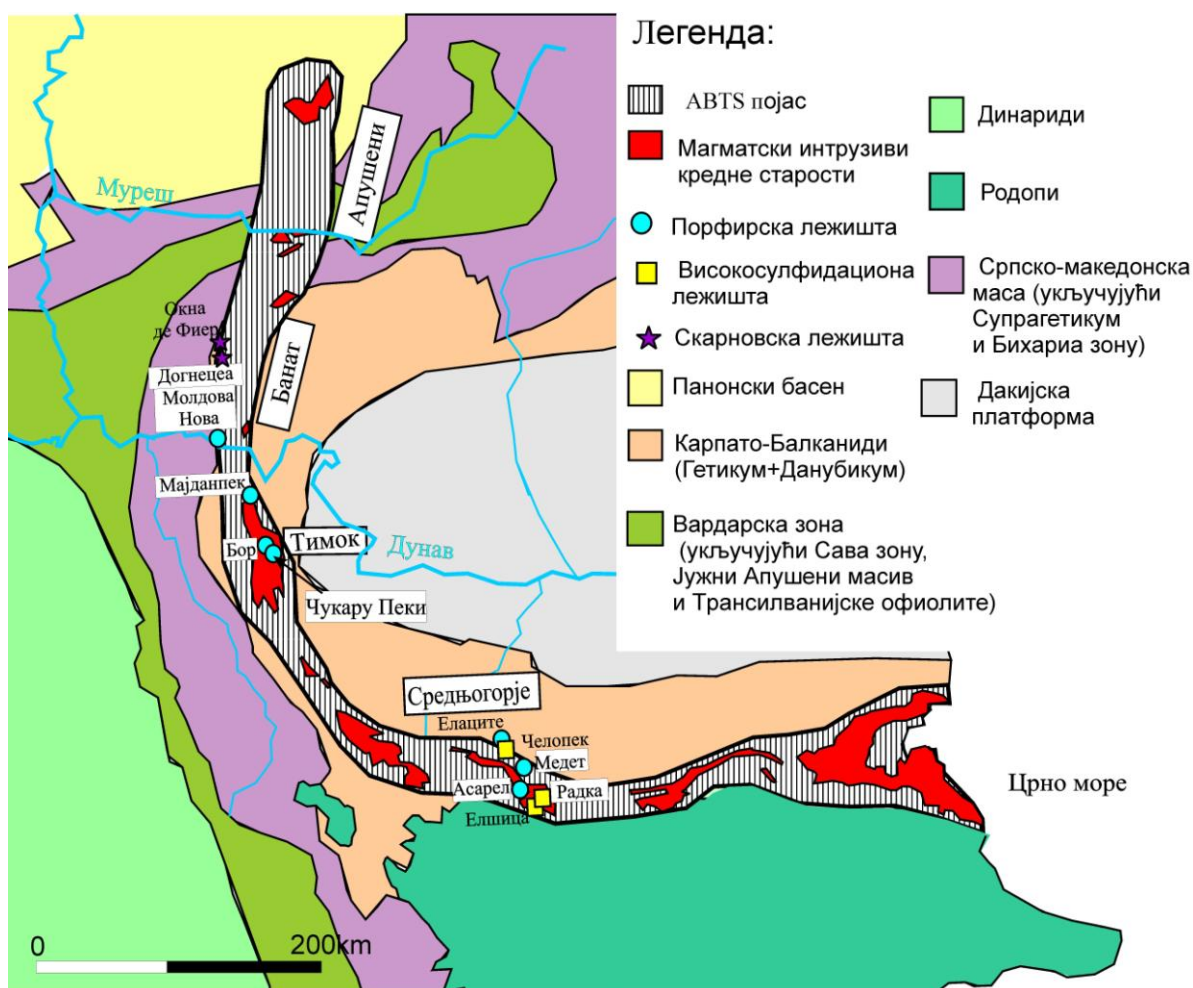
Пошто се у овом раду користе различити стручни термини за које у неким случајевима недостаје адекватан превод. У овом поглављу ће бити описано њихово значење.

- Горња зона (енгл. *Upper Zone*) и Тимок ГЗ (енгл. *UZ*) одговарају масивно-сулфидном делу хидротермалног Cu-Au система Чукару Пеки. У компанијским извештајима се за овај систем такође користи и појам Лежиште Чукару Пеки (енгл. *Čukaru Peki deposit*).
- Доња зона (енгл. *Lower zone*) одговара порфирској минерализацији бакра. Појам „Хидротермални Cu-Au систем Чукару Пеки“, који се користи у дисертацији, обухвата све типове истраживане рудне минерализације: Горњу зону, Доњу зону, и Прелазну зону која се налази између њих. Коришћење поменутог појма је оправдано, јер генетски различите типове минерализације бакра и злата на овом простору настали доводи у везу са егзистенцијом јединственог вишефазног хидротермално-рудносног процеса. У компанијским извештајима се за овај систем користи и појам Лежиште Тимок (енгл. *Timok deposit*), али он неће бити коришћен у овој дисертацији.
- *Bulk rock* представља вид анализе у којој се цела стена, без издвајања зрна, спрашује и раствара, ради мерења концентрације елемената. У овом раду ће се за овај вид анализе користити термин анализа целих узорака стена.
- *Fluid inclusion assemblage* је термин који се користи у испитивању флуидних инклузија и означава групу инклузија која има сличне фазне пропорције и која је настала у истим генетским условима. У овом раду, за поменути термин се користи групација флуидних инклузија“.
- *Ma* означава скраћеницу за „милиона година“ и користи се за одређивање старости стена.
- *Potassic alteration* је тип алтерације која се карактерише присуством калијских фелдспата. У овом раду ће се користити термин калијска алтерација.
- *Chloritization* представља тип алтерације која се карактерише присуством хлорита. У овом раду ће се користити термин хлоритска алтерација или хлоритизација.
- *Phyllic alteration* означава тип алтерације која се карактерише присуством серицита. У овом раду ће се користити термин серицитска алтерација или серицитизација.
- *Advanced argillic alteration* је тип алтерације која се карактерише присуством алунита и шупљикаве силиције. У овом раду ће се користити термин напредна аргилитска алтерација.
- *Pyritization* представља тип алтерације која се карактерише присуством ситнозрног пирита који прекрива стенску масу. У овом раду ће се користити термин пиритизација.
- *Argillic alteration* означава тип алтерације која се карактерише присуством минерала глина. У овом раду ће се користити термин аргилитска алтерација.
- *Silicification* представља тип алтерације која се карактерише присуством силиције. У овом раду ће се користити термин силификација.

2. МЕТАЛОГЕНЕТСКИ ПОЛОЖАЈ И ГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ХИДРОТЕРМАЛНОГ СИСТЕМА ЧУКАРУ ПЕКИ

Хидротермални рудоносни систем Чукару Пеки се налази у централном делу Борске металогенетске зоне Карпатско-балканске металогенетске провинције (Јанковић, 1990; Kolb et al., 2013; Jelenković et al., 2016). У ужем смислу, део је рудног рејона Бор, металогенетске јединице у којој се налази и светски познато, истоимено лежиште бакра и злата.

Настанак хидротермалног рудоносног система Чукару Пеки, као и других лежишта бакра и злата у домену Борске металогенетске зоне, просторно и генетски је везан за еволуцију Тимочког магматског комплекса источне Србије, а у ширем смислу, за сложене геодинамичке процесе који су довели до затварања океана Тетиса, и коначно геотектонско уобличавање простора данашњег Балканског полуострва.



Слика 1: Шематски приказ АВТС појаса са означеним положајем металогенетских зона, магматских интрузива кредне старости и већих лежишта бакра и полиметала (модификовано из Schmid et al., 2008; Knaak et al., 2016)

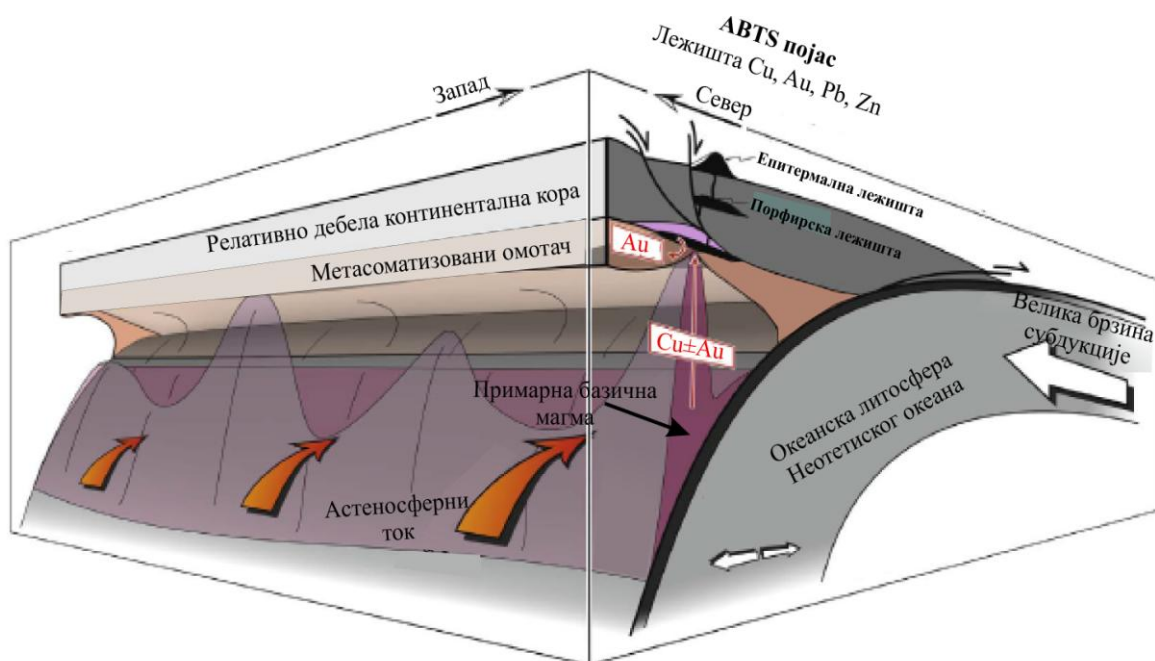
На ширем простору Карпато-балканске металогенетске јединице, у сличним условима у којима је настао хидротермални рудоносни систем Чукару Пеки, створено је и више других, геолошки и економски значајних порфирских лежишта бакра и злата (Мајданпек и Велики

Кривељ у Србији, Молдова Нова у Румунији, Елаците и Медет у Бугарској и друга), лежишта полиметала (Чока Марин у Србији, Челопек у Бугарској и др.) и других минералних сировина (Janković, 1997; Neubauer, 2002; Gallhofer et al., 2015).

Борска металогенетска зона се у литератури тумачи и као источни сегмент великог магматског и металогенетског лука кредне старости, који се протеже кроз Румунију, Србију и Бугарску (тзв. АВТС појас - скраћено од Апузени-Банат-Тимок-Средњогорје појас, Neubauer, 2002) односно ВММВ појас (скраћено од Банатитски магматски и металогенетски појас; Verza et al., 1998) (слика 1), док Карпатско-балканска провинција представља један од сегмената Тетиског металогенетског појаса, који је просторно везан за Алпско-Хималајски орогени систем који се протеже од Западне Европе до Јужног кинеског мора (Janković, 1977; Zimmerman et al., 2008). Овај орогени систем је последица конвергенције и колизије Индијске, Арабијске и Афричке плоче са Евроазијском плочом, која је започела у доба креде и још увек траје (Heinrich & Neubauer, 2002; Fügenschuh & Schmid, 2005).

2.1 Тектонска грађа

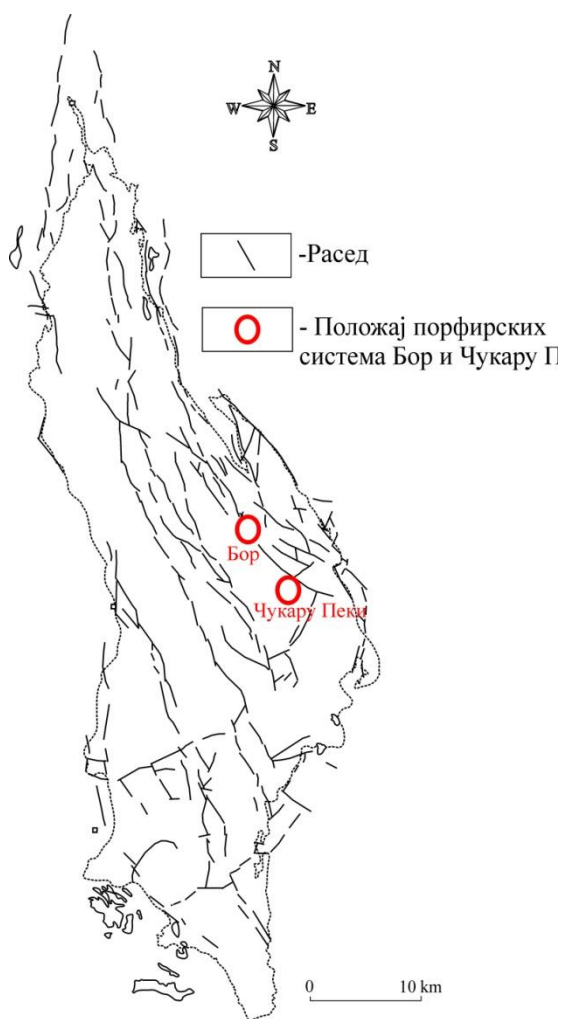
Настанак порфирских лежишта бабра у АВТС појасу везује се за субдукционе процесе на простору Неотетиског океана и формирања остврског лука, пре око 92 до 75 Ма (Neubauer, 2002, Fügenschuh & Schmid, 2005) (слика 2). У време формирања порфирских лежишта, Борска металогенетска зона је била оријентисана у правцу исток-запад, док је каснијим кенозојским деформацијама западни део зоне ротиран у правцу казаљке на сату у данашњи положај (Fügenschuh & Schmid, 2005; Gallhofer et al., 2015; Menant et al., 2018).



Слика 2: Тродимензионални приказ субдукционе зоне на простору АВТС појаса у време горње креде, када је дошло до формирања порфирских лежишта. Ознаке Au и Cu ± Au указују на правце којима се приносе бакар и злато од примарних магми до средина стварања порфирских и епитермалних лежишта (модификовано из Menant et al., 2018).

Смањивање старости магматских стена од источних ка западним деловима Тимочког магматског комплекса објашњава се тзв. roll-back процесом субдуковане литосфере и акрецијом седимената у fore-arc басену, чиме је дошло до постепеног померања фронта субдукције ка западу (Kolb et al., 2013). Ово смањивање старости ка претпостављеном палеорову, такође указује да је вероватно велики део вулканског лука формиран у условима екстензионог или транстензионог режима (Zimmerman et al., 2008; Kolb et al., 2013; Knaak et al., 2016). Присуство раседа паралелних са вулканским луком такође указује да су бочна транстензија и отварање pull-apart басена контролисали положај овог магматског лука (Gallhofer et al., 2015).

Завршетак калко-алкалног магматизма у овој зони (пре око 71 Ма) вероватно осликава коначно затварање Неотетиског океана у овом делу лука и почетак колизије Адрија блока са Евроазијском плочом. (Gallhofer et al., 2015). Након овог затварања, стене су деформисане у ларамидској фази алпске орогенезе и затим су подвргнуте деформацији дуж нормалних, реверсних и транскурентних раседа током ороклиналног набирања у олигоцену и миоцену (Neubauer, 2002). У току овог набирања, сегмент лука у којем се налазила Борска металогенетска зона је ротиран за 30° у правцу казаљке на сату и издужен, што је довело до формирања данашњег сочивастиг облика овог комплекса (Fügenschuh & Schmid, 2005; Knaak et al., 2016).



Слика 3: Положај већих лонгитудиналних структура у Тимочком магматском комплексу са означеном позицијом рудоносних система Бор и Чукару Пеки, модификовано из Јанковић и др. (2002).

У морфолошком погледу, Борска металогенетска зона има облик рововске структуре коју карактерише гравитационо спуштање блокова (Кожељ, 2002; Јанковић и др., 2002). У тектонском погледу, источна граница зоне је Тимочка раседна зона (Јанковић, 1967; Јанковић, 1990; Kolb et al., 2013). У почетним стадијумима формирања рова настале су дубоке разломне зоне, које су допирале до магматског огњишта и које су касније имале улогу доводних канала магме. Источни делови рова се карактеришу раседима чији је правац пружања ССЗ-ЈИИ и за које је везана већина лежишта и појава бакра и злата у овој области (Кожељ, 2002).

Јанковић и др. (2002) у подручју Тимочког магматског комплекса издвајају: 1) лонгитудиналне разломне структуре гравитационог карактера, као што су злотска, белоречко-бучјанска, брестовачко-тупижничка и др., и 2) трансверзалне структуре, настале под дејством притиска са запада које су нарочито развијене јужно од Бора (слика 3). Игњатовић (2014) на основу аеромагнетних и гравиметријских мерења указује на широко распрострањење маркантних раседа који се пружају у правцу ССЗ-ЈИИ.

Југоисточни део Тимочког магматског комплекса у коме се налази хидротермални систем Чукару Пеки, налази се између две сличне тектонске подјединице: Тимочке на западу и Тупижничке на истоку, а које су раздвојене Борским раседом. Ранијим геолошким картирањем, на овом простору је издвојена крупна геотектонска јединица, Тимочка синформа, у оквиру које су издвојене мање структурне форме: 1) Тимочка ров-синклинала, 2) синклинала Чока Борулуј, 3) антиклинала Брестовац, 4) Борска дислокација, 5) Кривељски расед и 6) Слатински терцијарни басен (Бугарин и Маринковић, 2018).

2.2 Магматизам

Магматска активност на подручју Борске металогенетске зоне трајала је око 10 милиона година, од горњег турона (с почетком око 89 Ма) до горњег кампана (с најмлађим вулканским продуктима од око 80 Ма) (Clark & Ullrich, 2006; Banješević, 2010; Jelenković et al., 2016).

У подини горњокредних магматских стена налазе се творевине палеозојске, јурске и доњокредне старости (Јанковић и др., 2002; Бугарин и Маринковић, 2018). Палеозојске стене су доминантно ордовоцијумски аргилофилити и метапешчари, с локалним интрузивима варисцијских гранитоида. Преко њих трансгресивно леже јурске карбонатне стене: масивни, банковити и слојевити кречњаци и ређе, доломити. Преко јурских стена конкордантно леже доњокредни седименти, представљени масивним и слојевитим кречњацима, конгломерати, глауконитски и гвожђевити пешчари.

Сматра се да се магматизам у овој области одвијао у три вулканске фазе (Дровеник, 1961; Ловрић, 1972; Карамата, 1974; Ђорђевић, 1979; Јанковић, 1990):

1) Прва вулканска фаза или тзв. Тимоцитска асоцијација углавном је развијена у источним деловима комплекса. Доминантно је изграђују хорнбленда-биотитски андезити, хорнбленда андезити и дацити. Старост стена је одређена на око 89-84 Ма (von Quadt et al., 2002). Вулканска активност у овој фази је углавном била копнена, а подразумевала је изливање веома вискозне лаве, при чему су лавични изливи углавном били кратки и дебели (Banješević, 2010). Карактеристике стена ове фазе су: микропорфирска структура са фенокристалима хорнбленде и биотита и ретким пироксенима, што указује на присуство воде у магми (Kolb et al., 2013). Генерално је прихваћено да је већина порфирских, као и епитермалних лежишта

бабра и злата у Тимочком магматском комплексу везана за прву вулканску фазу (Jelenković et al., 2016).

2) Друга вулканска фаза је углавном развијена у западним деловима комплекса. Продукти ове фазе настали су кристализацијом из 'сувљих' магми (мало лакоиспарљивих компоненти) и слабије вискозности, које су веома често смештане у субакватичним условима (Banješević, 2010). Представљена је пироксенским или пироксен-хорнбленда андезитима и албитским трахитима са великом количином вулканокластичног материјала. Стене су углавном настале из магме засићене силицијом (Јанковић и др., 2002). Старост ове фазе је одређена на 83-80 Ма (von Quadt et al., 2002). За ову фазу су везане мања лежишта и појаве бабра у рудном пољу Црни врх (Ваља Стрж, Думитру поток и друга). У истом рудном пољу је пронађена и манганска минерализација која указује на субмаринске изливе лаве (Раџевски et al., 2016).

3) Трећа вулканска фаза или тзв. Латитска асоцијација присутна је само у крајњим, југозападним деловима комплекса. Представљена је латитима и трахит-базалтима. Поједини аутори сматрају да су ове стене везане за тектонске промене које су се десиле након завршетка друге вулканске фазе (Вакањац, 2000; Јанковић и др, 2002; Кожељ, 2002), док неки аутори сматрају да овај стадијум не треба издвајати као посебну вулканску фазу, односно да он представља завршне периоде друге фазе (Karamata et al., 1997; Knaak et al., 2016; Banješević et al., 2019).

Banješević (2010) приказује донекле другачију класификацију формација магматских стена издвојених у Тимочком магматском комплексу: 1) андезити Тимока (туронско-сантонске старости, еквивалентни са продуктима прве вулканске фазе), 2) епикластити Метовнице (конијак-кампанске старости), 3) андезит-базалти Оснића и андезити Жежевице (сантонско-кампанске старости, еквивалентни са другом вулканском фазом), 4) плутонити Ваља Стрж (кампанске старости) и 6) латити Бољевца.

Упоредо с вулканском активношћу, на простору Тимочког магматског комплекса вршено је и интродовање магми чијом су кристализацијом настали бројни штокови и дајкови. Укупна површина интрузивних стена у Борској металојенетској зони је 16 km², од чега 14 km² заузима интрузив Ваља Стрж (Јанковић и др., 2002). Већина интрузива утиснута је у плитким нивоима, на шта указују присуство порфирске до порфиرويدне структуре и различити количински односи фенокрстала и матрикса, а што је последица промене у динамици хлађења магме (Kolb et al., 2013). Комплекс Ваља Стрж се састоји од монцонита, диорита, кварцдиорита, гранодиорита, сијенита и габра (Banješević, 2010) и његова старост је одређена на 82,5–78,6 Ма (von Quadt et al., 2002). Део овог комплекса који се састоји од крупнозрног хомогеног монцонита је издвојен као Потој Чука монцонит (Knaak et al., 2016). Игњатовић (2014) на основу резултата геофизичких испитивања сматра да плутонит Ваља Стрж има много веће распрострањење у односу на његов откривени део на површи терена.

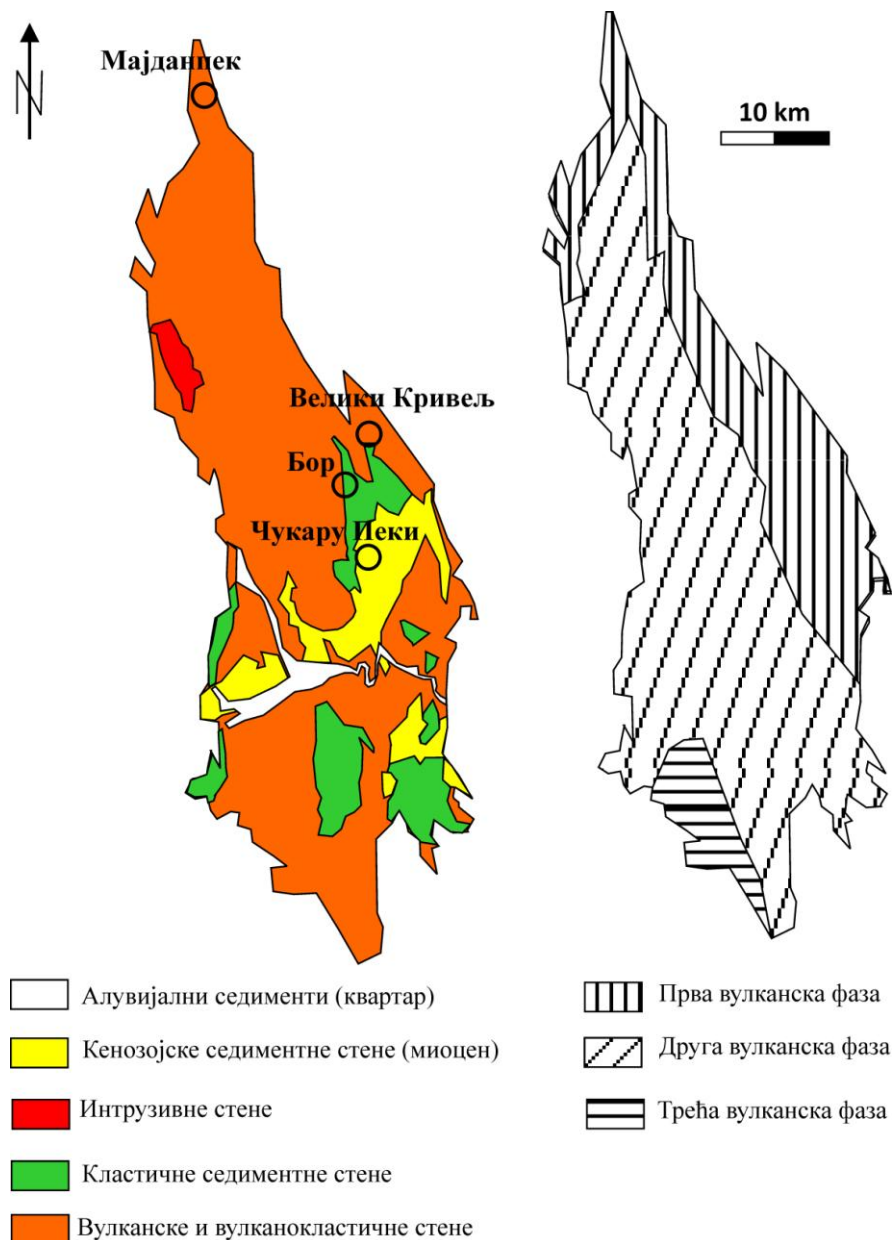
Посебан вид појављивања магматских стена у Борској металојенетској зони су интрузивне брече, које због повећане пермеабилности представљају погодну путању за циркулисање флуида и формирања епитермалних лежишта. Кожељ (2002) описује различите типове интрузивних бреча у Борској металојенетској зони и њихово распрострањење:

- 1) Интрузивно-вулканске брече, настале фрактурисањем стена путем утискивања магме и дајкова. Могу се препознати у околини плутонских масива Ваља Стрж и Црвена река.
- 2) Магматско-хидротермалне брече, настале дејством врелих гасова из утиснуте магме. Уочене су у у близини Борске реке и Великог Кривеља.
- 3) Фреатомагматске брече, настале фреатомагматским експлозијама услед наглог ширења флуида током тзв. првог кључања. Преовлађују у близини локалитета Чока Куруга.

4) Фреатске брече, настале експлозијама гаса на малим дубинама изнад порфирских интрузија. Нарочито су заступљене у околини Чока Купјатре.

Након испољавања магматизма у простору Тимочког магматског комплекса, магматски фокус се померио ка западу и формирао различите стенске комплексе у домену Ридањско-крепољинске металогенетске зоне (Karamata et al. 1997, Kolb et al., 2013).

Упрошћена геолошка карта Тимочког магматског комплекса са шематизованим приказом подручја у којима су доминантно распрострањени продукти прве, друге и треће вулканске фаза, приказана је на слици 4.



Слика 4: Упрошћена геолошка карта Тимочког магматског комплекса са положајем већих порфирских лежишта и шематским приказом распрострањења различитих вулканских фаза (модификовано из Јанковић и др., 2002 и Knaak et al., 2015).

2.3 Типови лежишта

Различити типови лежишта у Борској металогенетској зони су описани у више публикација: Јанковић (1990), Вакањац (2000), Јанковић и др. (2002), Кожељ (2002) и Jelenković et al. (2016).

У табели број 2 су приказани главни типови лежишта са рудним парагенезама и примерима највећих лежишта.

Табела 2: Типови лежишта у Борској металогенетској зони, извор: Jelenković et al. (2016), модификовано.

Тип лежишта	Минералне сировине	Облици рудних тела	Минерална парагенеза	Примери лежишта
Порфирска лежишта	Cu, Au	Штокови, издужена сочива	Пирит, халкопирит, магнетит, молибденит	Мајданпек, Велики Кривељ
Хидротермално-вулканогена лежишта	Cu, Au	Штокови, сочива	Пирит, ковелин, енаргит, борнит, халкопирит	Липа, Тенка
		Жице	Пирит, енаргит, борнит, халкопирит	Краку Бугареску
Рудни класти (преталожена лежишта)	Cu, Au	Масивни сулфиди	Пирит, ковелин, енаргит, борнит, халкопирит	Ново окно
Високосулфидациона лежишта	Au	Штокови, сочива, стубови, жице	Електрум, самородно злато, телуриди злата, енаргит, лузонит	Тилва Мика, Камењар, Чока Купјатра
Нискосулфидациона лежишта	Au	Жице, неправилни облици	Електрум, самородно злато, пирит, сфалерит, халкопирит	Злаће
Карлински тип лежишта у седиментима	Au	Сочива, жице, неправилни облици	Пирит	Бигар Хил, Коркан
Скарновска	Pb, Zn	Сочива, неправилни облици	Галенит, сфалерит	Ваља Сака
	Cu, Au	Сочива, неправилни облици	Халкопирит, пирит	Бељевина
	Fe	Сочива, неправилни облици	Магнетит	Потој Чука

Једно од главних геолошких обележја Борске металогенетске зоне јесте присуство више морфогенетских типова лежишта бакра и злата, груписаних у пет рудних рејона (Мајданпек, Бор, Црни Врх, Марков Камен – Градиште и Потај Чука - Тисница), односно у 10 рудних поља (Тилва Тома, Мајданпек, Влаоле-Јасиково, Церово-Мали Кривељ, Велики Кривељ, Бор, Брестовац, Црни врх, Тилва Њагра и Марков камен-Савинац) (Jelenković et al., 2016).

Јанковић и др. (2003) на основу минералних асоцијација издвајају три главна типа лежишта у Борској металогенетској зони:

1) Лежишта бакра масивно-сулфидног типа: У овом типу лежишта главни рудни минерали су: пирит, пиротин, ковелин, халкозин, халкопирит, енаргит, у мањој мери маркасит, сулванит, лузонит, магнетит, арсенопирит и др. Посебно интересантан тип алтерације код овог типа лежишта су „секундарни кварцити”, који настају силификавањем, алунитисањем и аргилизацијом околних стена.

2) Лежишта бакра порфирског типа: У њима су доминатни минерали халкопирит, пирит, магнетит, молибденит, ређе и минерали олова и цинка (галенит и сфалерит). Главни типови алтерације везане за овај тип лежишта су: калијска алтерација, серицитизација, пропилитизација хлоритизација и аргилизација.

Према садржају злата, у оквиру овог типа се могу издвојити лежишта са значајним садржајима злата (нпр. Мајданпек) и лежишта са ниским садржајима злата (Велики Кривељ).

3) Полиметалична лежишта, типа Чока Марин, у којима су најважнији рудни минерали: пирит, сфалерит, галенит, минерали бакра (енаргит, лузонит, ређе халкопирит и борнит), маркасит, Pb/Sb сулфосоли и др. Главни типови алтерација у овом типу лежишта су напредна аргилитска алтерација, силификација, пиритизација и хлоритизација (Јанковић и др., 2002).

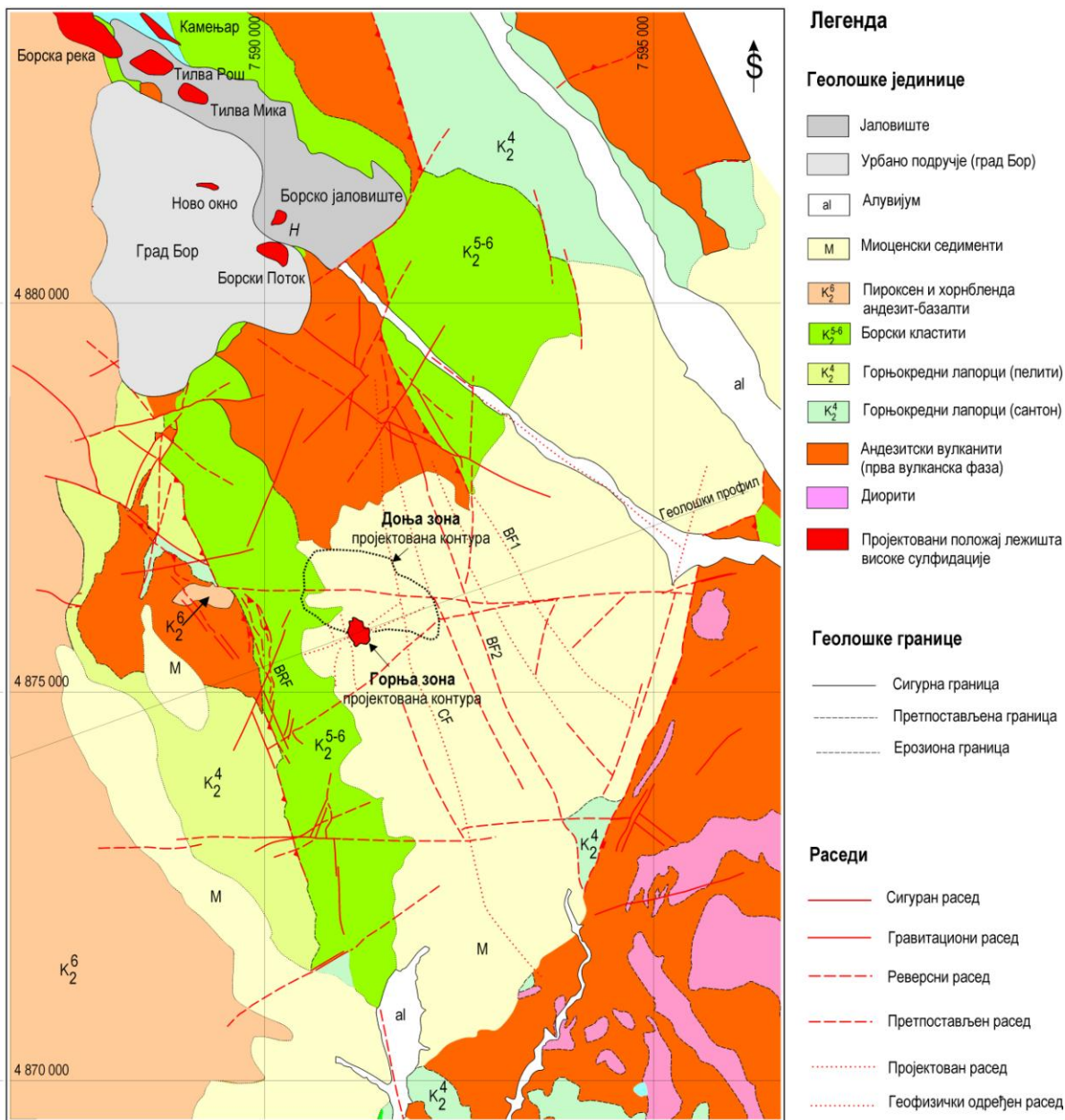
2.4 Геолошка грађа лежишта Чукару Пеки

Шири простор хидротермалног система, односно лежишта бакра и злата Чукару Пеки изграђују творевине прве фазе вулканске активности горњокредне старости: андезити, андезитске брече, интрузивне брече и диорити (у интерним документима компаније Rakita Exploration д.о.о, названи су „Доњи андезити”). Преко њих леже неалтерисани андезити различите дебљине (тзв. „Горњи андезити“, Jakubec et al., 2018). Banješević et al. (2019) су доделили називе V1A за Доње андезите и V1B за Горње андезите. Детаљна геолошка карта шире околине лежишта Чукару Пеки приказана је на слици 5, док је детаљан геолошки профил приказан на слици 6.

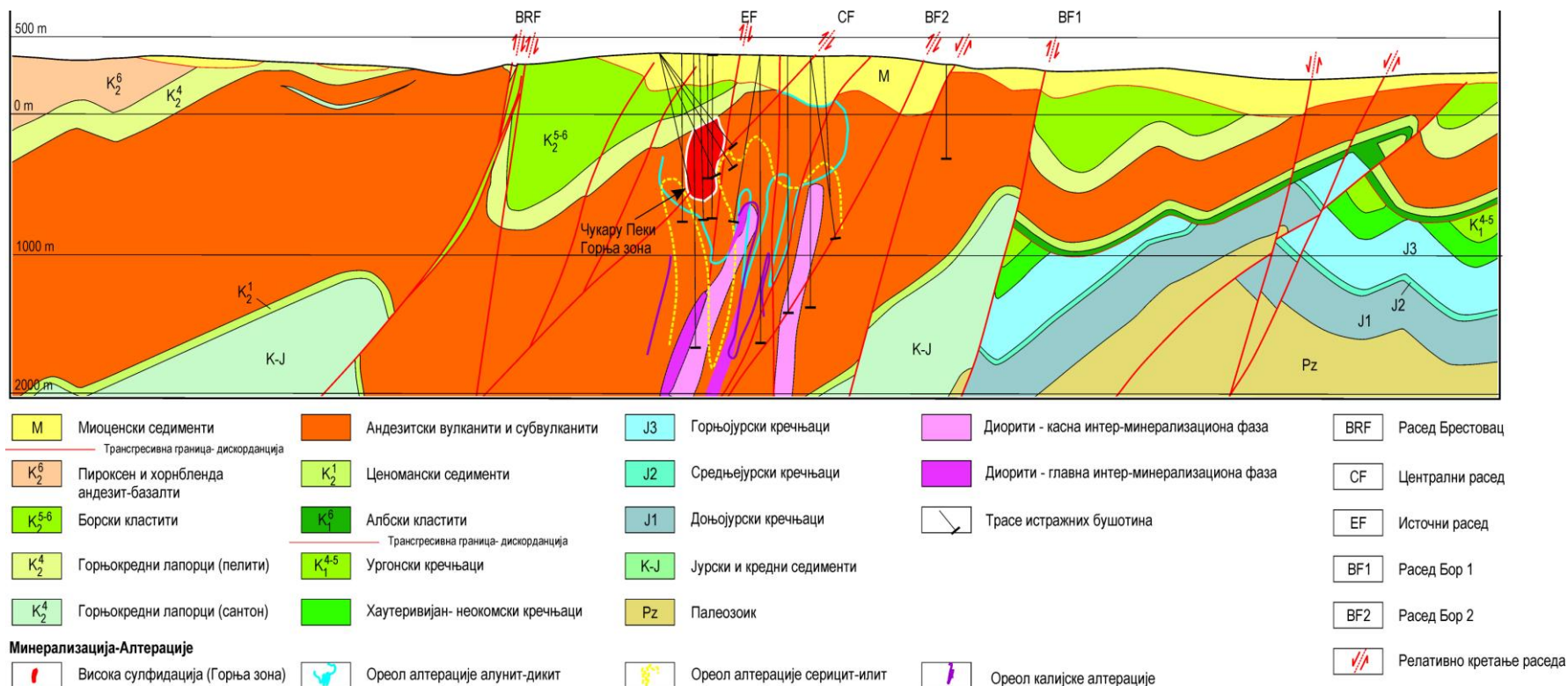
Преко андезита леже горњокредни седименти који; под благим углом падају ка западу. Издвојени су у три пакета: 1) сиви глинци и лапорци Оштрељ формације, 2) црвени лапорци и епикластити Метовница формације и 3) крупнозрни Борски кластити (Banješević et al., 2019). Vasić (2015) је седиментолошким испитивањима утврдио да је на ширем простору лежишта Чукару Пеки депоновање кредних седимената вршено у плитким басенима (на дубинама мањим од 200 m) и да је депозиција лапораца вршена од турона до кампана, док је депоновање кластита вршено од кампана до мастрихта.

Кнаак et al. (2016) сматрају да је формирање нормалних раседа који падају ка истоку и формирање покровних миоценских седиментних басена утицало на очувања неких лежишта у Борској металогенетској зони (укључујући и лежиште Чукару Пеки) од ерозије. Миоценски седименти у области лежишта Чукару Пеки су дебљине 200-400 m и леже дискордантно

преко кредних седимената. За разлику од кредних седимената, миоценски седименти падају под благим углом ка истоку (Jakubec et al., 2018). Vasić (2015) је издвојио три јединице у оквиру миоценских седимената: базалне грубокластите који трансгресивно леже преко кредних седимената, финозрне кластите и лапорце старости од бадена до доњег сармата и шљункове и пескове.



Слика 5: Геолошка карта шире околине лежишта Чукару Пеки (модификовано из Toljić, 2016).



Слика 6: Детаљан геолошки профил шире околине лежишта Чукару Пеки (модификовано из Толијић, 2016).

У зони хидротермалног Cu-Au система Чукару Пеки, највећа издвојена структура је Борски расед, за који се сматра да представља источну границу минерализоване зоне (Jakubec et al., 2018). Поред овог раседа, издвојене су и бројне структуре нижег реда, од којих су значајније: расед Бор 1 и Бор 2 (који се рачвају из Борског раседа), Централни расед и Источни гранични расед (Бугарин и Маринковић, 2018).

Jelenković et al. (2016) су у лежишту Чукару Пеки издвојили три типа минерализације:

- 1) Зону високе сулфидације изграђену од масивних сулфида бакра, жица пирита и ковелина и хидротермалне брече. Овај тип минерализације формира зону, дефинисану интензивном напредном аргилитском алтерацијом и пиритизацијом на дубинама од 400 до 1000 m испод савремене површине терена.
- 2) Прелазну епитермалну зону, која се налази између зоне са високосулфидационим типом минерализације бакра и злата, и порфирског дела рудоносног система. У овој зони ковелин и енаргит замењују примарне сулфиде (халкопирит) из порфирске минерализације. У зони су уочене бојне анхидритске, гипсне и калцитске жице, а аргилитска алтерација замењује порфирске алтерације (калијску и хлоритску алтерацију).
- 3) Порфирску зону која се налази у дубљим деловима хидротермалног рудоносног система, односно лежишта Чукару Пеки, на дубинама већим од 1000 m од површине терена. Минерализација бакра је углавном везана за анхидритске и кварцне жице; доминантни видови хидротермалних измена су калијска и хлоритска алтерација.

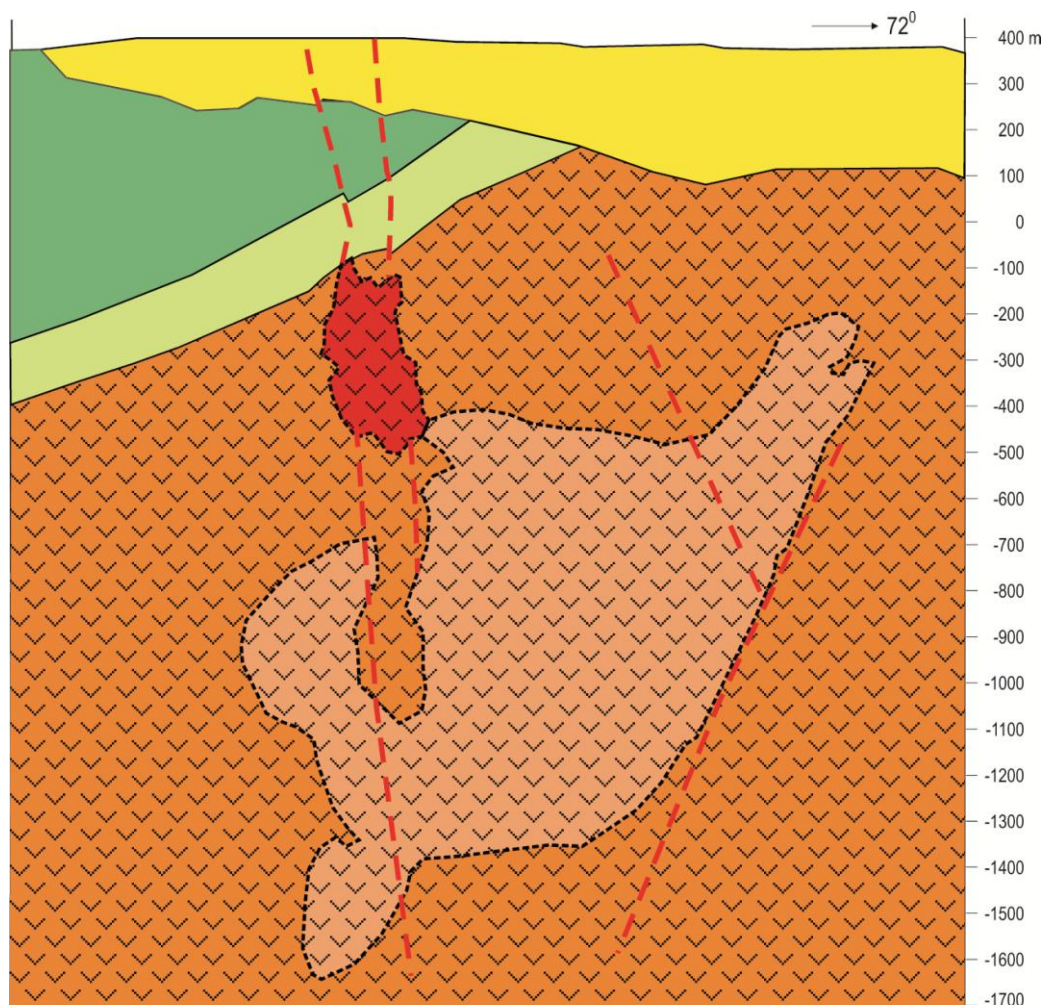
Издвојена су три текстурно-структурна типа руде: масивно-сулфидни, мешани односно семи-масивно-сулфидни до штокверкно-импрегнациони и штокверкно-импрегнациони. Технолошким испитивањима чији су резултати детаљно приказани од стране Бугарин и Маринковић (2018), приказани су као три основна, просторно раздвојена типа минерализације бакра: DZP (примарна, порфирска минерализација), DZP (део примарне порфирске минерализације са наложеном минерализацијом) и DZM (мешана претходна два типа минерализације). Њихове карактеристике су следеће:

DZP минерализација: Делови примарне порфирске минерализације бакра се налазе у најнижим деловима рудоносног система. Карактеришу се: ниским количинским односом пирит/халкопирит; релативно високим односом Au/Cu; јако ниским садржајима As (често мање од 15 ppm, у минерализацији са садржајем бакра до 1% Cu) и релативно блиском везом Au са Cu фазама. Технолошки композити из ове зоне су означени као DZP и означавају минерализацију која задовољава следеће критеријуме: најмање 80% индивидуалних интервала дужине до 2 m садржи неке од (или све) следећих минерала: биотит, магнетит/спекуларит, К-фелдспат, хлорит; више од 80% овог интервала садржи халкопирит.





DZP (Доња Зона/Overprint): У овом делу порфирске минерализације бакра, продукти аргилитске / напредне аргилитске алтерације и процеси сулфидизације претворили су већину силикатних минерала у минерале глина и друге силикате. Такође, утицали су на пораст садржаја пирита у систему и претворили су већину оригиналних Cu фаза (халкопирит-борнит) у ковелин-(дигенит+енаргит) фазу. Композити су класификовани као DZP, под условом да испуњавају следеће критеријуме: најмање 80% индивидуалних интервала дужине 2 m садржи ковелин (визуелно уочен); највише 20% картираних интервала садржи неке од следећих минерала (или све): биотит, магнетит/спекуларит, К-фелдспат или хлорит.

DZM (Доња Зона/Мешовити тип): Овај тип руде представља мешавину претходна два типа минерализације. Композити су класификовани као DZM. Од 20% до 80% интервала дужине до 2 m садржи неке од наведених минерала (или све): биотит, магнетит/спекуларит, или хлорит; више од 20% интервала садржи и халкопирит и ковелин.

Упрошћени геолошки профил лежишта Чукару Пеки са издвојеним геолошким јединицама приказан је на слици 7.



Легенда:

- | | | | | | |
|---|------------------------|---|----------------------------------|---|----------|
|  | - Миоценски седименти |  | - Горњокредни андезит |  | - Раседи |
|  | - Горњокредни кластити |  | - Горња зона система Чукару Пеки | | |
|  | - Горњокредни лапорци |  | - Доња зона система Чукару Пеки | | |

Слика 7: Упрошћени геолошки профил лежишта Чукару Пеки са приказаном Горњом и Доњом рудном зоном и већим раседима (модификовано из Бугарин и Маринковић, 2018).

Горња зона лежишта Чукару Пеки са високосулфидационим типом рудне минерализације испољава висок степен сличности са геолошким карактеристикама других високосулфидационих лежишта широм света, а која су описана нпр. у радовима Artibas (1995), Sillitoe (2000) и др., као и са другим лежиштима и рудним телима високосулфидационог типа на простору Борске металогенетске зоне: нпр. Тилва Рош, Камењар, Тилва Мика итд. описана у Кожељ, 2002. Најзначајније карактеристике међу њима су следеће:

- Рудна тела су богата пиритом и садрже променљиве концентрације енаргита, лузонита, дигенита, халкозина и ковелина.
- Доминантан вид алтерације је напредна аргилитска алтерације са кварцом, алунином, пирофилитом и каолинитом као главним алтерационим минералима.
- Јасно испољен зонални размештај фазија хидротермалних алтерације у смеру од централних ка спољним делова лежишта: шупљикави кварц (енгл. *Vuggy silica*) → напредна аргилитска алтерација → аргилитска алтерација.
- У групи пратећих, нерудних минерала, поред кварца и алунита, највише су распрострањени барит, каолинит, пирофилит, диаспор и фосфати.

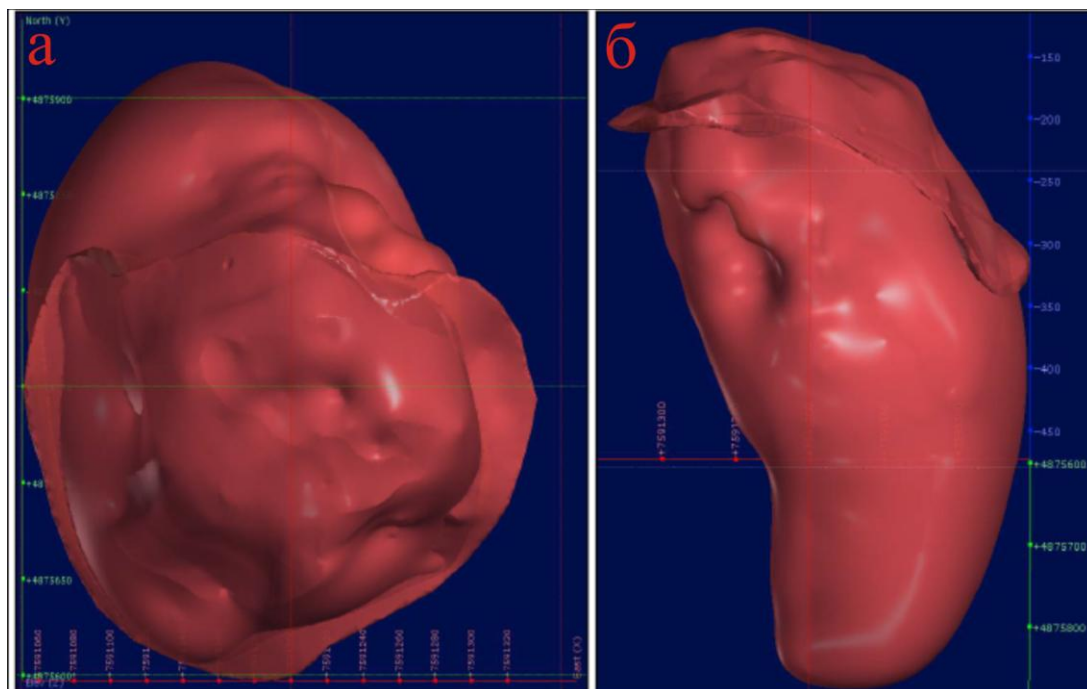
Горња зона је издужено-овалног (бубрежастог) облика са приближним димензијама у плану око 300x350 m, док је вертикално пружање око 550 m. У хипсометријски највишим деловима рудоносне зоне је заступљен масивно-сулфидни тип минерализације, тзв. „апикална капа”. У њеном саставу преовлађују пирит и ковелин. У односу на друге делове рудоносног система, има и највиши садржај бакра (са више од 9% Cu). Горња граница горње зоне односно апикалне капе је раседна зона (енгл. тзв. *Moonlight fault*) представљена раседним глинама дебљине 1-3 m (Бугарин и Маринковић, 2018).

Повлатна граница Горње зоне и њене „бочне границе“ су оштре, са наглим преласком из минерализације у околне стене, док је доња граница зоне градациона и одређена на основу одређеног граничног садржаја бакра (Бугарин и Маринковић, 2018). Идући ка нижим деловима, количина сулфида опада, стене постају кохерентније а минерализација из масивних сулфида постепено прелази у жиличасти и штокверкни тип оруђења (Jakubec et al., 2018).

На основу спроведених рудномикроскопских испитивања (Раџевски et al., 2012; Раџевски et al., 2013; Раџевски, 2014; Раџевски, 2014; Cornejo, 2017) закључак је да је најзаступљенији рудни минерал у горњој зони хидротермалног рудоносног система ковелин, за који је везано 85-95% бакра. Други најзаступљенији рудни минерал је енаргит, са подређеним присуством лузонита, колузита и лазаверићита. Распоред ових минерала бакра у Горњој зони је неравномеран, мада се могу уочити одређене правилности. Махом се огледају у томе да је већина ковелина концентрисана у вишим, богатијим деловима ове зоне, док су у нижим деловима генерално више заступљени минерали бакра и арсена (енаргит и лузонит). Сматра се да је у овој зони прво формиран ситнозрни порозан пирит, који је бречизиран и касније запуњен ковелином. Нискотемпературни минерали, сфалерит и галенит су мање заступљени, углавном у ободним деловима Горње зоне. Поред главних минерала, утврђено је присуство и других минералних фаза, као што су: рутил (TiO_2), маркасит (FeS_2), колузит ($Cu_{13}V(As,Sb,Sn)_3S_{16}$), халкозин (Cu_2S), дигенит (Cu_9S_5), тенантит ($(Cu,Fe,Zn)_{12}As_4S_{13}$), тетраедрит ($Cu_{12}(Sb,As)_4S_{13}$), фаматинит (Cu_3SbS_4), стибиолузонит ($Cu_3(Sb,As)S_4$), сулванит (Cu_3VS_4), бизмутинит (Bi_2S_3), маусонит ($Cu_6Fe_2SnS_8$), овамбоит ($Cu_{20}(Fe,Cu,Zn)_6W_2Ge_6S_{32}$), каролит ($Cu(Co,Ni)_2S_4$), бурнонит ($PbCu(Sb,As)S_3$), алтаит ($PbTe$), калаверит ($AuTe_2$), силванит ($(Au,Ag)Te_2$), костовит ($CuAuTe_4$) и други неидентификовани телуриди и сулфосоли (Бугарин и Маринковић, 2018).

Доминантна фазија хидротермалне алтерације у Горњој зони система Чукару Пеки је напредна аргилитска алтерација са кварцом и алунином. Шупљикава силиција (енгл. *Vuggy silica*) се ретко уочава, углавном у централним деловима зоне. Сматра се да је алунит настао сингенетски са ковелином у виду жица и матрикса у бречачама или у виду импрегнација. Око Горње зоне налази се узана зона аргилитске алтерације (Бугарин и Маринковић, 2018).

Тродимензионални модел горње зоне лежишта Чукару Пеки је приказан на слици 8.



Слика 8: Тродимензионални модел Горње зоне система Чукару Пеки у плану (а) и у профилу (б). Гранични садржај за овај модел је 0,5% $Cu_{\text{екв}}$. Димензије Горње зоне у плану су приближно 300 x 350 m, док је вертикално пружање око 550 m (модификовано из Бугарин и Маринковић, 2018).

На основу података приказаних у Jakubec et al. (2018), главни контролни фактори просторног положаја Горње зоне су:

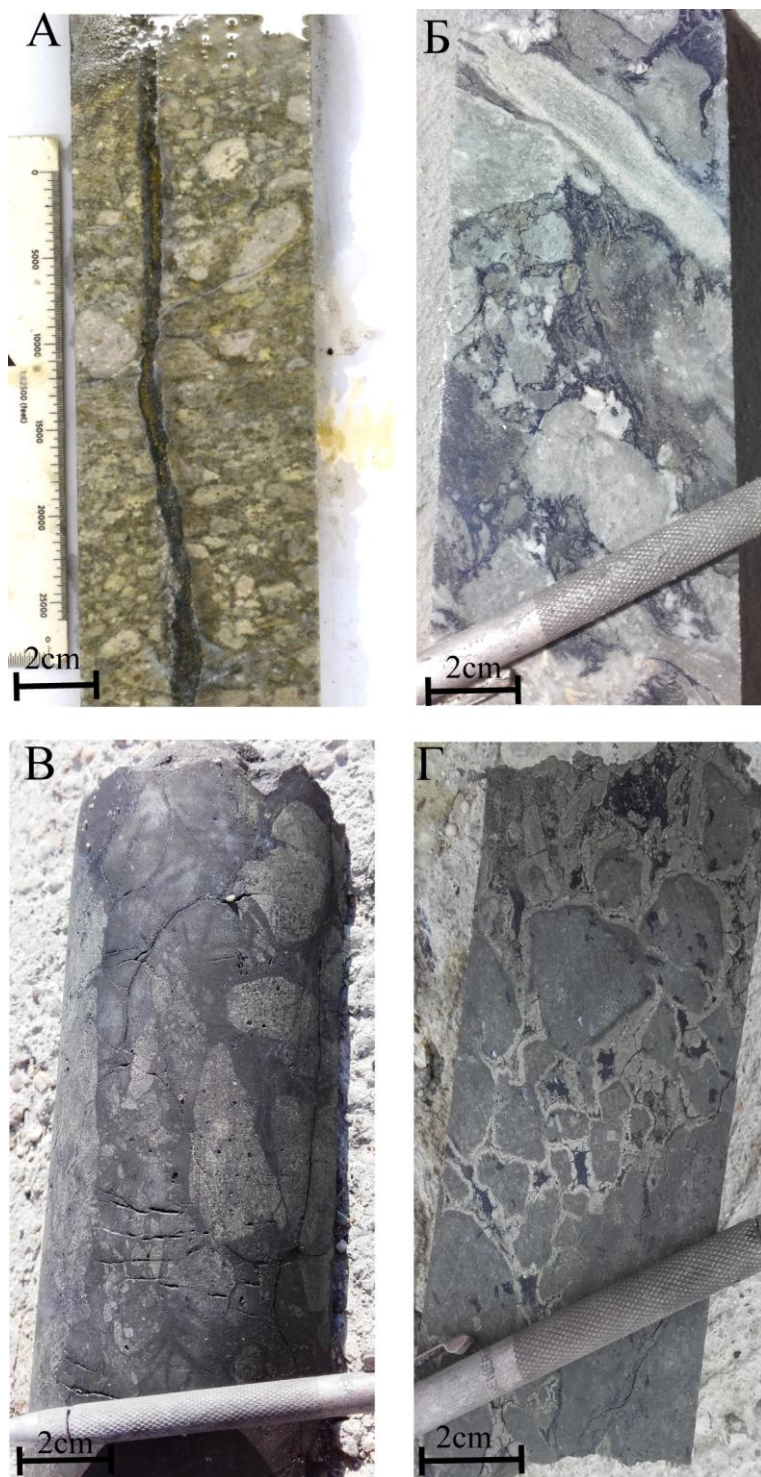
- 1) Магматски фактори: Минерализација је просторно и генетски везани за продукте прве вулканске фазе Тимочког магматског комплекса.
- 2) Структурни фактори: разломне структуре и интрузивне брече.

Главне разломне структуре су раседи. Сматра се да је Горња зона ограничена са два велика раседа који су названи Источни расед и Западни расед (енгл. *East fault* и *West fault*). Такође се сматра да и тзв. Јужни расед (енгл. *South Fault*) има утицај на положај ове зоне, пошто се минерализација углавном налази северно од њега.

Минерализоване интрузивне брече су честе на лежишту Чукару Пеки. На основу резултата спроведених истраживања, уочена су најмање два одвојена стадијума бречизирања: преминарелизациони и постминарелизациони.

- 3) Литолошки фактори: Минерализација Горње зоне се налази само у Доњим андезитима. Делови минерализације нису пронађени у другим литолошким јединицама на овом простору.

У зони лежишта односно хидротермалног система Чукару Пеки препознато је више типова интрузивних бреча. Према класификацијама приказаним у радовима Sillitoe (1985), Jebrak (1997) и Corbett & Leach (1998), издвојене су у четири главне групе (слика 9), са следећим основним обележјима:



Слика 9: Различити типови бреча из високосулфидационе и прелазне зоне лежишта Чукару Пеки, који су утврђени у истражним бушотинама TC160125, TC160117, TC140053 и TC150061;

А) Интрузивна бреча са заобљеним фрагментима и млађом рудном жицом која пресеца бречу TC160125 1206,8 m;

Б) Колапсна бреча са разноврсним фрагментима и млађим ковелином који запуњава простор између фрагмената TC160117 528,5 m;

В) Хидротермална бреча с кварцом у матриксу и ситнозрним пиритом у фрагментима TC140053 591,4 m;

Г) Хидротермална бреча с ковелином и колоформним пиритом у матриксу и алтерисаним андезитом у фрагментима TC150061 644,8 m.

1. Интрузивне брече. Матрикс брече је обично од уситњеног стенског праха. Стенски фрагменти су заобљени, мономиктни и добро сортирани. У овим бречама, ни класти ни матрикс најчешће нису минерализовани (слика 9А).

2. Колапсне брече. Матрикс брече је од ситних стенских одломака, а крупни фрагменти су угласти, полимиктни и лоше сортирани. Понекад садрже минерализоване класте са пиритом и ковелином, док је у матриксу најчешће присутан ковелин (слика 9Б).

3. Хидротермалне брече са кварцом. Матрикс бреча је од кварца и енаргита, док су фрагменти обично угласти, мономиктни и таквих облика да се међусобно уклапају као слагалица (енгл. *Jigsaw breccia*) (слика 9В).

4. Хидротермалне брече са ковелином. Сличне су претходном типу бреча, с тим што је ковелин у матриксу, док су кварц и ситнозрни пирит у фрагментима, па се због тога сматра да је овај тип бреча настао после хидротермалних бреча са кварцом (слика 9Г).

Sillitoe (2017) сматра да је Горња зона лежишта Чукару Пеки формирана у зони полимиктне вулканске брече у 5 стадијума:

1. Алтерација вулканске брече напредном аргилитском алтерацијом.
2. Замењивање алтерисане брече ситнозрним пиритом.
3. Депоноване мањих, неправилних нагомилања браон силиције која прекрива пирит.
4. Образовање пиритско-енаргитских жица.
5. Формирање пиритско-ковелинских жица.

Прелазна епитермална зона (која се такође позната је и под називом *Overprint* минерализација) налази се између порфирске и високосулфидационе зоне, на дубинама између 900 и 1400 m од тренутне површине терена. Карактеристике се преовлађујућим типом аргилитске алтерације са кварцом, глинама и серицитом (без хлорита, необиотита и фелдспата). Минерализација је обично везана за анхидритске жице, док су главни рудни минерали ковелин и дигенит са ретким појавама енаргита и халкозина и локалним појавама самородног сумпора. Сматра се да је овај тип минерализације настао деловањем каснијих флуида, који су били киселији и богатији сумпором од флуида у порфирском делу лежишта (Бугарин и Маринковић, 2018).

Доња зона лежишта Чукару Пеки са порфирским типом орудњења испољава бројне карактеристике других порфирских лежишта бакра широм света, а која су описана нпр. у радовима John et al. (2010) и Sillitoe (2010). Сличних карактеристика су и друга порфирска лежишта Борске металогенетске зоне: Борска река, Борски Поток, Мајданпек и Велики Кривељ (Јанковић и др., 2002). Њихова заједничка својства су:

- Просторна повезаност са магматским интрузивима најчешће интермедијарног састава, који су настали у зонама субдукције или у пост-колизионим условима.
- Вишефазно утискивање дајкова.
- Присуство интрузивних бреча које су важне за циркулисање епитермалних флуида.
- Смена хидротермалних алтерација од унутрашњих ка спољашњим деловима интрузива у низу: калијска алтерација → серицитска алтерација → напредна аргилитска алтерација → аргилитска алтерација.
- Повезаност рудне минерализације са кварцним, пиритским и анхидритским жицама.
- Рудна параганеза коју углавном чине халкопирит, борнит и пирит, са променљивим уделом молибденита, злата, магнетита и других минерала.

Димензије и облик Доње зоне система Чукару Пеки још увек нису детаљно одређене због велике дубине лежишта; познато је, међутим, да се њени најплићи делови налазе око 750 m испод испод површине терена, док је дубина доњих делова непозната. Претпоставља се да се налази на дубини већој од 2000 m од површине терена. На основу досадашњих

истраживања, сматра се да минерализација залеже ка северозападу и да се њени најплићи делови налазе у југоисточном делу терена, на око 750 m испод површине терена (Бугарин и Маринковић, 2018).

На основу података приказаних у Бугарин и Маринковић (2018), као главни контролни фактори просторног положаја Доње зоне се могу издвојити:

- 1) Магматски фактори: Минерализација је просторно и генетски везана за продукте прве вулканске фазе Тимочког магматског комплекса.
- 2) Структурни фактори: Утврђено је да садржаји Cu и Au у северном делу лежишта постепено опадају дуж границе исток-запад, што је поред облика лежишта један од доказа да структуре пружања исток-запад контролишу положај минерализације. Један од ових раседа је ИЗ расед који се приближно поклапа и са прелиминарно издвојеном зоном у којој се налазе бројне унакрсне структуре И-3 до ИСИ пружања. Такође се сматра да расед Бор 2 (СС3 пружања) представља источну границу минерализованог андезита.
- 3) Литолошки фактори: Стене у којима се налази минерализација су Доњи андезити, и најмање две препознатљиве интрузивне диоритске фазе.

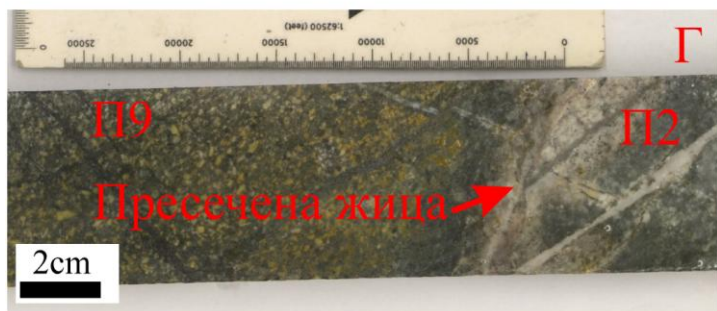
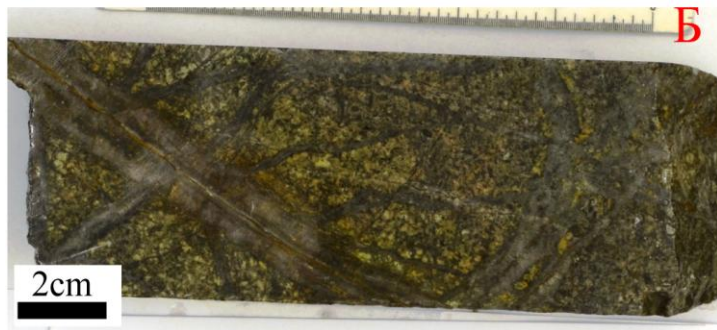
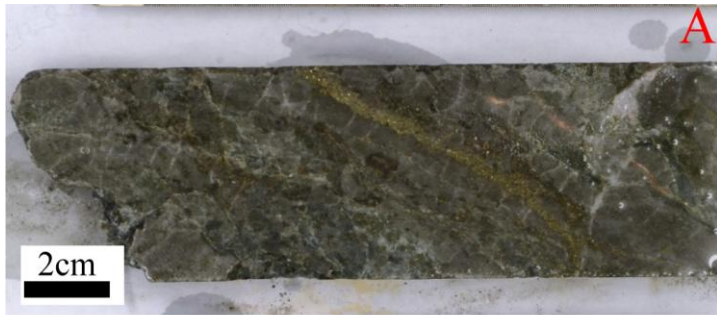
Најзаступљенији тип алтерације у овој зони је калијска метасоматоза везана за А и В кварцне жице, док је кварцно-серицитска алтерација везана за жице типа D. Поред тога, богатији делови порфирске минерализације карактеришу се интензивном силификацијом (Jakubec et al., 2018).

Рудна минерализација Доње зоне лежишта Чукару Пеки углавном је везана за кварцне, магнетитско-хематитске и анхидритске жице. Главни рудни минерал је халкопирит са локалним појавама магнетита, ниским садржајем пирита (однос пирита и халкопирита је обично мањи од 1:1) и малом количином борнита (Бугарин и Маринковић, 2018). На основу спроведених рудномикроскопских испитивања (Раџевски и др., 2012; Раџевски и др., 2013; Раџевски, 2014; Раџевски, 2014) утврђено је присуство и других минералних фаза, као што су: ковелин (CuS), енаргит (Cu₃AsS₄), хематит (Fe₂O₃), рутил (TiO₂), пиротин (Fe_{1-x}S), мушкетовит (варијетет магнетита), молибденит (MoS₂), илменит (FeTiO₃), клаусталит (PbSe), као и телуриди чији састав није прецизно одређен.

Стене носиоци рудне минерализације су Доњи андезити и више издвојених интрузивних диоритских фаза, које указују на вишефазно утискивање диоритских дајкова.

Издвојени типови диорита, од најстаријих ка најмлађим су:

- 1) П1- Интензивно алтерисан диорит са пуно секундарног кварца и слабо препознатљивом структуром (слика 10А).
- 2) П2- Диорит са видљивом зрнастом структуром, калијском алтерацијом и пуно кварцних жица (слика 10Б, 10В).
- 3) П4- Диорит са порфиرويدном структуром који садржи фенокристале плагиокласа, сличан андезиту (слика 10В).
- 4) П9- Диорит са зрнастом структуром и мање жица, често са хлоритском алтерацијом (слика 10Г).
- 5) П10- Каснији сиви неалтерисани диоритски дајкови који не садрже минерализацију (слика 10Д).



Слика 10: Различити типови интрузива у порфирском делу лежишта Чукару Пеки:

А) Веома алтерисан П1 диорит ТС160125 1528,5 м.

Б) П2 диорит са кварцним жицама FMTC1328 930,7 м.

В) Контакт П4 и П2 диорита FMTC1327 1771,5 м.

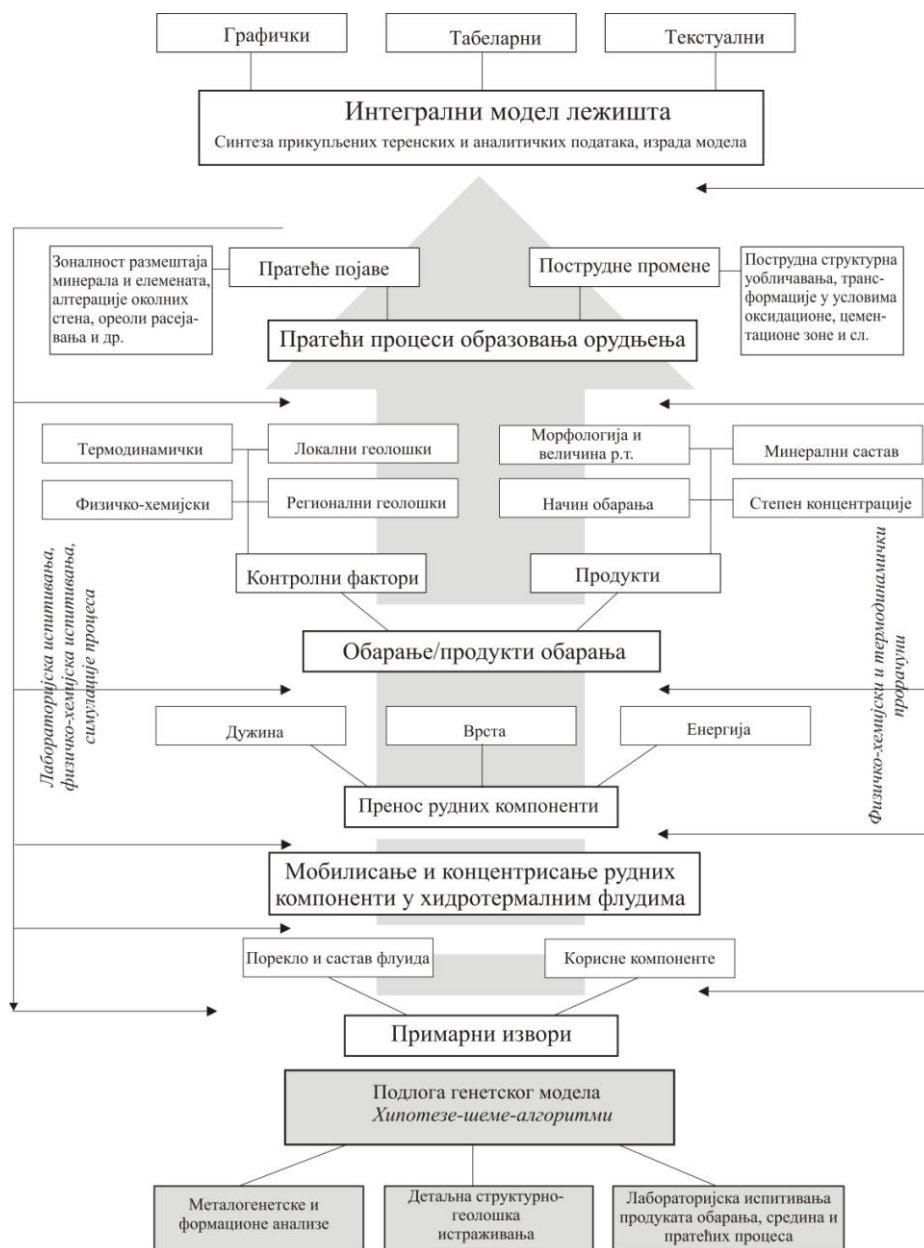
Г) Контакт П9 и П4 диорита са пресеченом жицом која доказује да је П9 млађа интрузија FMTC1328 1118,2 м.

Д) Неалтерисан и неминерализован П10 диорит ТС160125 1360,4 м.

3. ГЕНЕТСКИ МОДЕЛ ЛЕЖИШТА

3.1 Врсте и сегменти генетског модела

Јеленковић и Гржетић (1998) описују више врста генетских модела хидротермалних лежишта минералних сировина: 1) *прелиминарне моделе*, који су базирани на општим карактеристикама одређених генетских типова лежишта и ограниченом обиму лабораторијских испитивања, 2) *деталне или интегралне моделе*, који су везани за добро познавање геолошке грађе лежишта и који су поткрепљени лабораторијским испитивањима и 3) *парцијалне моделе*, којима се објашњавају поједини сегменти интегралног генетског модела (слика 11).



Слика 11: Шематски дијаграм генетских модела лежишта минералних сировина (извор: Јеленковић и Гржетић, 1998).

Исти аутори описују главне елементе интегралног генетског модела хидротермалних лежишта и наводе основне методе које се користе током њихових испитивања, и то:

- 1) Примарне изворе рудних елемената за чије се проучавање користе геохронолошке анализе, изотопске анализе, као и прорачуни коефицијента расподеле и коефицијента издвајања рудних метала из примарних извора. Теоријска објашњења и могућности примене ових метода приказане су у публикацији Rollinson (2014).
- 2) Геолошка обележја средине стварања рудне минерализације. За њихово проучавање се користе разноврсне методе испитивања: петрохемијска, петрогенетска, геохронолошка, геохемијска, структурно-петрофизичка, физичко-механичка, минералозна и друге. Систематичан преглед ових метода приказан је у публикацији Moon et al. (2006).
- 3) Порекло хидротермалних раствора и њихове карактеристике. За њихово проучавање се користе различите аналитичке методе: парагенетске, геохемијске, изотопске методе итд. Једна од метода која се у скорије време највише користи за испитивање карактеристика раствора је проучавање флуидних инклузија (Wilkinson, 2001; Vodnar et al., 2014). Осим аналитичких метода, користе се и симулације процеса, попут физичко-хемијског и термодинамичког моделовања (Heinrich, 2005).
- 4) Мобилизација рудних компоненти из примарних извора. За њихово проучавање се користи моделовање процеса и примењују лабораторијске методе попут термобарохемијских изучавања, масеноспектралних испитивања, проучавања флуидних инклузија итд. (Hobbs, 1987; Ingebritsen & Appold, 2012).
- 5) Транспорт рудних елемената. За њихово проучавање се користе разноврсне методе, као што су структурно-геолошка, петролошка, петрохемијска, петрофизичка и друга испитивања. Поред аналитичких метода, користи се и математичко и термодинамичко моделовање ради утврђивања различитих коефицијената (Zhu & Tan, 2011; Ingebritsen & Appold, 2012).
- 6) Депоновање рудних минерала и пратећи процеси (алтерације, структурна уобличавања, ореоли расејавања, пострудне промене и др.). За њихово проучавање се користе различите теренске и аналитичке методе: структурне, петролошке, минералозна, геохемијске, парагенетске итд. (Vakanjac, 2000; Henley & Berger, 2011).

3.2 Примена генетског модела на систему Чукару Пеки

Пошто су генетски различити типови минерализације бабра и злата на простору испитиваног лежишта Чукару Пеки настали у склопу истог вишефазног хидротермалног процеса у истој геолошкој средини, као заједнички назив за све типове је оправдано коришћење термина „хидротермални систем“.

Ridley (2013) дефинише магматско-хидротермални систем као скуп свих чинилаца који доводе до формирања хидротермалног лежишта минералних сировина, а који обухватају: извор флуида, извор рудних компоненти, путеве кретања флуида и зону депоновања. За разлику од рудних лежишта, хидротермални системи имају значајно веће димензије, са вертикалним и хоризонталним распоном и до неколико километара. Животни век поменутих хидротермалних система, односно дужина временског периода у коме се формирају, може се одредити на различите начине. На основу прецизних мерења старости циркона von Quadt et al. (2011), закључују да хидротермални рудоносни системи егзистирају у распону између десет хиљада и милион година.

На основу дистрибуције рудних минерала и хидротермалних алтерација, може се одредити величина хидротермалног система Чукару Пеки. Његови најплићи делови се налазе на дубини око 400 m, док се најдубљи истражени делови налазе на дубини већој од 2000 m од површине терена (Jelenković et al., 2016). Тачна дубина није позната, пошто је најдубља истражна бушотина заустављена у минерализованој зони на дубини од око 2268 m (Jakubec et al., 2018). Стога се сматра да је вертикални распон овог система већи од 1500 m. На основу прелиминарног испитивања, утврђено је да је укупна количина руде у овом систему између 500 и 1000 милиона тона (Jelenković et al., 2016).

У стручној литератури из области генезе рудних лежишта, познате су различите класификације хидротермалних рудоносних система. Према Јанковић (1981), у групи постмагматских, односно хидротермалних лежишта, издвојена су: скарновска, грајзенска, албититска, лежишта везана са гранитоидним комплексима, лежишта везана са интермедијарним вулканогено-интрузивним комплексима, порфирска, нискотемпературна немагматогена лежишта (енгл. *Missisipi valley*) и вулканогено-седиментна лежишта. У литератури на енглеском језику новијег датума, користе донекле другачије класификације, засноване на различитим критеријумима. Једна од њих приказана је у публикацији Vogie et al. (2005) (слика 12). По овој класификацији, у хидротермалном систему Чукару Пеки могу се раздвојити две генетске класе: 1) епитермална лежишта типа високе сулфидације и 2) порфирска лежишта.



Слика 12: Шематска класификација магматско-хидротермалних система (модификовано из Vogie et al., 2005). Испрекиданом линијом је обележен положај система Чукару Пеки у оквиру ове класификације.

Полазна претпоставка у разматрању генетског модела хидротермалног рудоносног система Чукару Пеки у оквиру ове дисертације се огледа у чињеници да су порфирски системи обично везани за линеарне зоне регионалних до планетарних димензија, најчешће паралелне орогеним или старим субдукционим зонама (нпр. западни део Јужне Америке, зона Апусени-Банат-Тимок-Средњогорје на Балканском полуострву и др.) (Јанковић, 1990;

Sillitoe, 2010). Порфирска лежишта бакра која су њихово карактеристично металогенетско обележје, временски и просторно су повезана са хидратисаним калк-алкалним магмама које достижу до горњих делова коре у областима конвергентних граница плоча (Heinrich, 2005).

Хидротермални флуиди и већина рудних и пратећих елемената рудне асоцијације у порфирским системима потичу из магматске интрузије. Доток метеорских вода у примарни хидротермални систем у коме доминирају магматогени флуиди, од велике је важности за даљу еволуцију хидротермалних раствора и потоње депоновање рудних минерала (Wilkinson, 2001).

Велики распон различитих типова инклузија пронађен је у порфирским лежиштима бакра и злата широм света. Температуре њихове хомогенизације варирају од 100°C до >900°C, а салинитет од 0 до >60 теж. % NaCl екв., што је последица променљивог салинитета магматских флуида, немешљивости различитих фаза и мешања са метеорским водама нижег салинитета и температура (Vodnar et al., 2014). Један од карактеристичних типова инклузија из порфирских лежишта бакра и злата су веома слане инклузије које садрже више кристала соли (најчешће халит и силвит), као и рудних минерала, нпр. халкопирита. Ове инклузије се често налазе у асоцијацији са гасним инклузијама ниске густине, што се тумачи као последица фазног раздвајања течност-гас. Поменути процес је важан за тумачење магматско-хидротермалне еволуције система и депоновање рудних минерала (Wilkinson, 2001).

Sillitoe & Hedenquist (2003) епитермална лежишта класификују у групе високе, средње и ниске сулфидације. Сматрају да лежишта високе сулфидације генерално настају у 2 стадијума: 1) сулфатни стадијум који прати напредна аргилитска алтерација стена са стварањем веће количине алуниита и 2) сулфидни стадијум, током кога настају веће масе пирита, сулфосоли (нпр. енаргит) и злата. Генерално је прихваћено да се лужење и алтерација стена врше под утицајем веома киселих раствора формираних из магматске паре (Henley & Berger, 2011).

Проучавање флуидних инклузија и типова флуида из лежишта високе сулфидације је отежано, јер је већина транспарентних минерала насталих у току алтерације и депоновања минерала неупотребљива услед киселог карактера флуида и кристализације из аморфне силиције (Vodnar et al., 2014). Стога се проучавање инклузија у овим лежиштима углавном заснива на секундарним инклузијама у другим кристалима или инфрацрвеним проучавањем инклузија у рудним минералима (нпр. у енаргиту или пириту) (Heinrich, 2005). Температуре хомогенизације у измереним инклузијама из ових лежишта варирају у распону од 100-350°C, а салинитет између 0 и 23 теж.% NaCl екв. (Vodnar et al. 2014).

Sillitoe (2010) наводи следеће карактеристике од значаја за изучавање генезе порфирских лежишта бакра: 1) проучавање рудних парагенеза које углавном чине халкопирит, борнит, магнетит и минерали злата, 2) зонарне промене алтерација, од калијске до аргилитске, са удаљавањем од централног дела интрузива, 3) вишефазно утискивање дајкова и 4) присуство интрузивно-хидротермалних бреча, које се често поклапају са високосулфидационим епитермалним деловима.

Важна обележја високосулфидационих епитермалних лежишта за изучавање њихове генезе су: рудне парагенезе и хидротермалне алтерације, карактеристике хидротермалних флуида утврђене на основу проучавања флуидних инклузија, извори флуида и рудних компоненти утврђени проучавањем изотопа (Arribas, 1995; Sillitoe & Hedenquist, 2003).

Сагласно претходно изнетим схватањима, у дисертацији је анализирано више сегмената генетског модела хидротермалног система Чукару Пеки, са циљем формирања интегралног модела. Посебна пажња је посвећена:

- Анализи порекла магматског интрузива и утврђивању генетске везе рудне минерализације са Борским лежиштима бакра и злата. За ове потребе су спроведена мерења старости циркона, мерења садржаја микроелемената у цирконима и елемената ретких земаља у диоритима и андезитима.
- Мобилизација и транспорт рудних елемената: На основу бројних теренских опсервација, првенствено картирања језгара дубоких истражних бушотина, утврђивања петрографских, структурних и других испитивања са одговарајућим мерењима, али и применом методе аналогije са сличним лежиштима у окружењу, разматрени су сви процеси који су имали утицај на стварање епитермалних зона богатих ковелином и енаргитом.
- Карактеристике хидротермалних флуида: Утврђене су испитивањима флуидних инклузија из изабраних рудних жица хидротермалног система Чукару Пеки. У ранијем периоду нису вршена и на њима је фокус доктората.
- Депоновање рудних минерала: Закључци су изведене на основу опсежних микроскопских испитивања рудних парагенеза. Утврђен је редослед депоновања рудних минерала у рудним жицама и утврђено је више временски раздвојених фаза орудњења, као у порфирском, тако и епитермалном делу хидротермалног система Чукару Пеки. Дат је, такође, и осврт на видове концентрисања племенитих и ретких метала у појединим минералима, што је од научног али и апликативног значаја везано за њихову потенцијалну валоризацију.
- Појаве које прате депоновање минерализације: На основу картирања језгара истражних бушотина, спроведених петролошких испитивања и упоређивањем са другим лежиштима сличног типа у свету, описане су различите врсте хидротермалних алтерација и утврђена је њихова веза за рудном минерализацијом.

4. УЗОРЦИ И МЕТОДЕ

Узорковање је вршено током теренских истраживања упоредо са геолошким картирањем језгара више дубоких истражних бушотина. Укупно је прикупљено 143 узорка из језгара 6 истражних бушотина које пресецају Горњу зону лежишта (FMTC1330, TC140053, TC150061, TC150062, TC150096 и TC160117) и 3 истражне бушотине које пресецају Доњу зону лежишта Чукару Пеки (FMTC1327, FMTC1328 и TC160125).

За испитивање порекла интрузива у лежишту Чукару Пеки изабран је 21 узорак неалтерисаних стена за хемијску анализу узорка целих стена (табела 3).

Табела 3: Локација и опис узорка за анализе целих стена.

Број узорка	Бушотина	Литолошки опис
Ср027	TC150061	Неалтерисани Горњи андезити са калцитским жицама.
Ср046	TC160117	Доњи андезити са гипсном жицом и самородним сумпором.
Ср057	TC150062	Доњи андезити који садрже анхидритску жицу са пиритом.
Ср059	FMTC1330	Доњи андезити са гипсном жицом.
Ср061	FMTC1330	Оксидисали Доњи андезити са кварцно-калцитском жицом.
Ср062	FMTC1330	Доњи андезити са калцитско-зеолитском жицом.
Ср075	TC140053	Доњи андезити са пиритско-ковелинском жицом.
Ср079	FMTC1327	Доњи андезити са пиритско-енаргитском жицом и ружичастим алунином.
Ср083	FMTC1327	Неалтерисани П10 диорити.
Ср088	FMTC1327	Доњи андезити алтерисани хлоритском алтерацијом.
Ср094	FMTC1327	П4 диорити са танком кварцном жицом.
Ср095	FMTC1327	П2 диорити са широком минерализованом кварцном жицом (вероватно жице типа Б).
Ср102	FMTC1328	Неалтерисани П10 диорити.
Ср103	FMTC1328	П2 диорити са кварцним жицама.
Ср105	FMTC1328	П2 диорити са минерализованим кварцним жицама (вероватно жице типа Б).
Ср108	FMTC1328	П9 диорити са љубичастом анхидритском жицом.
Ср110	FMTC1328	П2 диорити са широком љубичастом анхидритском жицом.
Ср125	TC160125	Неалтерисани Горњи андезити са калцитским жицама.
Ср134	TC160125	Неалтерисани П10 диорити.
Ср135	TC160125	П1 диорити са пиритским жицама (вероватно жице типа Д).
Ср139	TC160125	П1 диорити са кварцним жицама (вероватно жице типа Б).

За анализу целих узорка стена изабрани узорци су растворени помоћу натријум-пероксида по поступку који је описан у Bokhari & Meisel, 2016. Андезитски стандард GBW07104 је коришћен као екстерни стандард. Сто микролитара дестиловане воде са 1 mg l-1 Ge, In и Re интерног стандарда је додато у 5 ml раствора у односу 1:5. За мерења је коришћен Agilent 7500cx ICP-MS инструмент (припрема и анализа узорка су вршени на универзитету у Леобену (Аустрија), са модулима мерења са и без сударања хелијума.

За мерење старости циркона из лежишта Чукару Пеки, изабрана су 4 узорка из различитих фаза диоритских интрузија: П1 диорит, П2 диорит и П10 диорит. Списак узорка коришћених за мерење старости приказан је у табели 4.

Мерења старости и садржаја микроелемената у цирконима су вршена у сарадњи са докторандкињом Дином Климентјевом са Универзитета ЕТН у Цириху, Швајцарска. Узорци су уситњени помоћу Selfrag уређаја на ЕТН Универзитету у Цириху (Швајцарска). Раздвајање је вршено помоћу сита, испирањем тешких минерала и магнетном сепарацијом, а затим су зрна циркона ручно издвајана под бинокуларом. Укупно је издвојено 33 зрна циркона, која су

затим пре полирања и мерења, загревана 48 сати (енгл. *annealing*) у пећи на 900°C. Мерења су вршена на масеном спектрометру са ласерском аблацијом (LA-ICP-MS), такође на ETH Универитету у Цириху (GeoLas Excimer ArF систем за ласерску аблацију повезан на NexION 2000 квадрупол ICP-MS уређај).

Табела 4: Опис и локација узорка коришћених за мерење старости циркона.

Број узорка	Бушотина	Литолошки опис
Ср083	FMTC1327	Неалтерисани П10 диорити.
Ср095	FMTC1327	П2 диорити са широком минерализованом кварцном жицом (вероватно жице типа Б).
Ср134	TC160125	Неалтерисани П10 диорити.
Ср135	TC160125	П1 диорити са пиритским жицама (вероватно жице типа Д).

Микроскопска и микротермометријска испитивања флуидних инклузија са пропуштеном светлошћу су извршена на 12 дупло-полираних препарата из 4 дубоке бушотине из различитих зона лежишта Чукару Пеки: FMTC1327, FMTC1328, FMTC1330 и TC160125. Списак узорка коришћених за ова испитивања, њихова локација и тип жица из којих су узети, приказан је у табели 5.

Табела 5: Локација и опис узорка који су коришћени за испитивање флуидних инклузија.

Број узорка	Бушотина	Тип жице
СР069	FMTC1330	Љубичаста анхидритска жица.
СР086	FMTC1327	Кварцна жица типа А.
СР089	FMTC1327	Кварцна жица.
СР096	FMTC1327	Кварцна жица типа Б.
СР105	FMTC1328	Кварцна жица типа Б.
СР106	FMTC1328	Кварцна жица типа Б.
СР108	FMTC1328	Љубичаста анхидритска жица.
СР110	FMTC1328	Љубичаста анхидритска жица.
СР116	FMTC1328	Кварцна жица типа Б.
СР123	FMTC1328	Кварцна жица и љубичаста анхидритска жица.
СР141	TC160125	Кварцна жица и наранџаста анхидритска жица.
СР143	TC160125	Кварцна жица типа А.

На прикупљеним узорцима из лежишта Чукару Пеки су осим микроскопских, извршена су и микротермометријска мерења на 106 флуидних инклузија. Сва мерења су извршена у лабораторији за флуидне инклузије на Рударско-геолошком факултету у Београду. Мерења су извршена на THMSG600 термалном сточићу повезаном на Olympus BX51 микроскоп. За калибрацију термалног сточића је коришћен примарни стандард са чистим CO₂ са лабораторијским називом WRECT-006160. Максимална температура загревања инклузија на овом уређају је 600°C; поједине од мерених инклузија нису достигле тоталну хомогенизацију до ове температуре.

Својства измерених флуидних инклузија (салинитет, притисак и густина) су прорачунати коришћењем НОКIEFLINCS-H₂O-NaCl Excel табеле (Steele-Macinnis et al., 2012) на основу температуре тоталне хомогенизације инклузија и температуре топљења леда (у случају незасићених инклузија) или температуре растварања соли (за засићене инклузије са једним или више кристала соли). Салинитети сланих инклузија су израчунати на основу температуре растварања соли користећи једначине из Sterner et al. (1988). Салинитети

инклузија са ниским салинитетом су израчунати на основу температура топљења леда након смрзавања, користећи једначине из Bodnar (1993), док су салинитети инклузија које хомогенизују растварањем чврсте фазе (соли) израчунате коришћењем једначина из Lecumberri-Sanchez et al. (2012). Рачунање притиска флуида при кључању је вршено помоћу софтвера AqSo_NaCl (Bakker, 2018), користећи једначине из Naar (1984) и Driesner & Heinrich (2007).

Списак узорка коришћених за рудномикроскопска испитивања приказан је заједно са рудномикроскопским извештајем у прилогу доктората. Списак узорка који су анализирани ласерском аблацијом је приказан у табели 6.

Табела 6: Локација и опис узорка који су коришћени за мерење елемената у траговима путем ласерске аблације.

Број узорка	Бушотина	Тип жице
CP012	TC150096	Пиритско-ковелинска жица са кластима млађег руп1 пирита.
CP018	TC150096	Пиритско-снаргитска жица.
CP028	TC150061	Пиритско-ковелинска жица.
CP038A	TC160117	Пиритско-ковелинска жица.
CP041	TC160117	Маркаситска жица.
CP073	TC150043	Пиритско-снаргитска жица.
CP084	FMTC1327	Кварцна жица типа Б.
CP097	FMTC1328	Маркаситска жица.
CP115	FMTC1328	Сулфидна жица.
CP117	FMTC1328	Сулфидна жица.
CP119	FMTC1328	Љубичаста анхидритска жица.
CP122	FMTC1328	Пиритска жица типа Д.
CP126	TC160125	Руп1 пирит.

Анализа микроелемената у сулфидним минералима хидротермалног система Чукару Пеки је извршена на Департману за примењену геонауку и геофизику на Универзитету Montanuniversität у Леобену, Аустрија. Мерења су вршена на ESI NWR213 Nd:YAG систему за ласерску аблацију повезаном на Agilent 8800 QQQ ICP-MS инструмент (масени спектрометар). Као гас за пренос је коришћен хелијум са брзином тока од 0,75 L/min. Флуенца је подешена на 2-3 J/cm². Као стандард за квантификавање садржаја елемената је коришћен синтеровани спрашени пелет референтни материјал MUL-ZnS 1 (Onuk et al., 2017), док је спрашени полисулфидни референтни материјал MASS-1 из USGS-а коришћен за квалитативну контролу анализа (Wilson et al., 2002). Обрада података је извршена коришћењем Iolite V3.1 софтвера (Woodhead et al., 2007, Paton et al., 2011). За садржај гвожђа и сумпора у пириту су прихваћене теоријске вредности.

5. РЕЗУЛТАТИ

5.1 ПОРЕКЛО МАГМАТСКОГ ИНТРУЗИВА

5.1.1 Анализе ретких земаља у стенама

На табели п1 у прилогу су приказани резултати анализа ретких земаља за сваки узорак целих стена.

На слици 13а је приказан дијаграм елемената ретких земаља са садржајима елемената нормализованим на састав хондритских метеорита (енгл. *CI chondrites*), док је на слици 10б приказан мултиелементни дијаграм са садржајима елемената нормализованим на примитивни мантил (према Sun & McDonough, 1989).

На слици 13а примећује се да су главне особине већине анализираних узорака (и андезита и диорита) релативно обогаћење лаких елемената ретких земаља (LREE) и релативно уједначени садржаји тешких елемената ретких земаља (HREE). Највеће одступање се примећује у 3 мерена узорка Доњих андезита који имају приметно осиромашење тешким ретким земљама.

На мултиелементном дијаграму (слика 13б), већина анализираних узорака садржи релативно обогаћење литофилних елемената са великим јонским радијусом (тзв. *LILE* елементима), као што су Ba, Rb, Sr, U и Th и релативно осиромашење елементима као што су Nb, Ta, Zr и Hf. Састав свих диоритских узорака је релативно уједначен, независно од генерације. Састав Горњих и Доњих андезита је такође релативно уједначен, са изузетком 3 узорка Доњих андезита који су осиромашени тешким ретким земљама.

Дијаграми La/Yb vs Yb и Sr/Y vs Y (слика 14А и 14В) се генерално користе за раздвајање нормалних магми остврских лукова од магми са адакитским особинама (Defant & Drummond, 1990; Richards & Kerrich, 2007). Већина анализираних узорака Горњих и Доњих андезита из лежишта Чукару Пеки има висок садржај Sr и због тога се налази у пољу са адакитским карактеристикама (слика 14А). На La/Yb vs Yb дијаграму (слика 14В) већина узорака има низак однос La/Yb, те се налази у пољу нормалних остврских лукова. На оба дијаграма се примећује се да три анализирани узорка Доњих андезита имају много више вредности Sr и много виши однос La/Yb од осталих узорака.

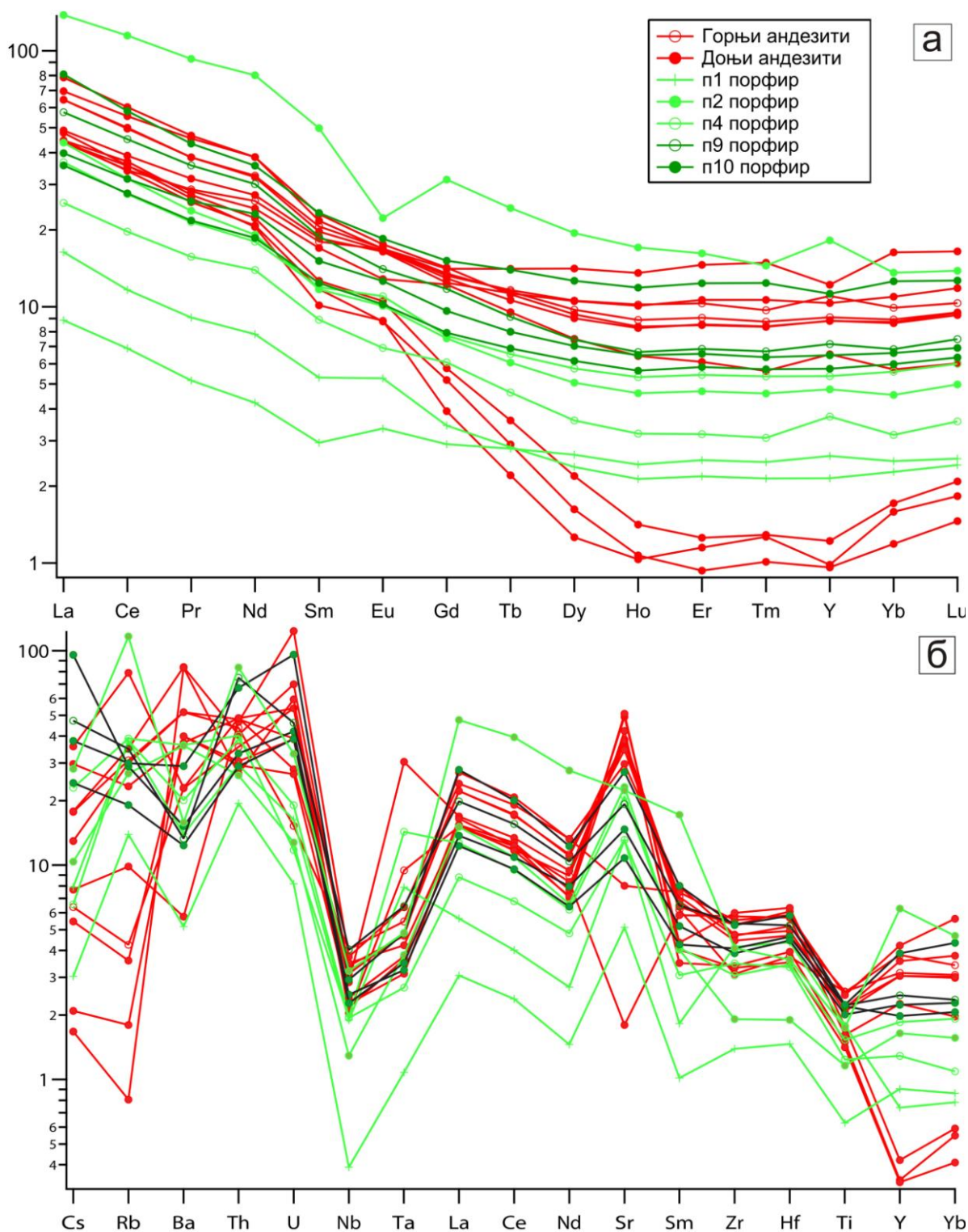
Дијаграм са односом Dy/Yb vs SiO₂ (слика 14С) може дати увид у фракционацију минерала у магми (Davidson et al., 2007; Kolb et al., 2013). Анализирани узорци Доњих андезита из лежишта Чукару Пеки указују на генерални тренд смањења односа Dy/Yb са повећањем садржаја SiO₂. Анализирани узорци диорита и Горњих андезита имају уједначене односе.

На дијаграму Ni vs Sc већина анализираних узорака из лежишта Чукару Пеки се групише испод корелационе линије Ni са Sc, која представља однос 1,5:1 (слика 14D).

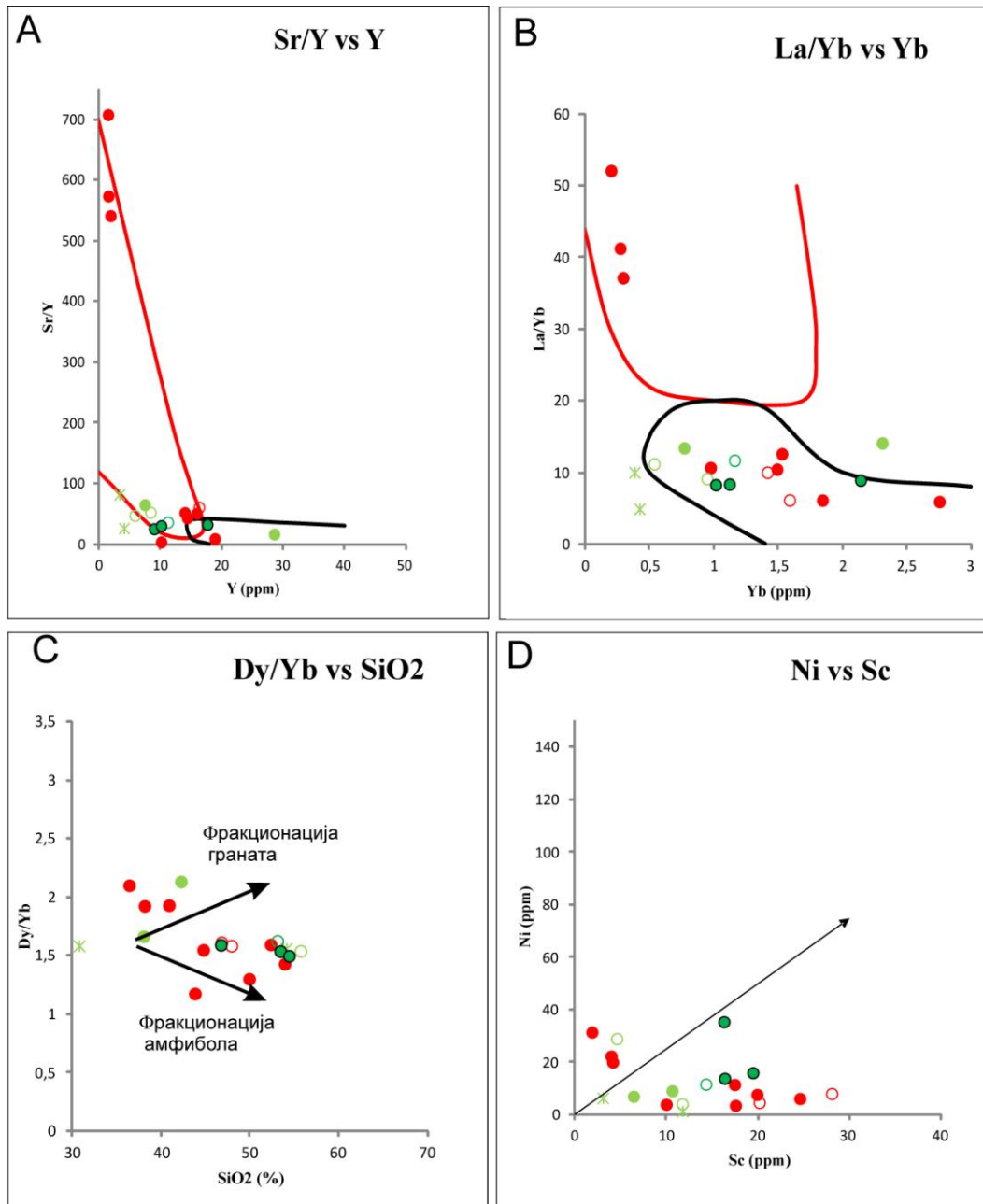
5.1.2 Одређивање старости лежишта

На конкордија дијаграмима (слика 15), приказана је старост циркона из лежишта Чукару Пеки; исти су раздвојени у две групе: 1) циркони из минерализованих диорита (п1 и п2) и 2) циркони из неминерализованих дајкова (п10). Добијени резултати указују да је оквирна старост циркона прве групе (у којој су узорци из п1 и п2 минерализованих

диоритских интрузива) $86,2 \pm 0,26$ Ма, док је оквирна старост циркона друге групе (која обухвата неминерализоване п10 дајкове) $84,9 \pm 0,18$ Ма.



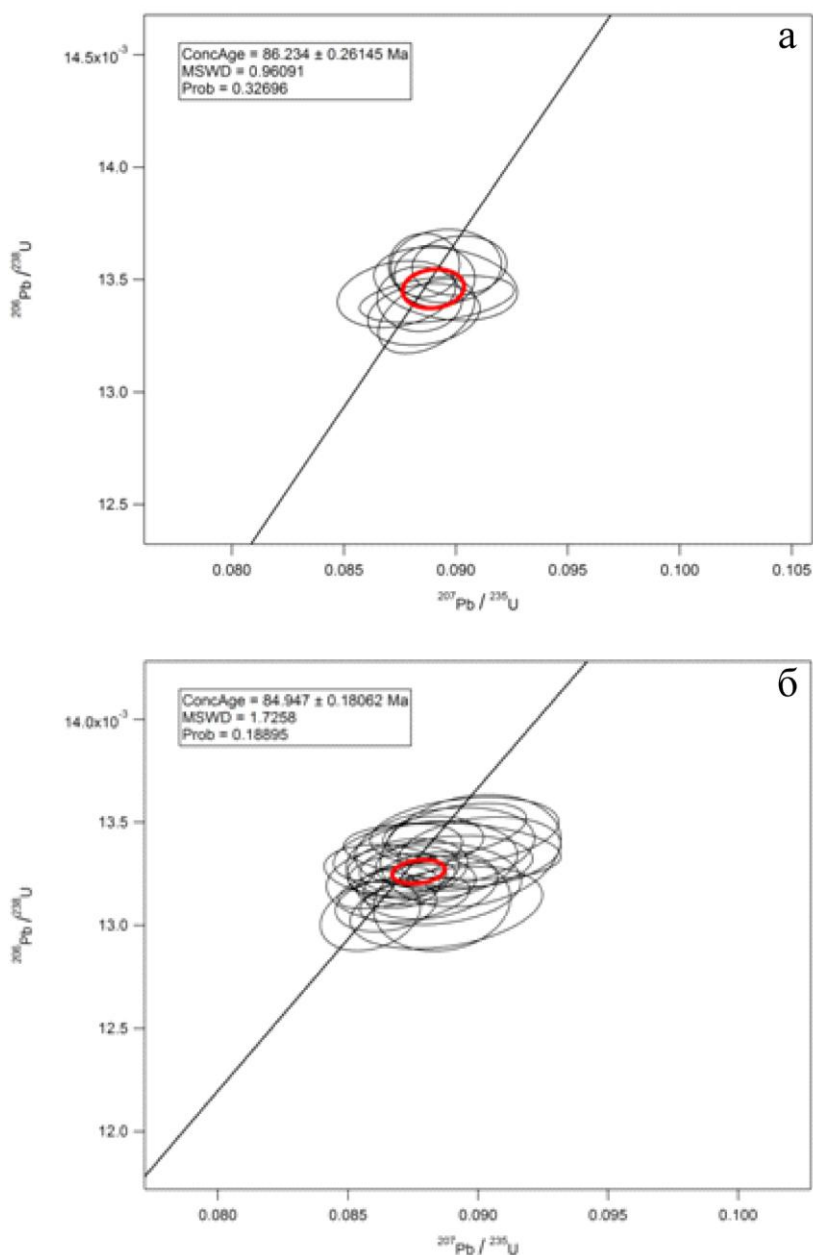
Слика 13: а) Дијаграм елемената ретких земаља, са садржајима нормализованим на хондрите (C1 chondrites) по Sun & McDonough, 1989; б) Мултиелементни дијаграм, са садржајима нормализованим на примитивни омотач.



Легенда:

- Доњи Андезити
- Горњи Андезити
- Андезити са адакитским карактеристикама
- Нормални андезити острских лукова
- ✱ п1 порфир
- п2 порфир
- п4 порфир
- п9 порфир
- п10 порфир

Слика 14: Садржаји елемената добијени bulk-rock анализом, приказани на Sr/Y vs Y, La/Yb vs Yb, Dy/Yb vs SiO₂ и Ni vs Sc дијаграмима. Вредности за адаките и нормалне стене острвских лукова су из Richards & Kerrich (2007). Путање фракционације граната и амфибола су из Davidson et al. (2007). Корелациона линија на Ni vs Sc дијаграму је из Halley (2020).



Слика 15: Конкордија дијаграми мерења старости циркона

а) главна минерализациона фаза у лежишту Чукару Пеки, издвојена као П1 и П2 диорити

б) каснији неалтерисани дајкове, издвојени као П10 диорити.

5.1.3 Анализе микроелемената у цирконима

Садржаји микроелемената у анализираним цирконима приказани су у табели п2 у прилогу дисертације.

На слици 14 су приказани често коришћени индикатори фертилитета циркона: еуропијумова (Eu) аномалија, која се рачуна преко формуле $\text{Eu}_N/\text{Eu}^*_N$ и концентрација Hf у цирконима (Lu et al., 2016).

Eu^*_N се рачуна преко следеће формуле (Dilles et al. 2015):

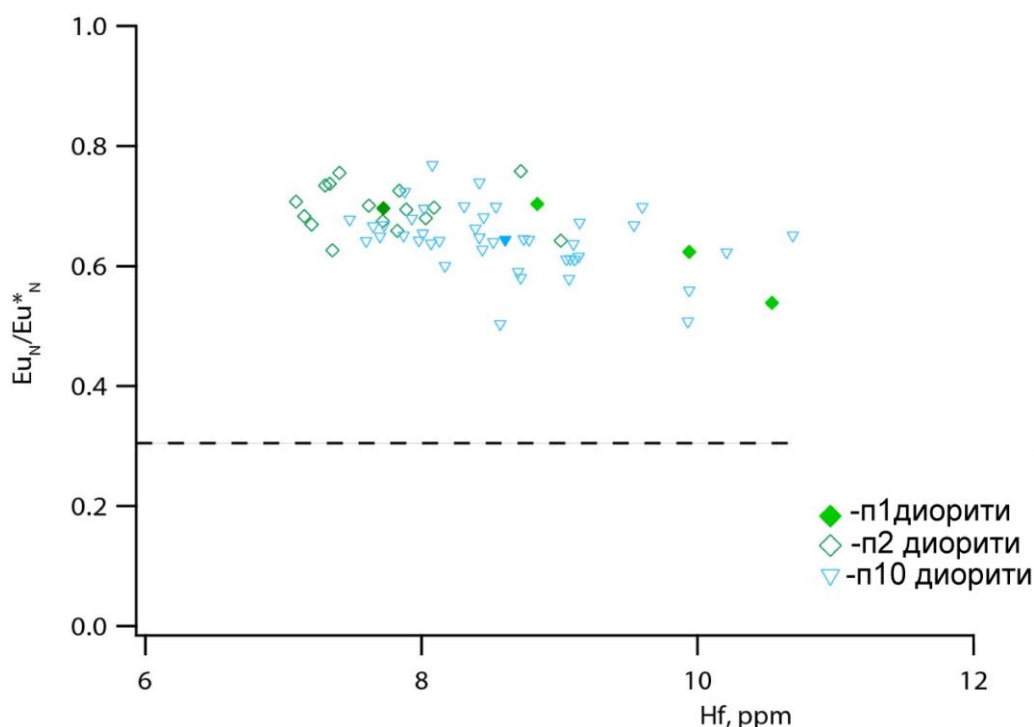
$$\text{Eu}^*_N = \sqrt[2]{\text{Sm}_n * \text{Gd}_n}$$

У наведеној формули, концентрације Sm и Gd су нормализоване на састав хондритских метеорита (енгл. *CI chondrites*) (Sun and McDonough, 1989). Сви анализирани циркони из хидротермалног система Чукару Пеки, чак и они из касних п10 дајкова, имају вредности Eu_N/Eu^*_N изнад границе од 0,3 (Lu et al., 2016). Средње вредности измерених Eu аномалија циркона из система Чукару Пеки су између 0,6 и 0,7; највеће варијације имају циркони из п10 диорита (слика 16).

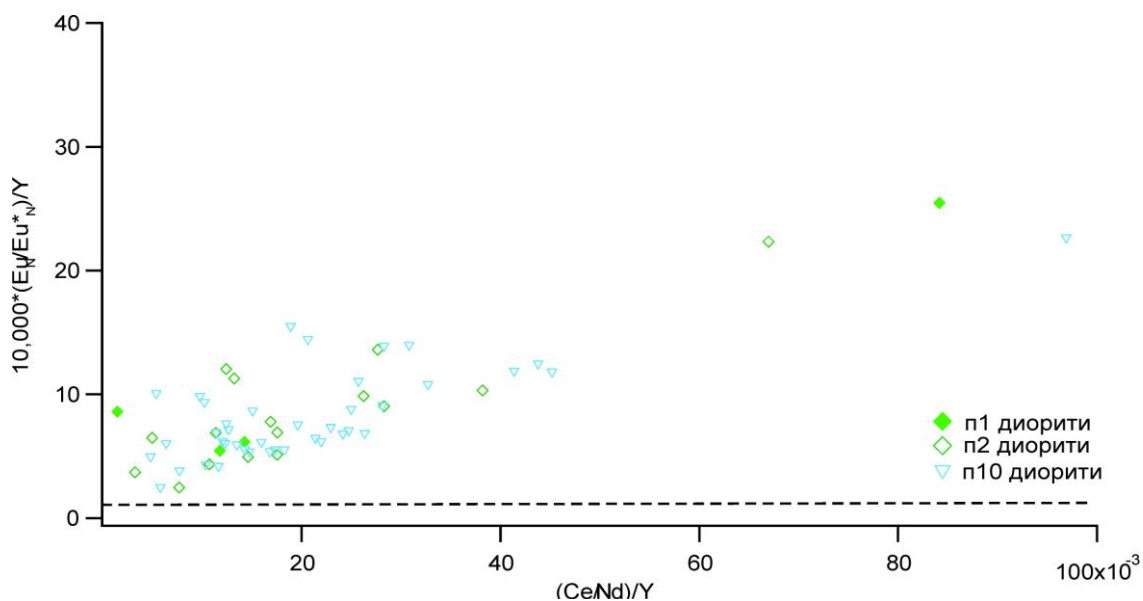
За индикатор $10000*(Eu_N/Eu^*_N)/Y$ (слика 17), сматра се да је граница између продуктивних и непродуктивних магми вредност од 1 (Lu et al., 2016). Сви анализирани циркони из хидротермалног система Чукару Пеки имају вредности индикатора знатно изнад ове граничне вредности. Средња вредност овог индикатора за анализирани цирконе је око 10.

Церијумова (Ce) аномалија која се обично користи у комбинацији са Eu аномалијом за раздвајање продуктивних, слабо минерализованих и непродуктивних магматских интрузија и указује на оксидативно стање магми (Ballard et al., 2002), израчуната је по формулама приказаним у Zhong et al. (2019). Већина анализираних циркона из хидротермалног система Чукару Пеки има вредности церијумове аномалије изнад 300 и еуропијумове аномалије изнад 0,4 (слика 18).

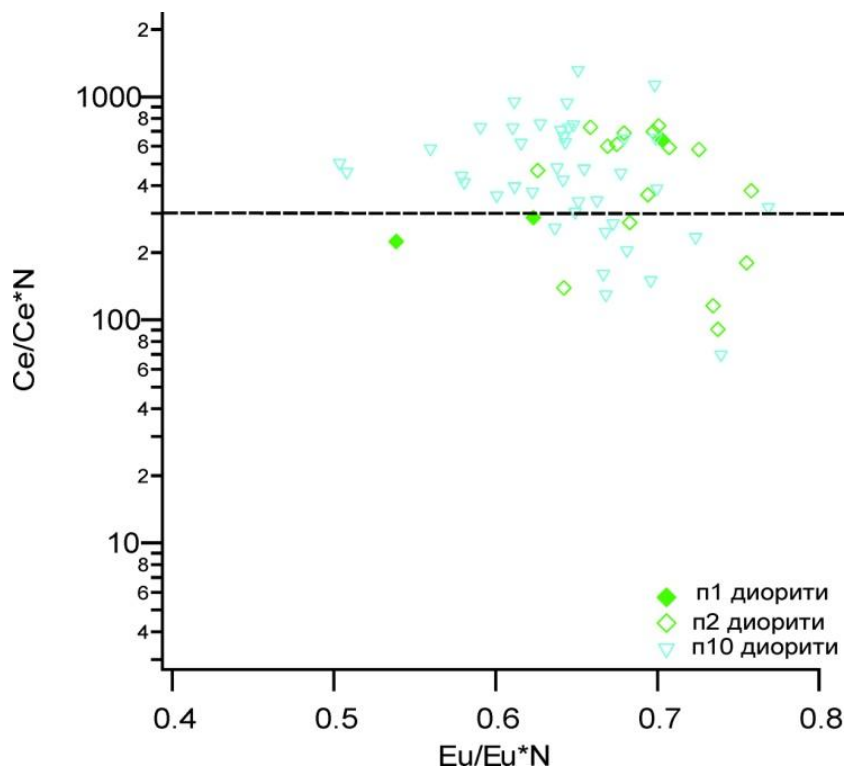
Концентрације елемената као што су Hf, Y, REE, Th и U у цирконима се могу користити као индикатор фракционисања или мешања магме током развоја магматског система (Lee et al., 2017; Lee et al., 2020). На слици 19 приказан је однос Yb/Gd и Th/U, који се користи за одређивање утицаја мешања и фракционације магме. Анализирани циркони из система Чукару Пеки имају висок однос Th/U.



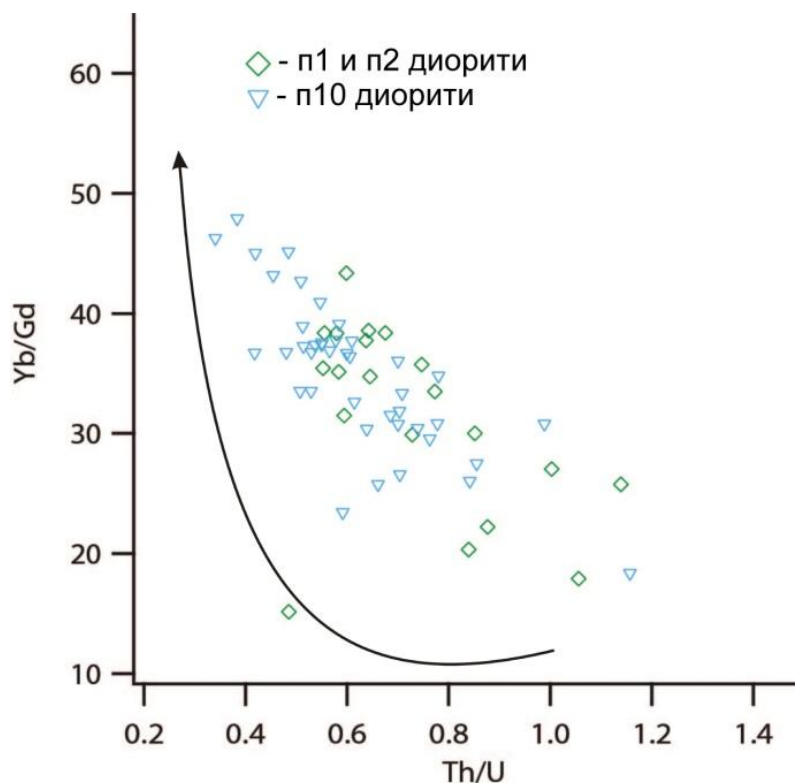
Слика 16: Дијаграм односа Eu_N/Eu^*_N и концентрације Hf у цирконима из хидротермалног система Чукару Пеки. Испрекиданом линијом је приказан однос Eu_N/Eu^*_N од 0,3 који се сматра индикатором за продуктивне магме (Lu et al., 2016).



Слика 17: Садржаји елемената у траговима у цирконима из хидротермалног система Чукару Пеки приказани на дијаграму односа $10000 \cdot (Eu/Eu^*)$ и $(CeNd)/Y$. Испрекиданом линијом је приказан однос $10000 \cdot (Eu/Eu^*)/Y$ од 1, који се сматра индикатором за продуктивне магме (Lu et al., 2016).



Слика 18: Дијаграм односа Eu и Ce аномалија за цирконе из хидротермалног система Чукару Пеки. Испрекиданом линијом је обележена вредност церијумове аномалије од 300, која се сматра индикатором за продуктивне магме.



Слика 19: Дијаграм односа Yb/Gd и Th/U за цирконе из хидротермалног система Чукару Пеки. Крива линија која представља стандардну путању фракционације магме је преузета из Lee et al. (2020).

5.2 КАРАКТЕРИСТИКЕ ХИДРОТЕРМАЛНИХ ФЛУИДА

5.2.1 Петрографско испитивање флуидних инклузија

Високосулфидациони део лежишта Чукару Пеки (тзв. Горња зона) не садржи адекватне минерале за стандардно испитивање флуидних инклузија под пропуштеном светлошћу. Већина провидних минерала у овом делу рудоносног система је веома ситнозрна, што је карактеристика и већине других лежишта истог типа широм света (Vodnar et al., 2014). За разлику од провидних састојака, неки од сулфидних минерала, као што су пирит и енаргит, могу се користити за испитивање инклузија под инфрацрвеном светлошћу, што је већ примењено на појединим узорцима из Борске металогенетске зоне (Bailly et al., 2002). Током истраживања за потребе ове дисертације анализа флуидних инклузија се базирала на провидним минералима из порфирског дела система: кварцу и анхидриту.

На основу резултата спроведених микроскопских испитивања под пропуштеном светлошћу, издвојено је неколико групација флуидних инклузија (енгл. *Fluid inclusion assemblage-FIA*) у жицама из порфирског дела система Чукару Пеки. Сагласно Goldstein & Samson (2003), под "групацијом инклузија" у дисертацији се подразумева група петрографски издвојених инклузија у истој зони, за које се сматра да су заробљене истовремено, у истом генетском процесу. Основни критеријум за одређивање примарних флуидних инклузија при томе, било је препознавање оних инклузија које су заробљене у зонама раста кристала и/или инклузија које су насумично распоређене свуда по кристалу (Roedder, 1984; Goldstein & Samson, 2003). Ако се на таквој групацији инклузија измере сличне температуре топљења и

хомогенизације, сматра се да оне припадају примарној групацији. За разлику од њих, секундарне групације инклузија су оријентисане дуж планарних структура (које су често пукотине) или криволинијских површи које пресецају зоне раста кристала (Roedder, 1984; Goldstein & Samson, 2003). Треба напоменути да је прецизно генетско одређивање групација флуидних инклузија у минералима у порфирским системима отежано због присуства бројних зона раста кристала и накнадно затворених (зараслих) пукотина, што је случај и са испитивањима у лежишту Чукару Пеки (John et al., 2010). Фотомикрографије различитих групација инклузија издвојених у порфирском делу рудоносног система су приказане на слици 19, док су увеличане фотомикрографије појединачних инклузија приказане на слици 20.

У проучаваним кварцним жицама из порфирског дела система Чукару Пеки издвојене су три асоцијације флуидних инклузија (асоцијација може обухватати једну или више групација флуидних инклузија насталих у сличном генетском процесу). Издвојене асоцијације у кварцним жицама су:

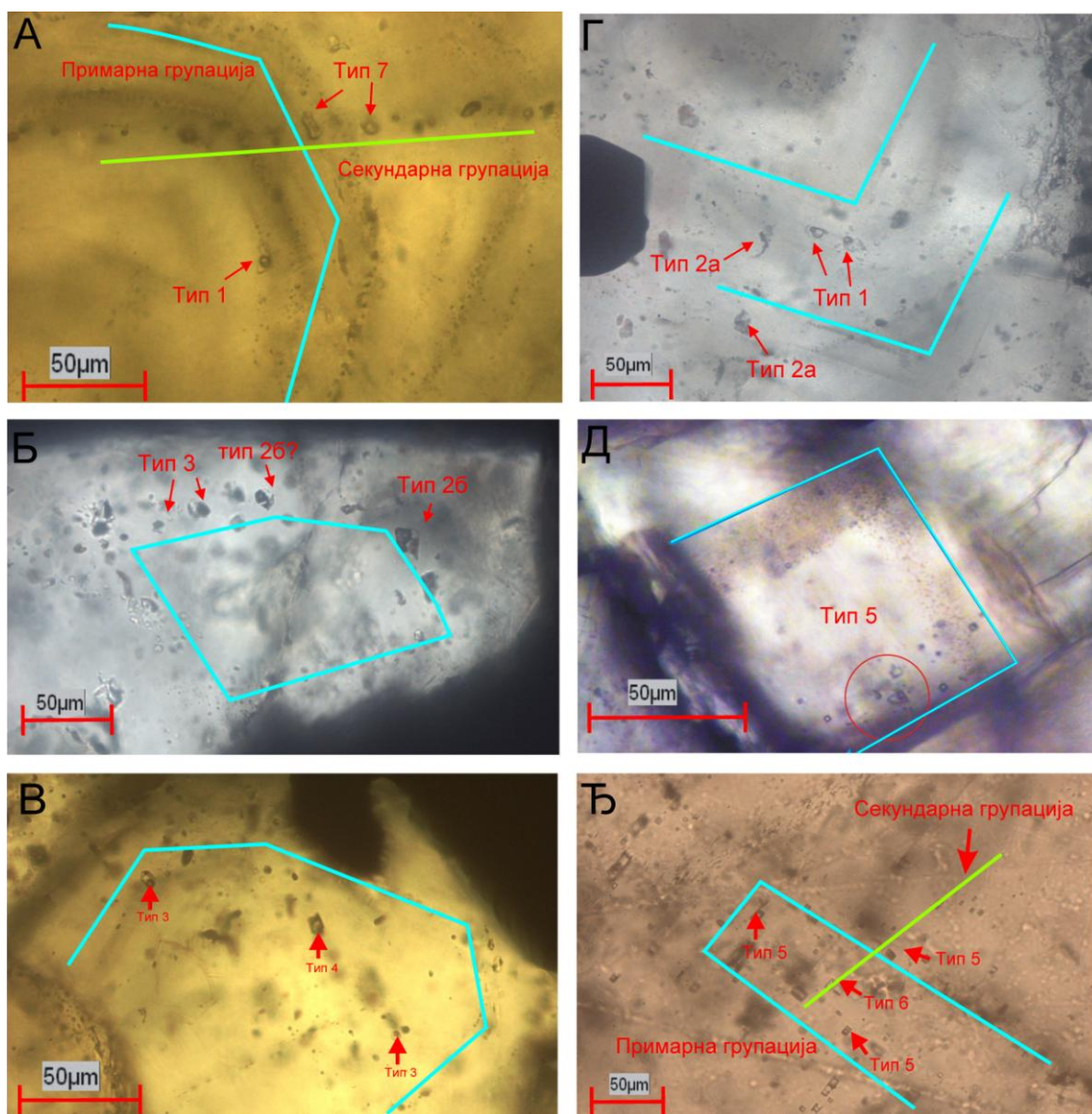
1) Примарна асоцијација у кварцу (инклузије типа 1). Ова асоцијација садржи примарне групације инклузија са три фазе (гас + течност ± кристал соли) (слика 21a). Инклузије су дефинисане као петролошки примарне, јер се углавном налазе у зонама раста кристала у кварцним жицама (слика 20a и слика 20d). Ове инклузије углавном имају облик негативног кристала и садрже релативно велики мехур. Фазни односи у инклузијама на собној температури су углавном: $>30\% V \pm 10-20\% S + 50-60\% L$ (где је V- гасовита фаза тј. мехур, S- чврста фаза тј. кристали соли, а L- водена фаза).

2) Асоцијација сланих раствора 1 (инклузије типа 2a), садржи полифазне флуидне инклузије са више чврстих фаза (гас + течност + 2 кристала соли ± хематит ± непровидни минерал) (слика 21b). Ове инклузије се препознају по томе што садрже два кристала соли, а понекад и друге чврсте фазе, као што је хематит (који се препознаје по наранџастој боји). По хабитусу кристала, провидности и рефрактивности два кристала соли, може се закључити да су се ради о халиту (NaCl) и силвиту (KCl), јер су они и најчешће чврсте фазе у инклузијама у порфирским лежиштима (Roedder, 1984; Wilkinson, 2001; Lecumberri-Sanchez et al., 2012). Уочено је да се поменути тип инклузија углавном налази у истим кристалима кварца као и инклузије из асоцијације сланих раствора 2. У већини случајева, међутим, инклузије из прве асоцијације не прате исте зоне раста кристала као инклузије из друге асоцијације (слика 19b и слика 20d). Фазни односи у инклузијама на собној температури су углавном: $20\% V \pm 30-40\% S + 40-50\% L$.

3) Асоцијација сланих раствора 2. Ова асоцијација садржи три различите групације инклузија (2б, 3 и 4):

Инклузије типа 2б: Ове групације садрже полифазне флуидне инклузије са више чврстих фаза (гас + течност + 2 кристала соли ± хематит ± непровидни минерал). Врло је сличне типу 2a, али за разлику од њега мало су крупније и налазе се у истим зонама раста кристала као и инклузије типа 3 (слика 20b).

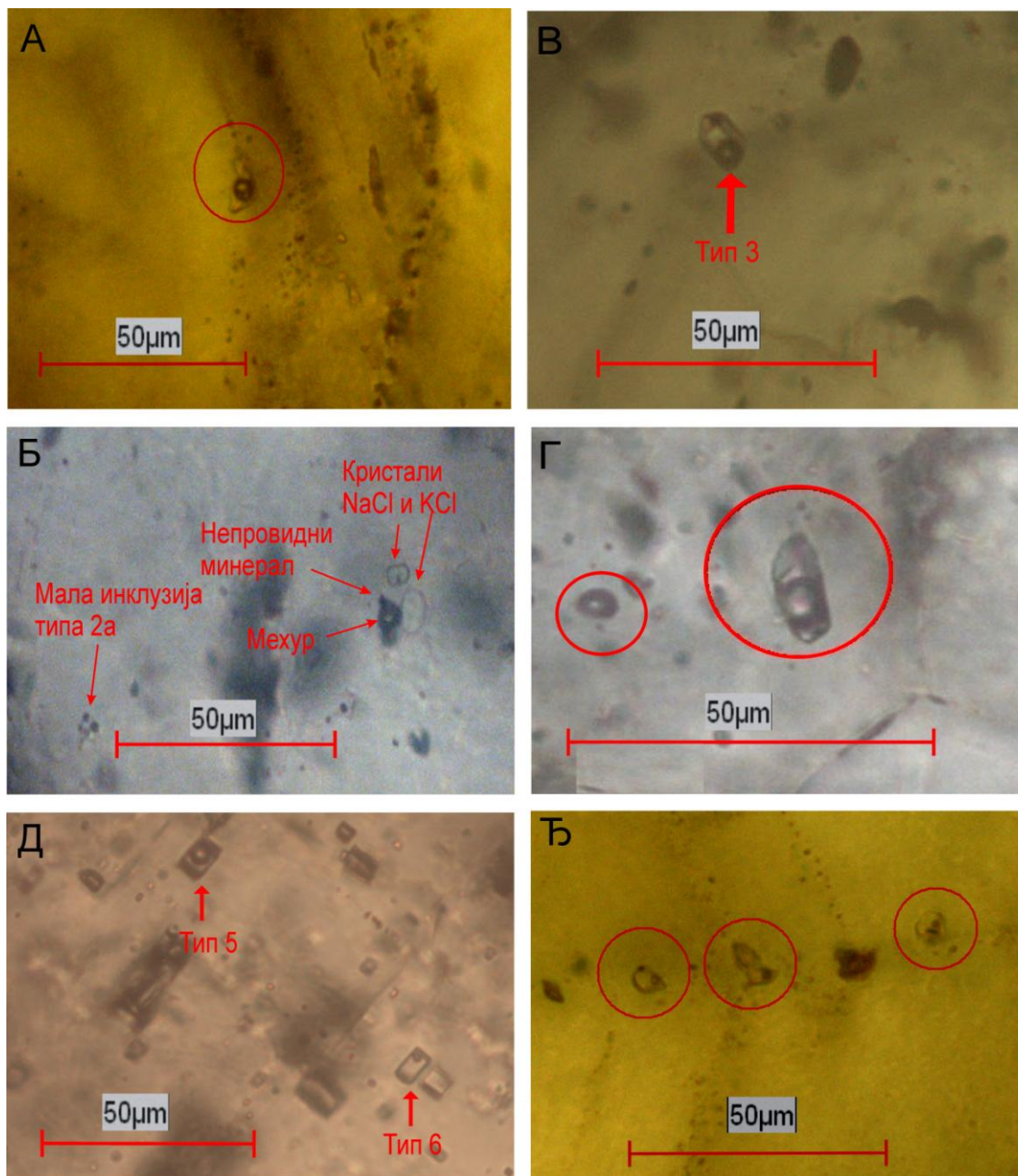
Инклузије типа 3: Ове групације садрже трофазне инклузије са само једним кристалом соли (гас + течност + кристал соли ± непровидни минерал) (слика 21c). Непровидни минерал у овим инклузијама није идентификован другим методама, али по хабитусу кристала и минералном саставу кварцних жица, претпоставља се да је у питању халкопирит. Заједно са типом 2a и типом 4, овај тип инклузија се јавља у зонама раста кристала или у збијеним групама у кварцним жицама (слика 20b и слика 20c). Фазни односи у инклузијама на собној температури су углавном: $20\% V \pm 20-30\% S + 50-60\% L$.



Слика 20: Фотографије типова групација флуидних инклузија у жицама у порфирском и прелазно-хидротермалном делу система Чукару Пеки. Оријентације примарних групација су обележене плавом бојом, док су оријентације секундарних групација обележене зеленом бојом.

Легенда:

- А) Примарна групација са инклузијама типа 1 у зони раста кристала кварца, коју пресеца секундарна групација инклузија типа 7, узорак СР086;
- Б) Асоцијација сланих раствора 2 са инклузијама типа 26 и 3 у зони раста у кварцној жици типа Б, узорак СР106;
- В) Асоцијација сланих раствора 2 са инклузијама типа 3 које садрже непровидне минерале и инклузијама типа 4 богатих паром у зони раста кристала кварца, узорак СР096;
- Г) Примарна асоцијација инклузија типа 1 у зони раста кварца и разбацане инклузије типа 2а, узорак СР086;
- Д) Примарна групација инклузија типа 5 која прати квадратни облик кристала анхидрита, узорак СР110;
- Ђ) Примарна групација инклузија типа 5 у анхидриту, коју пресеца секундарна групација инклузија типа 6, узорак СР123.



Слика 21: Увећане фотомикрографије појединичаних флуидних инклузија из групација (на собној температури).

Легенда:

- А) Примарна инклузија типа 1 у зони раста у кварцу, увећан детаљ из слике 20а ;
- Б) Полифазна инклузија типа 2а са 2 кристала соли и непровидним минералом у кварцу, узорак СР086;
- В) Инклузија типа 3 са кристалом соли и непровидним минералом у кварцу, увећан детаљ из слике 20С;
- Г) Инклузије типа 4 богате паром, узорак СР121;
- Д) Примарне инклузије типа 5 и секундарне инклузије типа 6 у анхидриту, увећан детаљ из слике 20Г;
- Ђ) Секундарне нискотемпературне инклузије типа 7 са ситним непровидним минералима, увећан детаљ из слике 20А.

Инклузије типа 4: Групације инклузија типа 4 обухватају наизглед једнофазне инклузије богате воденом паром (гасном фазом). Иако изгледају као једнофазне, често садрже и танак слој течности поред зидова инклузија (слика 21d). Налазе се у истим зонама

раста као и инклузија типа 2б и типа 3, али су често и насумично разбацане по кристалима кварца.

У љубичастим анхидритским жицама, могу се издвојити две групације инклузија:

1) Инклузије типа 5: Садрже двофазне или трофазне флуидне инклузије са крупним мехуром у анхидриту (гас + течност ± непровидни минерал) (слика 21е). Ове инклузије су вероватно примарне, због тога што имају облик негативног кристала (у анхидриту је то квадратни облик) и јер се јављају у зонама раста кристала анхидрита (слика 20е и слика 20ф). Непровидни минерали нису идентификовани другим методама, али је хабитус кристала сличан минералима у инклузијама типа 3. Фазни односи у инклузијама на собној температури су углавном: 20% V + 80% L.

2) Инклузије типа 6: Групације инклузија типа 6 садрже двофазне инклузије са ситнијим мехуром у анхидриту (гас + течност) (слика 21е). Ове инклузије су вероватно секундарне; разбацане су по кристалима или прате линијски правац каснијих пукотина (слика 20ф). Мехур у овим инклузијама је доста мањи од мехура у инклузијама типа 5, а фазни односи на собној температури су: 5-10% V + 90-95% L.

Осим поменутих типова инклузија, у порфирској зони система Чукару Пеки је уочена и и групација секундарних инклузија које су присутне и у кварцним жицама и у наранџастим анхидритским жицама. Њима припадају инклузије типа 7. Представљене су касним секундарним инклузијама богатим воденом фазом (гас + течност ± непровидни минерал) (слика 21ф). Претпоставља се да су ове инклузије нискотемпературне, јер је мехур у њима веома мали. Фазни односи на собној температури су: 5-10% V + 90-95% L. Уочене су у већини анализираних узорака, нарочито у кварцним и наранџастим анхидритским жицама. Често су линеарно оријентисане у правцу каснијих пукотина (слика 20а). Непровидни минерали нису идентификовани, али њихов издужени хабитус је доста другачији од непровидних минерала у инклузијама типа 3 и 5.

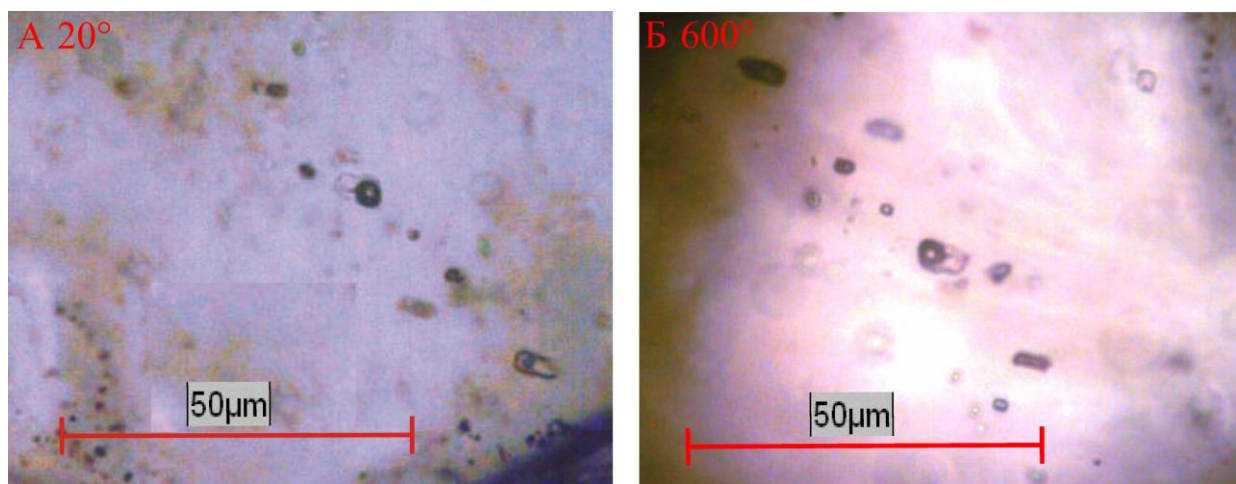
5.2.2 Резултати микротермометријских мерења

Уопштено говорећи, постоје четири различита мода хомогенизације флуидних инклузија у анализираним узорцима: 1) LSV→LV→L; 2) LSV→LS→L; 3) LV→V и 4) LV→L (где је V- гасовита фаза тј. мехур, S- чврста фаза тј. кристали соли, а L- водена фаза). Тотална хомогенизација анализираних инклузија се одвија у широком распону температура, од испод 100°C до изнад 600°C, док салинитет инклузија варира од 0-44 теж.% NaCl екв. Овако велики распони температура и притисака се јављају и у другим сличним порфирским системима широм света (Vodnar et al., 2014). Подаци о моду хомогенизације и средњим вредностима мерења различитих инклузија су приказани у табели 7, док су сва микротермометријска мерења приказана у табели п3 у прилогу. Резултати ових анализа су детаљније приказани у публикацији Velojić et al. (2020).

Инклузије типа 1 су вероватно формиране на веома високим температурама, јер већина њих не достиже тоталну хомогенизацију до 600°C (слика 22), што је горњи лимит температуре за коришћени термални сточић. Само три измерене флуидне инклузије су достигле хомогенизацију на нижим температурама: 545°C, 580°C и 582°C. Салинитет ових инклузија је израчунат преко температура растварања соли и варира од 30 до 44 теж.% NaCl екв.

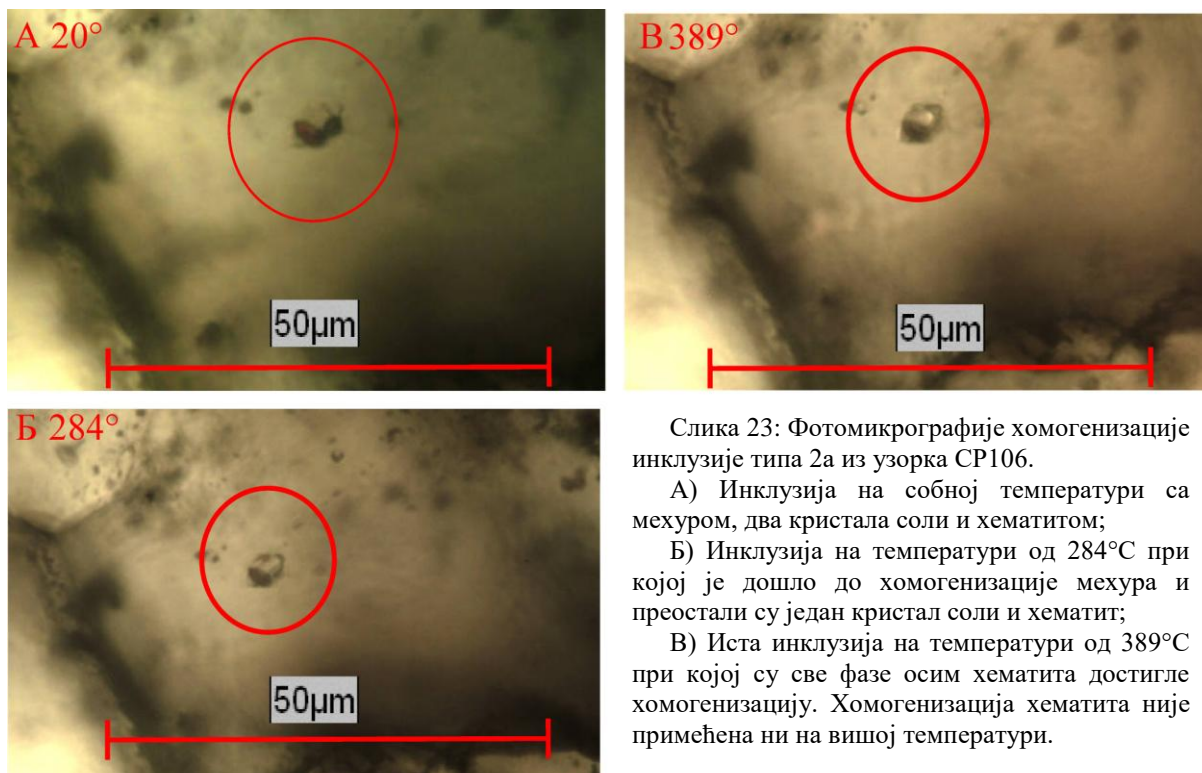
Измерене температуре хомогенизације инклузија типа 2а су између 320°C и 470°C, са средњом вредношћу око 350°C (слика 23). Једна од карактеристика ових инклузија је да се

њихова хомогенизација одвија растварањем соли, након хомогенизације мехура (мод LSV→LS→L). Редослед њихове хомогенизације углавном почиње тиме што се први кристал соли раствори између 150 и 200°C (слика 23Б), након чега наступа хомогенизација мехура и на крају долази до растварања другог кристала соли, између 350 и 400°C (слика 23В). Ниска температура растварања првог кристала соли указује да се вероватно ради о силвиту (KCl). Овакав мод хомогенизације указује да поменуте инклузије не садрже флуиде који су настали процесом кључања раствора (Lecumberri-Sanchez et al., 2012). Салинитет инклузија типа 2а је између 40 и 44 теж.% NaCl екв.



Слика 22: Фотографије инклузија типа 1 из узорка CP141

- А) Инклузија на собној температури
 Б) Инклузија не достиже хомогенизацију на 600°C. Обележене инклузије типа 7 достижу хомогенизацију на много нижој температури (испод 200°C).



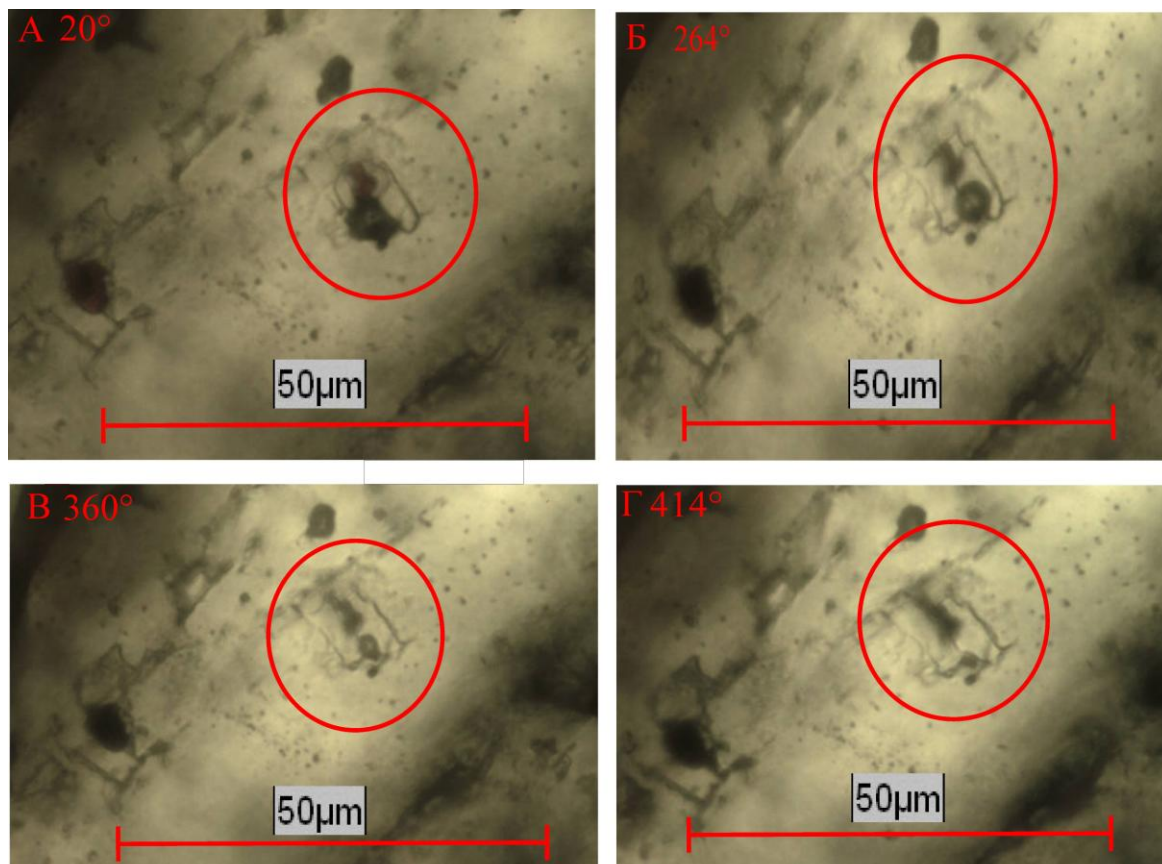
Слика 23: Фотографије хомогенизације инклузије типа 2а из узорка CP106.

А) Инклузија на собној температури са мехуром, два кристала соли и хематитом;

Б) Инклузија на температури од 284°C при којој је дошло до хомогенизације мехура и преостали су један кристал соли и хематит;

В) Иста инклузија на температури од 389°C при којој су све фазе осим хематита достигле хомогенизацију. Хомогенизација хематита није примећена ни на вишој температури.

Тотална хомогенизација код инклузија типа 26 се врши хомогенизовањем мехура, након растварања кристала соли (мод LSV→LV→L). Измерене су две инклузије из овог типа и добијене температуре хомогенизације од 414°C и 470°C (слика 24). Карактеристике инклузија које садрже два кристала соли су одређиване преко NaCl-KCl-H₂O система (Roedder, 1984), у коме се укупан салинитет флуидних инклузија које садрже NaCl и KCl одређује преко температуре растварања првог кристала соли; наиме, ово растварање се одвија на котектичкој линији температуре растварања другог кристала соли, што се може пратити преко изотерми у одређеним пољима стабилности (Bakker, 2012). Салинитети ових флуидних инклузија су рачунате путем једначина и котектичких линија приказаних у Sterner et al. (1988). Салинитет измерених инклузија је око 43 теж.% NaCl екв.



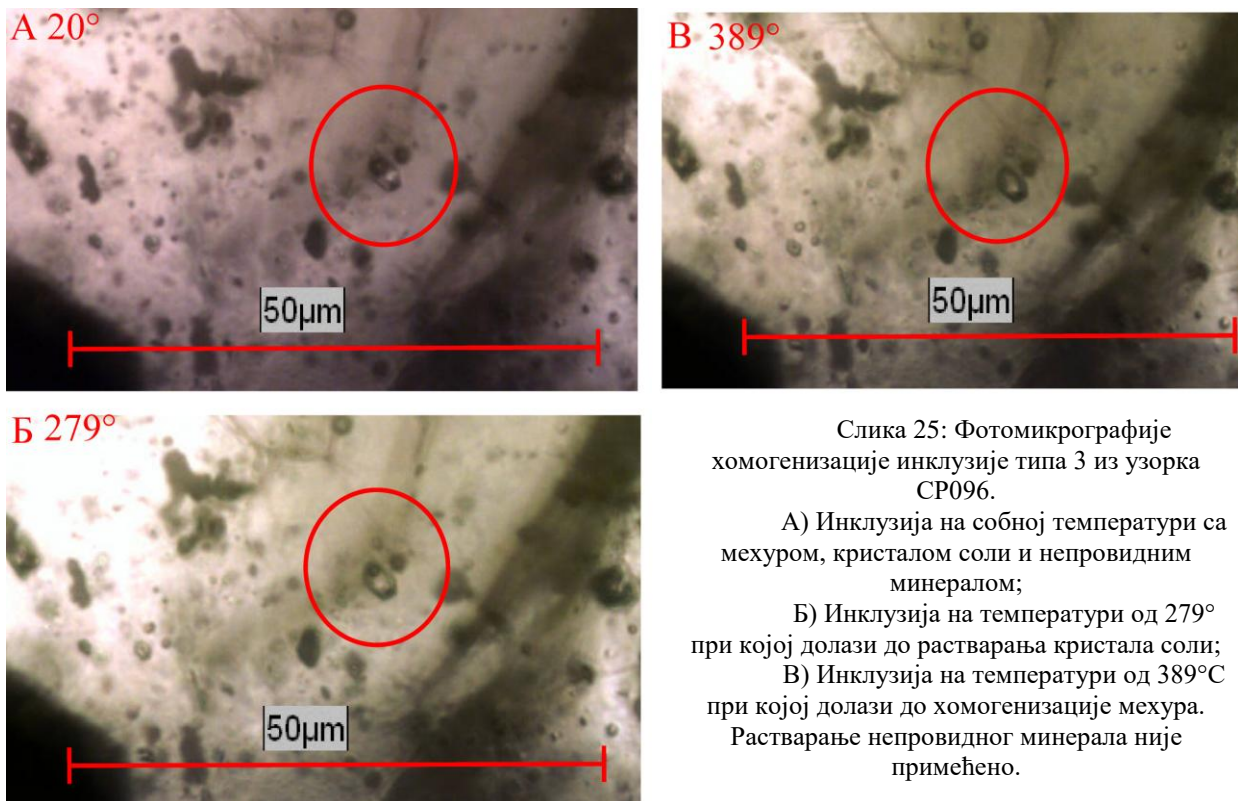
Слика 24: Фотографије хомогенизације инклузија типа 26 из узорка CP105.

- А) Инклузија на собној температури са мехуром, два кристала соли и хематитом;
 Б) Инклузија на температури од 264°C при којој је растворен први кристал соли;
 В) Инклузија на температури од 360°C у којој су растворена оба кристала соли и хематит и преостало је само мехур;
 Г) Инклузија на температури од 414°C при којој је дошло до потпуне хомогенизације.

Температуре хомогенизације инклузија типа 3 варирају између 340 и 490°C, са средњим вредностима око 380°C, док салинитет варира између 28 и 38 теж.% NaCl екв. Мод хомогенизације свих измерених инклузија је: LSV→LV→L (слика 25). Хомогенизација непровидних минерала није примећена, што се може објаснити дифузијом водоника у инклузије, која доводи до смањене растворљивости сулфидних минерала (Mavrogenes & Bodnar, 1994).

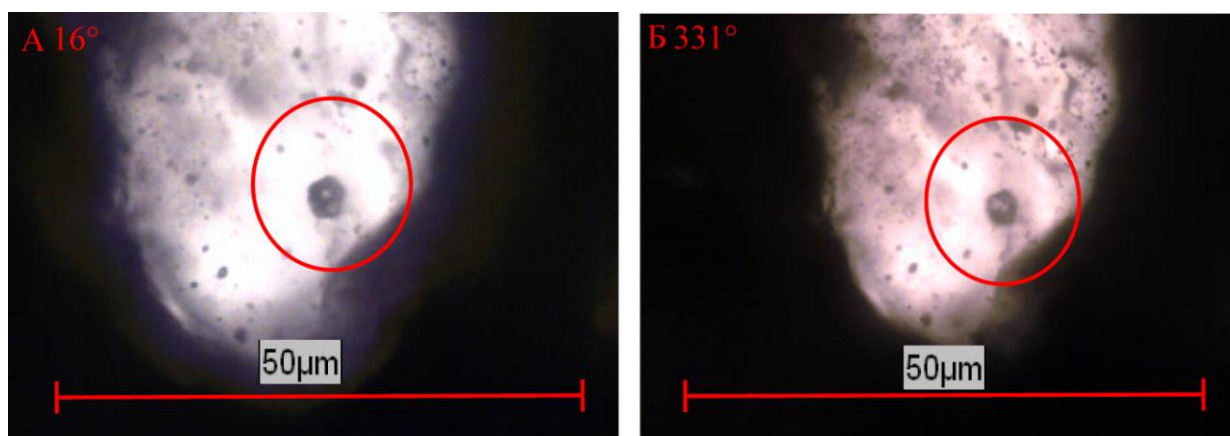
Неке од измерених инклузија типа 4 хомогенизују се стварањем једне гасовите фазе (мод LV→V са температурама хомогенизације 389°C, 428°C и 485°C), док остале измерене

инклузије хомогенизују у течну фазу (мод LV→L) (слика 26). Средња температура хомогенизације је око 390°C. Због релативно мале величине и ниске провидности инклузија, није било могуће извести адекватна мерења топљења леда, тако да није познат њихов тачан салинитет. Пошто ове инклузије не садрже видљиве кристале соли, салинитет је највероватније нижи од 20 теж.% NaCl екв.



Слика 25: Фотомикрографије хомогенизације инклузије типа 3 из узорка CP096.

- А) Инклузија на собној температури са мехуром, кристалом соли и неправидним минералом;
 Б) Инклузија на температури од 279° при којој долази до растварања кристала соли;
 В) Инклузија на температури од 389°C при којој долази до хомогенизације мехура. Растварање неправидног минерала није примећено.



Слика 26: Фотомикрографије хомогенизације инклузије типа 4 из узорка CP096.

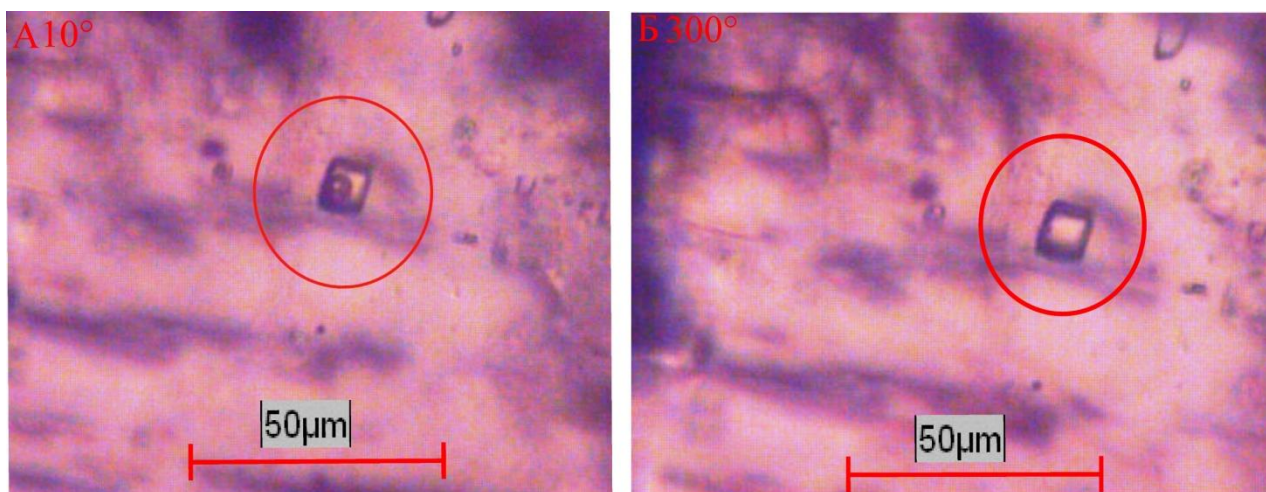
- А) Инклузија на собној температури са гасном фазом (мехуром) који заузима скоро целу запремину инклузије;
 Б) Инклузија на температури од 331°C при којој долази до хомогенизације мехура у водену фазу.

Температуре хомогенизације инклузије типа 5 варирају између 245 и 396°C, са средњом вредношћу око 297°C. Мод хомогенизације за све измерене инклузије је: LV→L (слика 27). Температуре топљења леда варирају између -0,5 и -4,4°C, што указује на салинитет између 0,87 и 7 теж.% NaCl екв. (Bakker, 2018; према једначинама приказаним у

Potter et al., 1978). Већина мерења на анхидриту вршена је само једном, због термалне експанзије анхидрита на високим температурама која може да утиче на тачност мерења температура хомогенизације. Други проблем био је везан за појаву растезања или декрипитација инклузија у случају загревања изнад температура хомогенизације (Vanko & Bach, 2005). Хомогенизација непровидних минерала није примећена.

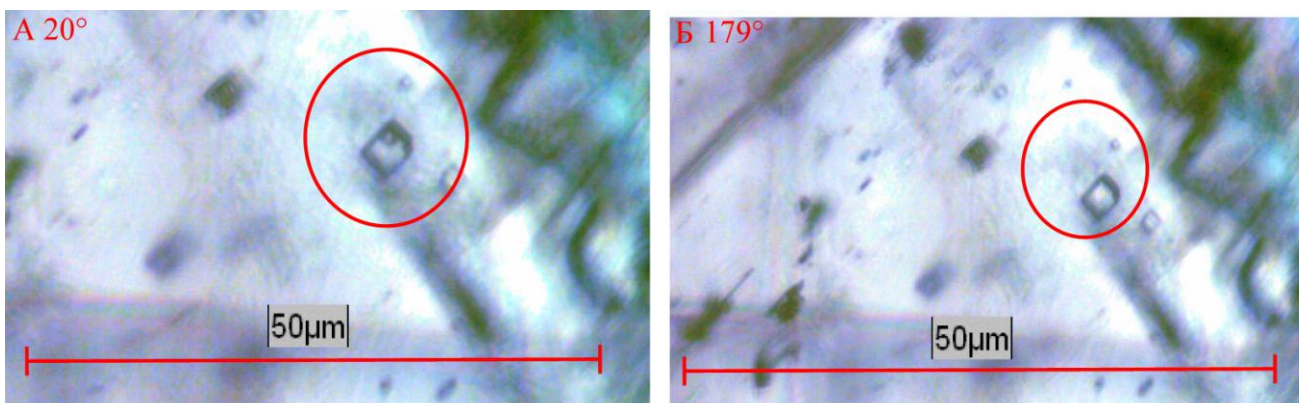
Измерене температуре хомогенизације инклузија типа 6 варирају између 143 и 292°C, са средњом вредношћу око 206°C, њихов мод хомогенизације је: LV→L (слика 28). Салинитет инклузија типа 6 варира између 3 и 7,2 теж.% NaCl екв. Попут инклузија типа 5, и у овом случају мерења су вршена само једном, да би се спречио утицај термалне експанзије анхидрита и растезања инклузија.

Инклузије типа 7 достижу тоталну хомогенизацију на релативно ниским температурама, између 73°C и 161°C, са средњом вредношћу око 117°C (слика 29). Салинитет ових инклузија варира између 4 и 5 теж.% NaCl екв. Хомогенизација непровидних минерала није примећена.



Слика 27: Фотографије хомогенизације инклузије типа 5 из узорка CP069.

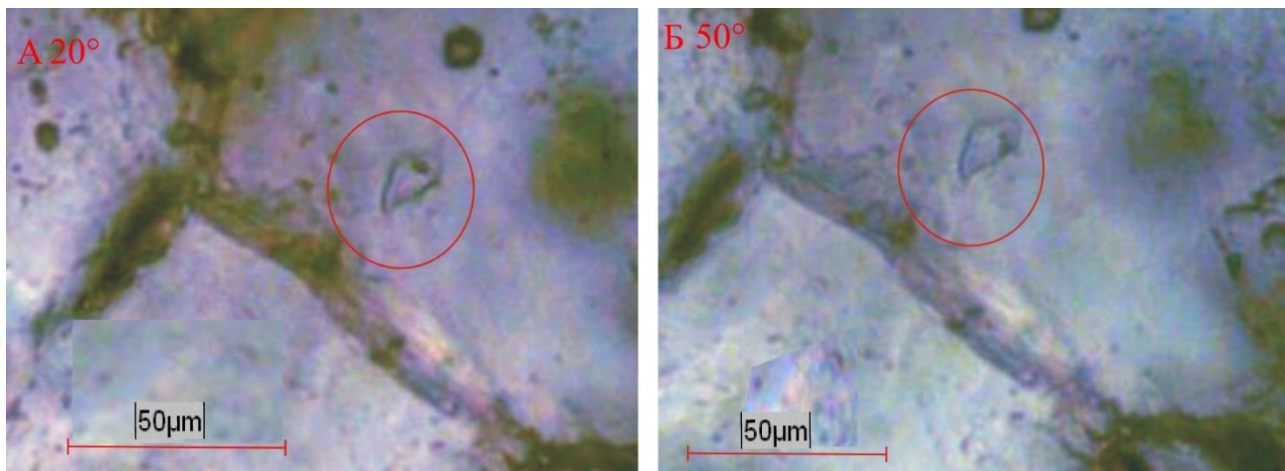
- А) Инклузија на собној температури са течном и гасном фазом (мехуром);
 Б) Инклузија на температури од 300°C при којој долази до хомогенизације мехура у водену фазу.



Слика 28: Фотографије хомогенизације инклузије типа 6 из узорка CP110.

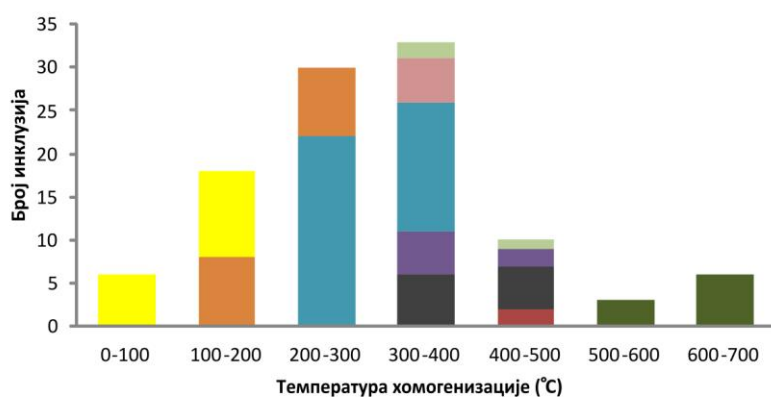
- А) Инклузија на собној температури са течном и гасном фазом (мехуром);
 Б) Инклузија на температури од 179°C при којој долази до хомогенизације мехура у водену фазу.

Дијаграми дистрибуција фреквенције измерених температура хомогенизација и салинитета су приказани на слици 30.

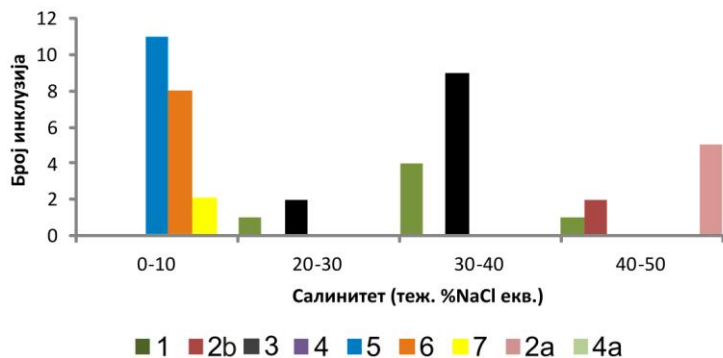


Слика 29: Фотографије хомогенизације инклузије типа 7 из узорка СР141.
 А) Инклузија на собној температури са течном и гасном фазом (мехуром).
 Б) Инклузија на температури од 50°C на којој је мехур потпуно смањен.
 Приказана инклузија је достигла тоталну хомогенизацију на 73°C.

Фреквенције температура хомогенизације



Фреквенције салинитета



Слика 30: Дијаграм дистрибуције фреквенције измерених температура хомогенизације и салинитета различитих типова флуидних инклузија из хидротермалног система Чукару Пеки. Тип 2а на дијаграму се односи на инклузије код којих се тотална хомогенизација врши растварањем соли, док се тип 4а односи на инклузије типа 4 које хомогенизују у гасну фазу.

Табела 7: Анализирани узорци са информацијама о локацији узорка, типу жица, типовима инклузија пронађеном у сваком узорку и просечним температурама хомогенизације и салинитета за измерене инклузије. Код мноштва инклузија, салинитети нису измерени због њихове мале величине.
Скраћенице: Th- температура хомогенизације, Tm- температура топљења (или растварања) чврсте фазе, L- течна фаза, S- чврста фаза, V- гасовита фаза.

Тип жице	Узорци	Типови флуидних инклузија	Мод хомогенизације	Број инклузија које су анализирани	Th (средња вредност± ст. дев.)	Th (минимум)	Th (максимум)	Чврста фаза	Tm (средња вредност)	Салинитет (средња вредност± ст. дев.)
Кварцне жице типа А	CP105, CP106, CP123, CP141, CP143	1	LSV→LV→L	7	580±20,35 (за инклузије код којих је Th< 600)	545,8	>600	халит	268,8	35,6±5,2
		4	LV→V	3	396±20	389	428			
Кварцне жице типа Б	CP089, CP096, CP105, CP106, CP116	2a	LSV→LS→L	5	350±12,8	326	356	халит	350	43±1,2
		2б	LSV→LV→L	2	442±40	414	470	халит	359	43±0,6
		3	LSV→LV→L	11	385±50,3	342	495	халит	278,7	36,5±3,1
		4	LV→L	7	387±26,7	331	413			
		7	LV→L	8	117,5±26,4	69,2	161			
Љубичасте анхидритске жице	CP069, CP108, CP110, CP123	5	LV→L	37	298±37,2	225	396	лед	-2,3	3,87±2,1
		6	LV→L	16	200±41,8	131	291,7	лед	-2,3	3,87±1,5
Наранџасте анхидритске жице	CP108, CP141	7	LV→L	8	89,6±27,3	73	138,5	лед	-2,65	4,4±0,3

Скраћенице: Th-температура хомогенизације; Tm- температура топљења (или растварања)

5.3 ДЕПОНОВАЊЕ РУДНИХ МИНЕРАЛА

5.3.1 Проучавање рудних парагенеза

Током истраживања за потребе овог доктората вршено је микроскопско испитивање рудних парагенеза са циљем проучавања редоследа депоновања минерала у уоченим рудним и пратећим, нерудним жицама у лежишту Чукару Пеки. Детаљан приказ рудномикроскопских описа препарата, на основу којих су изведени закључци о минералном саставу приказан је у извештају о рудномикроскопском прегледу у прилогу доктората.

На основу резултата извршених истраживања, претпостављен је следећи хронолошки редослед депоновања жица у високосулфидационом (масивно-сулфидном) делу лежишта: масивни пирит (Py1) → пиритско-енаргитске (Py-en) жице → пиритско-ковелинске (Py-cov) жице → Py2 жице → калцитско-анхидритске жице → Калцитске жице у Горњим андезитима. Њихове основне карактеристике су следеће:

- 1) Масивни пирит (Py1): У овом типу жица ситнозрни пирит замењује већину стенске масе у високосулфидационој зони. Његовом депоновању је вероватно претходила напредна аргилитска алтерација читаве Горње зоне и депоновање велике количине силиције са алунином.
- 2) Пиритско-енаргитске (Py-en) жице: Сви анализирани препарати узорака пиритско-енаргитских жица садрже доста измешаног пирита и енаргита и пуно кварца и алунита. Ковелин присутан у овим узорцима је део касније фазе, јер је у пукотинама или испуњава простор око пиритских зрна.
- 3) Пиритско-ковелинске (Py-cov) жице: Овај тип рудних жица је најзаступљенији у горњој, високосулфидационој зони лежишта. Садрже највећу количину ковелина и енаргита. Неке анализирание жице садрже само ковелин, а друге ковелин у асоцијацији са енаргитом и пиритом. Микроскопска испитивања руда показују да је колоформни пирит чест у овом типу жица, што вероватно указује на на брзо хлађење хидротермалних флуида. Ове жице генерално имају промене у саставу у смеру од њихових ободних делова ка централним деловима (колоформни пирит + енаргит) до центра жице (ковелин + бели гипс).
- 4) Py2 жице: Овај тип рудних жица је редак. У општем случају, пресецају пиритско-ковелинске жице. Садрже ситозрни пирит и кварц. Вероватно су настале од преосталих флуида након депоновања главног дела минерализације.
- 5) Жице са колоформним маркаситом: Садрже коломорфни маркасит, арсенопирит и коломорфни сфалерит у виду кругова у маркаситу.
- 6) Калцитско-анхидритске жице: За разлику од других анализираних жица, ове жице садрже калцит, сулфате и фосфате (анхидрит, целестин, апатит). Доминантно се налазе у ободним деловима лежишта.
- 7) Калцитске жице у Горњим андезитима: Ове жице су настале после минерализације у неалтерисаним тзв. горњим андезитима.

Редослед депоновања минерала у Горњој зони лежишта је приказан у табели 8:

У порфирском, штокверкно-импрегнационом делу хидротермалног рудоносног система Чукару Пеки, такође је издвојено више типова рудних жица. Оне се, генерално, поклапају са моделом жица у порфирским лежиштима бакра издвојеним од стране Sillitoe (2010). Из поменутог разлога, у тези су приказане сагласно називима те класификације.

Табела 8: Редослед депоновања минерала у главним стадијумима у високосулфидационом делу лежишта Чукару Пеки. Пуна линија представља главне, а испрекидана линија пратеће минерале у датим стадијумима.

	Py1 стадијум	Py-en стадијум	Py-cov стадијум	Py2 стадијум	Маркаситске жице
Пирит	—	—	—	—	
Кварц	—	—	—	—	
Енаргит		—	—		
Ковелин			—		
Гипс				—	
Лузонит		—	—		
Колузит			—		
Рутил	—				
Алунит	—				
Маркасит					—
Арсенопирит					—
Сфалерит					—

Скраћенице: Py- пирит; Cov- ковелин; En- енаргит

Хронолошки редослед депоновања жица у порфирском систему је следећи:

- 1) Кварцне жице типа А: У основи су то вијугаве, високотемпературне кварцне жице. У њима нису уочени рудни минерали.
- 2) Кварцне жице типа Б: У лежишту граде штокверкни (мрежасти) тип орудњења. Преовлађују у раним диоритима. У централним деловима жица је присутан халкопирит који је и главни рудни минерал; праћен је борнитом и пиритом. У рудним жицама су испитивањима на СЕМ уређају, детектована и зрна злата и електрума малих димензија.
- 3) Пиритске жице (тип Д): Ове жице се састоје од великих, међусобно повезаних зрна пирита, праћених мањом количином халкопирита, борнита и рутила. Око њих је развијена хлоритска фација алтерације.
- 4) Магнетитске жице (тип М): Преовлађују у дубљим деловима порфирског система. Главни минерали у њима су магнетит и хематит, праћени пиритом и халкопиритом. Магнетит је често делимично конвертован у хематит, што указује на то да је мартитизација била раширен процес.
- 5) Љубичасте анхидритске жице: Овај тип жица је чест у диоритима, као и андезитима изнад њих. Пирит је главни минерал; праћен је мањом количином халкопирита, ковелина, борнита и халкопирита.
- 6) Сулфидне жице: Главни рудни минерали у сулфидним рудним жицама су пирит и ковелин. Главни нерудни минерали су анхидрит и алтерисана глина (вероватно каолинит).

7) Наранцасте анхидритске жице: Јасно се разликују од љубичастих анхидритних жица. Млађе су по времену формирања и имају веће кристале анхидрита. Не садрже рудне минерале.

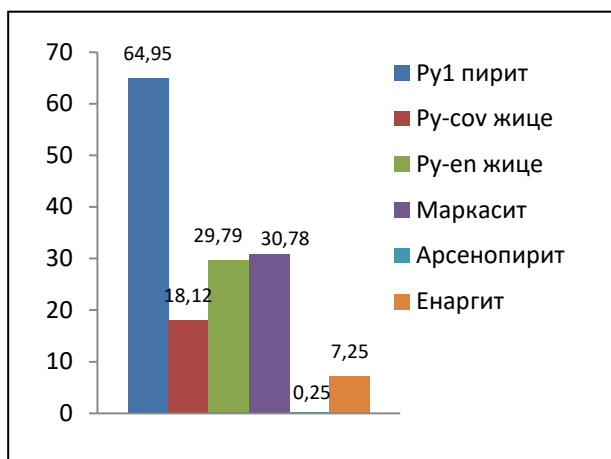
5.3.2 Изучавање дистрибуције микроелемената у рудним минералима помоћу ласерске аблације (LA-ICP-MS)

Резултати мерења микроелемената су приказани на табелама п4 у прилогу. Сумирани резултати мерења су приказани у Velojić & Erlandsson (2019).

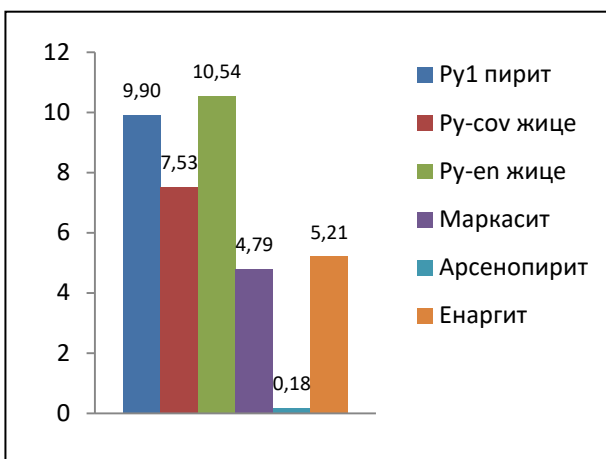
Горња (високосулфидациона) зона

У дијаграмима које следе, приказане су просечне концентрације микроелемената у различитим сулфидним минералима из рудних жица горње високосулфидационе, масивно-сулфидне зоне лежишта Чукару Пеки. Анализирани су садржаји више елемената (Ni, Co, Pb, Au, Ag, Mn, Sb, Ge) у пириту из различитих генерација жица (py1 пирит, py-en жице, py-cov жице), маркаситу и арсенопириту из маркаситских жица и енаргиту из py-en жица.

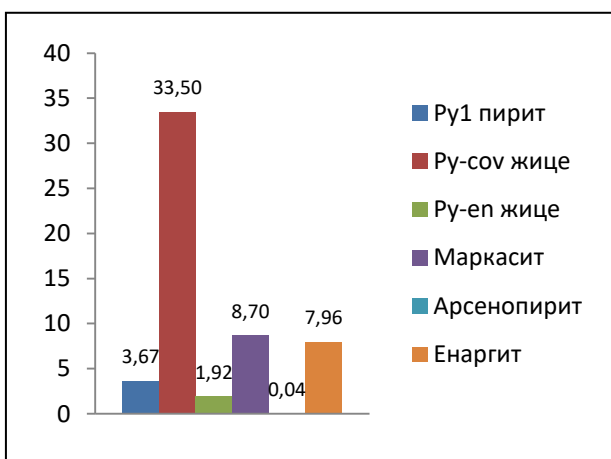
Pу1 пирит садржи више кобалта од других анализираних сулфида и повишене концентрације никла (слика 31 и 32).



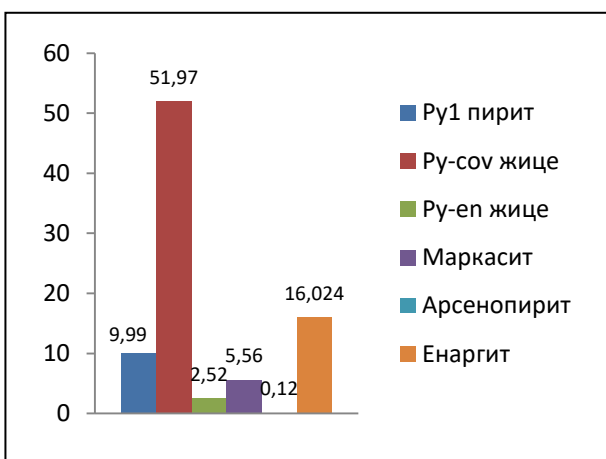
Слика 31: Просечне концентрације кобалта (ppm) у различитим сулфидним минералима.



Слика 32: Просечне концентрације никла (ppm) у различитим сулфидним минералима.



Слика 33: Просечне концентрације злата (ppm) у различитим сулфидним минералима.

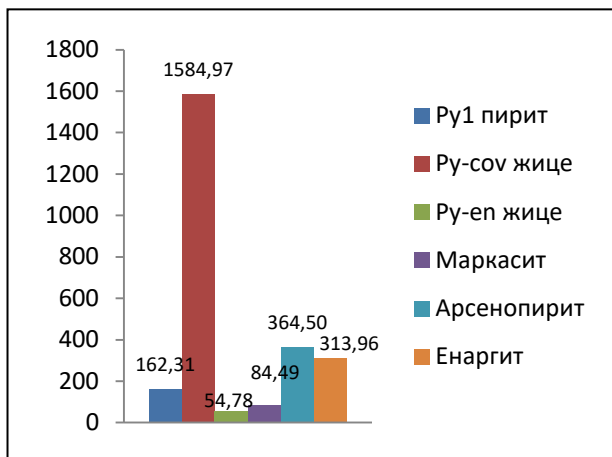


Слика 34: Просечне концентрације сребра (ppm) у различитим сулфидним минералима.

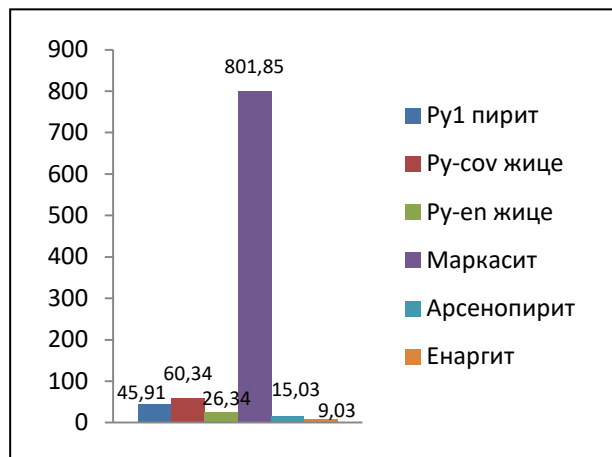
Пирит из ру-еп жица. Са слика 31 и 32 се уочава да ова врста пирита садржи повишени садржај никла и благо повишене концентрације кобалта.

Пирит из ру-сов жица садржи повишене концентрације олова, али и знатно више концентрације злата и сребра у односу на све друге анализиране сулфиде (слике 33, 34 и 35).

Маркасит је присутан само у касним коломорфним жицама; често је у асоцијацији са арсенопиритом. Садржи повишене садржаје мангана и благо повишен садржај кобалта (слика 36 и слика 31).



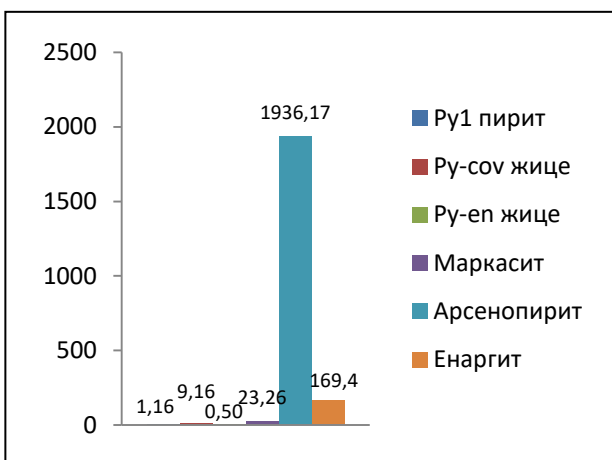
Слика 35: Просечне концентрације олова (ppm) у различитим сулфидним минералима.



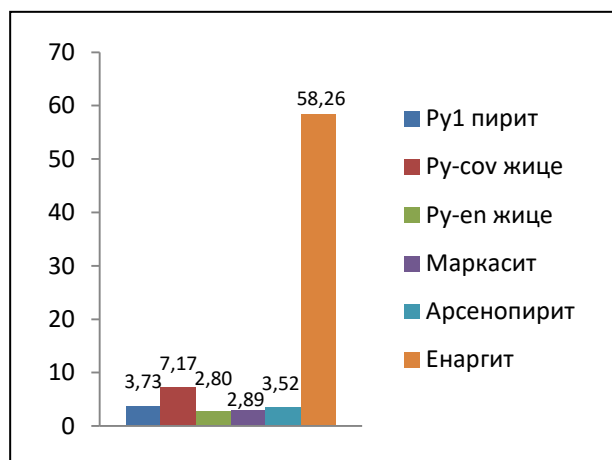
Слика 36: Просечне концентрације мангана (ppm) у различитим сулфидним минералима.

Арсенопирит. Спроведеним истраживањима је констатовано да арсенопирит садржи повишене концентрације антимаона, значајно више у односу на друге анализиране минерале из групе сулфида (слика 37).

Енаргит је чест минерал у ру-еп и ру-сов жицама. Испитивањима је доказано да садржи више германијума у односу на друге сулфиде (слика 38).



Слика 37: Просечне концентрације антимаона (ppm) у различитим сулфидним минералима.



Слика 38: Просечне концентрације германијума (ppm) у различитим сулфидним минералима.

Доња (порфирска) зона

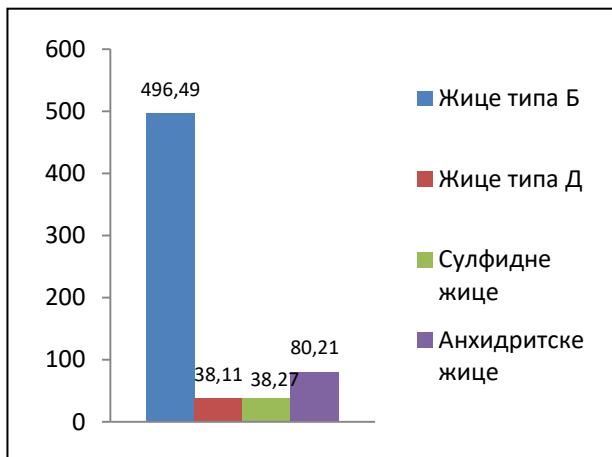
У дијаграмима које следе, приказане су просечне концентрације микроелемената у различитим сулфидним минералима из рудних жица порфирске зоне лежишта Чукару Пеки. Анализирани су садржаји више елемената (Cu, Se, Co) у пириту из различитих генерација жица (кварцне жице типа Б, пиритске жице типа Д, сулфидне жице и љубичасте анхидритске жице).

Жице типа Б. Резултати анализа указују да пирит у овим жицама садржи више селена и кобалта у односу на друге жице (слика 39 и слика 41).

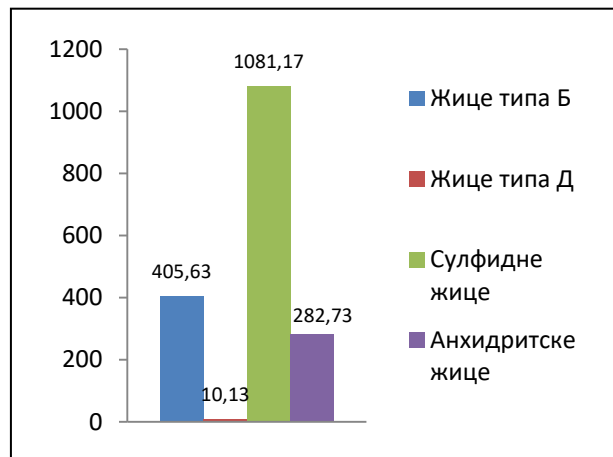
Жице типа Д садрже пирит који је без значајнијих примеса микроелемената.

Сулфидне жице садрже пирит у коме су измерени виши садржаји бакра у односу на остале пирите из осталих рудних жица (слика 40).

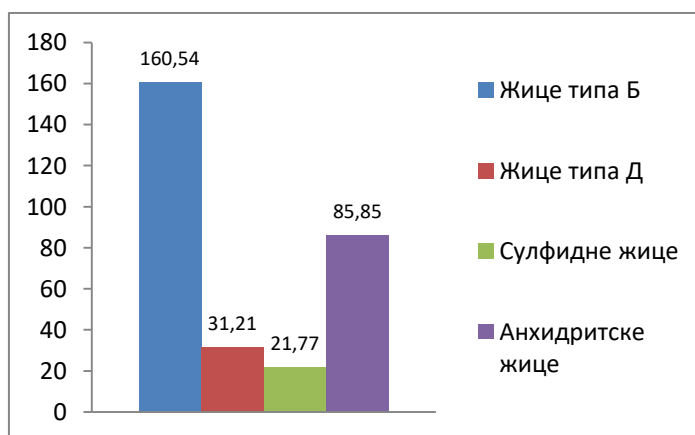
Љубичасте анхидритске жице су носиоци пирита који садржи концентрације кобалта, али у концентрацији која је нижа у односу на жице типа Б (слика 41).



Слика 39: Просечне концентрације селена (ppm) у пириту из различитих жица.



Слика 40: Просечне концентрације бакра (ppm) у пириту из различитих жица.



Слика 41: Просечне концентрације кобалта у пириту из различитих жица.

5.4 ПРАТЕЋЕ ПОЈАВЕ ДЕПОНОВАЊА РУДНЕ МИНЕРАЛИЗАЦИЈЕ

Генерално је прихваћено да су хидротермалне алтерације једна од маркантних пратећих појава порфирских лежишта и да су зонално распоређене око рудоносног интрузива. Sillitoe (2010) наводи да се фације хидротермалних алтерација у порфирским системима смењују по следећем распореду (идући од магматског интрузива ка ободу лежишта): 1) калијска алтерација, 2) хлоритско-серицитска алтерација, 3) серицитска алтерација и 4) напредна аргилитска алтерација.

Поред поменутих фација алтерација, у вези са порфирским системима се могу наћи и други типови, као што су: натријско-калцијска, аргилитска, пропилитска, грајзенска и скарновска (John et al., 2010). Карактеристични типови хидротермалних алтерација у лежиштима бабра Борске металогенетске зоне, као и одговарајуће хемијске реакције којима се објашњавају измене примарних петрогених минерала новим минералима, а које су прихваћене у овом раду, детаљно су приказане у Gržetić (1996).

Распоред алтерација и врсте присутних алтерационих минерала могу значајно да варирају у порфирским лежиштима, јер је њихово депонување зависно од многобројних фактора: температуре раствора, њиховог хемијског састава, концентрација различитих елемената, састава околних стена, брзине реакције, трајања хидротермалне активности и пермеабилности стена (Browne, 1978; Corbett & Leach, 1998). Такође, треба напоменути да је препознавање алтерација често отежано уколико у истој зони дође до маскирања раније створених алтерација минералима каснијих хидротермалних промена.

У табели 9 приказане су фације хидротермалних алтерација са минералним парагенезама у порфирском лежишту Елаците у Бугарској. Ове фације алтерација се генерално могу применити и на друге сличне порфирске системе.

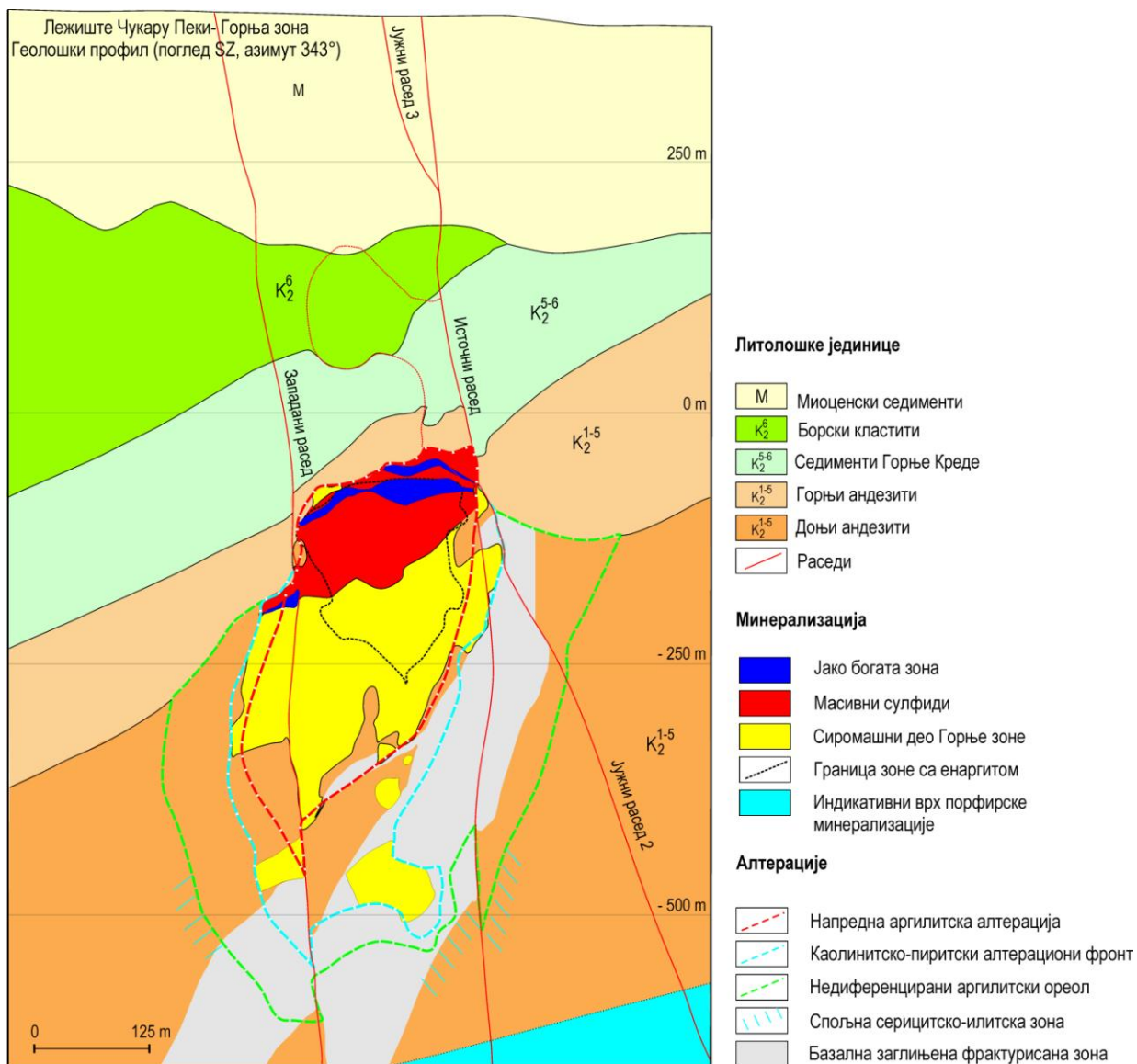
Табела 9: Фације хидротермалних алтерација у порфирском лежишту Елаците (модификовано из Kanazirski et al., 2002; Georgiev, 2019).

Врста алтерације	Минерална парагенеза	Пратећа рудна минерализација
Калијска	1) Kfs + Bt + Qtz + Il + Ab + Cal + Mgt 2) Kfs + Chl + Qtz + Il + Ab + Mgt	Пирит, халкопирит, борнит, магнетит
Прелазна калијско-серицитска	1) Chl + Ab + Qtz + Il + Py 2) Chl + Qtz + Il + Py	Пирит, халкопирит
Серицитска	Il + Qtz + Py	Пирит и редак халкопирит
Аргилитска	Cly + Ser	
Пропилитска (хлоритизација)	1) Ep + (Act) + Ab + Qtz + Cal 2) Ep + Chl + Ab + Qtz + Cal + Prh	Местимично пирит, халкопирит, хематит
Натријско-калцијска	1) Kfs + Bt + Qtz + Act + (Cal) + Ap + Ttn 2) Kfs + Bt + Px + Qtz + Ap + Ttn	

Скраћенице: Ab-албит, Act- актинолит, Bt-биотит, Cal- калцит, Chl- хлорит, Cly- глина, Ep- епидот, Il-илит, Kfs- калијски фелдспат, Mgt- магнетит, Prh- прехнит, Px- пироксен, Qtz- кварц, Ser- серицит, Ttn- титанит

У току истраживања за потребе овог доктората, геолошким картирањем истражних бушотина уочено је више врста минерализације у различитим деловима хидротермалног система Чукару Пеки (слика 42). Поред макроскопског картирања, алтерације су одређене и

на основу идентификовања минерала глина помоћу уређаја Teraspec, као и микроскопском анализом. Пошто су препарати за пропуштenu светлост израђени за потребе анализе флуидних инклузија, они имају знатно већу дебљину од стандардних петролошких препарата. Због тога алтерациони минерали на фотомикрографијама немају све оптичке особине које се иначе могу приметити у пропуштеној светлости.

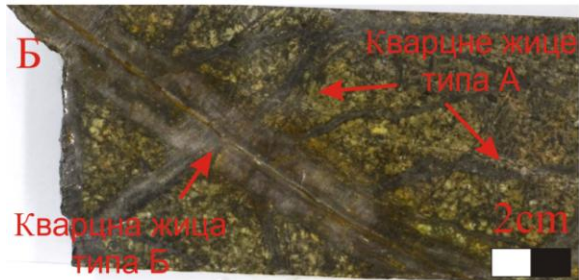
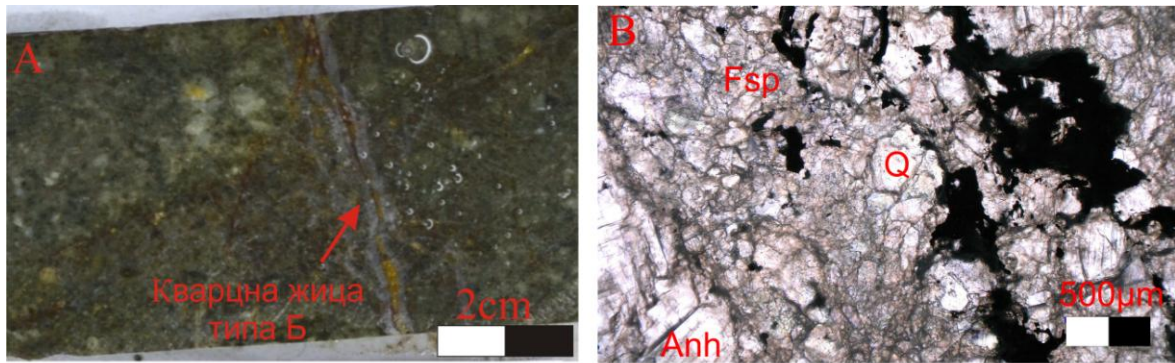


Слика 42: Просторни распоред хидротермалних алтерација у горњој зони хидротермалног система Чукару Пеки, модификовано из Бугарин и Маринковић (2018).

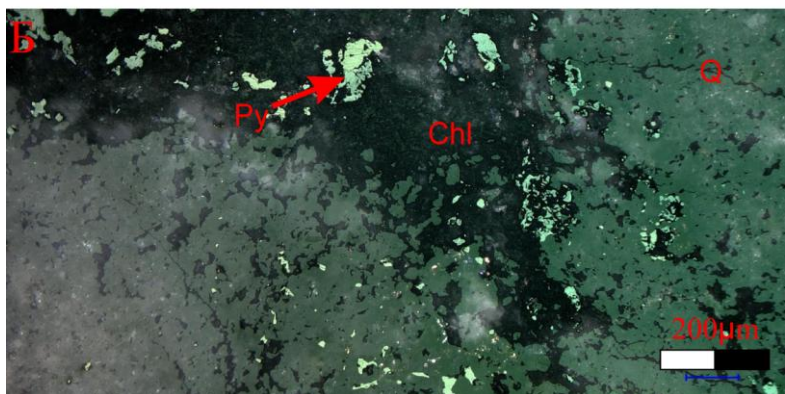
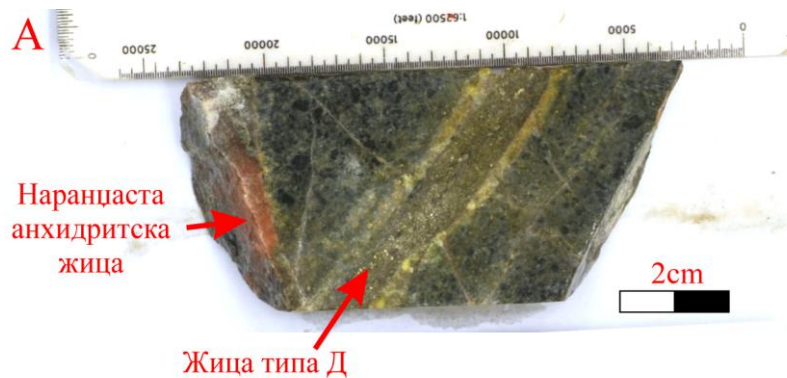
Карактеристике издвојених типова алтерација су следеће:

1) Калијска алтерација се обично манифестује заменом фелсичних минерала калијским фелдспатом, а мафичних минерала биотитом, с тим да се као пратећи минерали могу јавити и магнетит, анхидрит, молибденит и калцит (John et al., 2010).

У хидротермалним систему Чукару Пеки, овај тип алтерације је карактеристичан за кварцне и магнетитске жице у порфирском делу система. Обично покрива читаву стенску масу и препознаје се промењеном бојом стена и присуством К-фелдспата (слика 43).



Слика 43: Примери калијске алтерације из порфирског дела система Чукару Пеки.
 А) Калијска алтерација везана за кварцну жицу типа Б, FMTC1327 1246,5 m;
 Б) Калијска алтерација око кварцних жица типа А и Б, FMTC1327 953,7 m
 В) Фотографија (пропуштена светлост) калијске алтерације везане за кварцне жице TC160125 1622,5 m.
 Легенда: Q-кварц, Fsp-калијски фелдспат, Anh-анхидрит.



Слика 44: Примери хлоритске алтерације из порфирског дела система Чукару Пеки.
 А) Стена захваћена хлоритском алтерацијом (тамнозелене боје) која садржи жицу типа Д око које је ореол серицитске алтерације, FMTC1328 1581,5 m;
 Б) Фотографија (одбијена светлост, укрштени николи) на којој су приказани кварц, алтерациони хлорит и ситни кристали пирита FMTC1327 1195,5 m.
 Легенда: Q-кварц, Chl-хлорит, Py-пирит.

2) Хлоритизација се карактерише тамно-зеленом бојом стена, која је узрокована присуством хлорита који замењује мафичне минерале. Магнетит прелази у хематит, док се плагиокласи замењују серицитом или илитом. (Sillitoe, 2010).

У хидротермалним систему Чукару Пеки, хлоритизација је обично везана за сулфидне жице и анхидритске жице у порфирском систему. Обично покрива читаву стенску масу и препознаје се по карактеристичној тамнозеленој боји (слика 44).

3) Серицитизација се манифестује заменом мафичних и фелзичних минерала ситнозрним лискуном (серицитом) и кварцом, који су обично праћени импрегнацијама пирита, рутила и хематита (John et al., 2010). У порфирским системима, овај тип алтерације често маскира продукте претходних алтерација (калијске и хлоритске алтерације) (Sillitoe, 2010).

У хидротермалним систему Чукару Пеки, фазија серицитске алтерације је распрострањена у порфирском систему и у прелазној, епитермалној зони. Макроскопски се у језгру истражних бушотина испољава у виду промене боје стена (жуто-сива) и присуством ситнозрног серицита. Местимично захвата читаву стену (слика 45А), а често и као алтерацијски ореол око анхидритских, пиритских или сулфидних жица (слика 45Б).



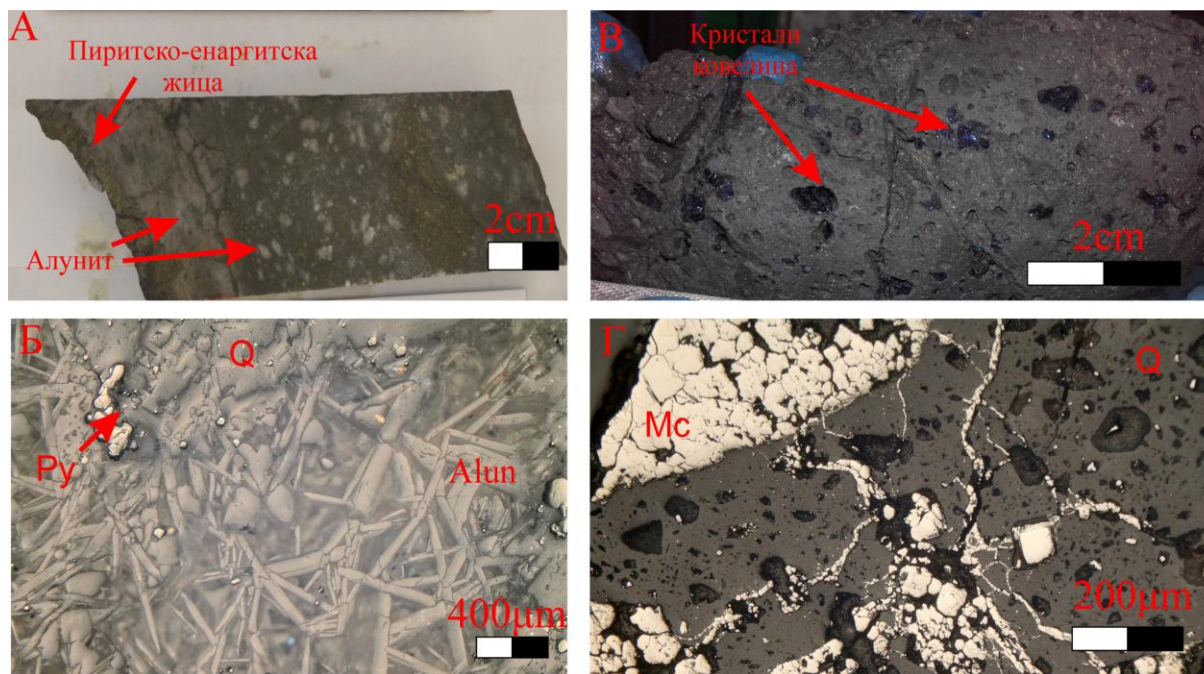
Слика 45: Примери серицитске алтерације из хидротермалног система Чукару Пеки.
 А) Стена захваћена серицитском алтерацијом (жуто-сиве боје) која садржи љубичасту анхидритску жицу, FMTC1328 1139,7 m;
 Б) Сиви хало серицитске алтерације око танке љубичасте анхидритске жице FMTC1330 1085,2m.
 В) Фотомикрографија (пропуштена светлост) на којој је приказано зрно плагиокласа алтерисано у серицит поред анхидритске жице FMTC1328 1117 m
 Легенда: Ser-серицит, Anh-анхидрит.

4) Напредна аргилитска алтерација представља вид хидротермалне измене који настаје под утицајем киселих хидротермалних раствора на основну стенку масу. У овом типу алтерације је обично могуће издвојити две зоне:

1. Зону шупљикаве силиције (енгл. *Vuggy-silica*) у којој је дошло до излуживања свих компоненти из стене, осим силиције. Ова интензивна алтерација се углавном одвија у случајевима када је рН хидротермалног раствора ≤ 2 на температурама нижим од 250°C (Arribas, 1995).

2. Кварц-алунитска зона у којој су главни минерали кварц и алунит, са мањим уделом серицита, илита и каолинита. Обично се налази у просторима око шупљикаве силиције. Указује на дејство флуида чији је рН између 2 и 3, код којих долази до постепене неутрализације (Corbett & Leach, 1998).

У хидротермалним систему Чукару Пеки, овај тип алтерације је карактеристичан за целу горњу зону (високосулфидациони део лежишта). Ова врста алтерације углавном прекрива читаву стенску масу, мада се понекад јавља интензивније уз пиритско-ковелинске или пиритско-енергитске жице (слика 45А). Препознаје се по силификованој стени, присуству ружичастог алунита или шупљина из којих су излужени минерали (слика 45В).



Слика 46: Примери напредне аргилитске алтерације из високосулфидационог дела система Чукару Пеки.

- А) Стена захваћена напредном аргилитском алтерацијом са алунитом која садржи пиритско-енергитску жицу, FMTC1327 811,6 m;
 Б) Фотомикрографија (одбијена светлост) на којој су приказани игличасти кристали алунита око кварца и ситни кристали пирита, TC160125 795,8 m;
 В) Алтерисана стена у зони шупљикаве силиције (vuggy silica) са каснијим кристалима ковелина депонованим у шупљинама, TC150096 480 m;
 Г) Фотомикрографија шупљикаве силиције коју пресецају касније марказитске жице, FMTC1328 582,5m;
 Легенда: Q-кварц, Alun-алунит, Py-пирит, Mc- марказит.

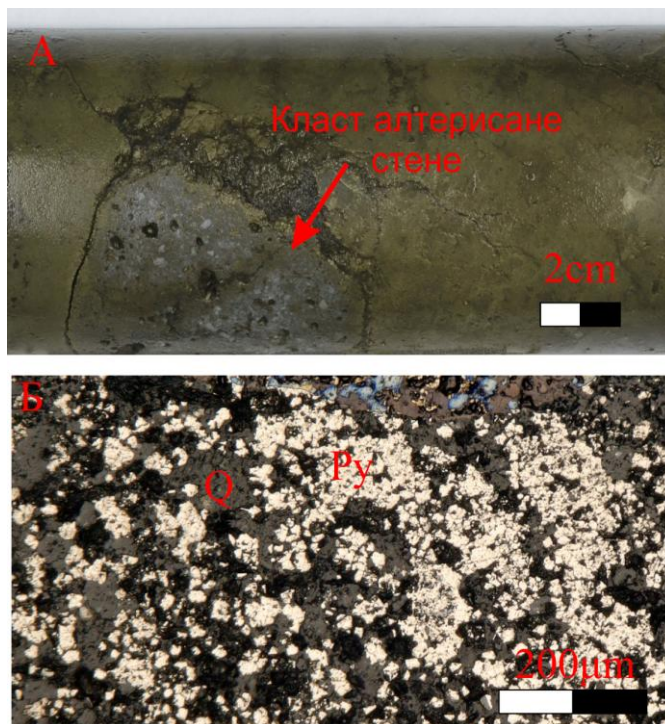
5) Пиритизација је тип алтерације у којој пирит замењује петрогене минерале. Његово присуство је уочено у многим високосулфидационим лежиштима бакура. У њима се депонује у виду веће количине ситнозрног пирита који прекирва читаву стенску масу, а обично се депонује након напредне аргилитске алтерације (Corbett & Leach, 1998). Поред гвожђа присутног у раствору, део гвожђа за формирање пирита настаје и растварањем петрогених минерала.

У хидротермалним систему Чукару Пеки, пиритизација као вид хидротермалне измене је карактеристична за масивне сулфиде из високосулфидационог дела лежишта. Лако се препознаје по томе што је читаву стенску масу замењена ситнозрним пиритом (слика 47).

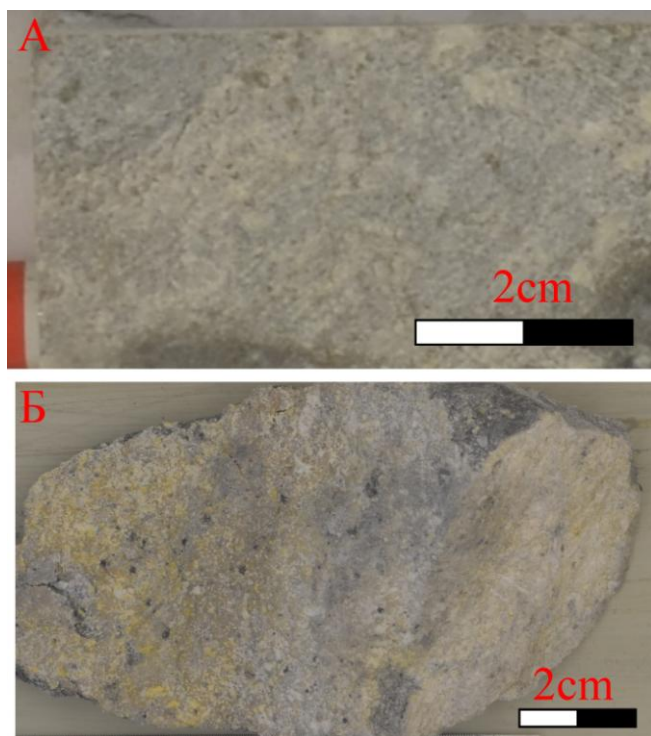
б) Аргилитска алтерација представља тип хидротермалне алтерације околних стена рудне минерализације за који је карактеристична замена петрогених минерала стена минералима глина из групе каолина, илита или смектита (John et al., 2010).

У хидротермалним систему Чукару Пеки, овај тип алтерације је највише распрострањен у прелазној епитермалној зони, где се јавља уз гипсне и анхидритске жице. Обично покрива

читаву стенску масу и препознаје се по промени боје стена у бело-сиву и по мекоћи стена (слика 48).



Слика 47: Примери пиритизације из високосулфидационог дела система Чукару Пеки.
 А) Стена захваћена пиритизацијом са кластом стене алтерисане напредном аргилитском алтерацијом, TC140053 489,5 m;
 Б) Фотомикрографија (одбијена светлост) на којој су приказани кристали ситнозрног пирита који прекривају алтерисану стену TC150062 7598m.
 Легенда: Q-кварц, Py-пирит.



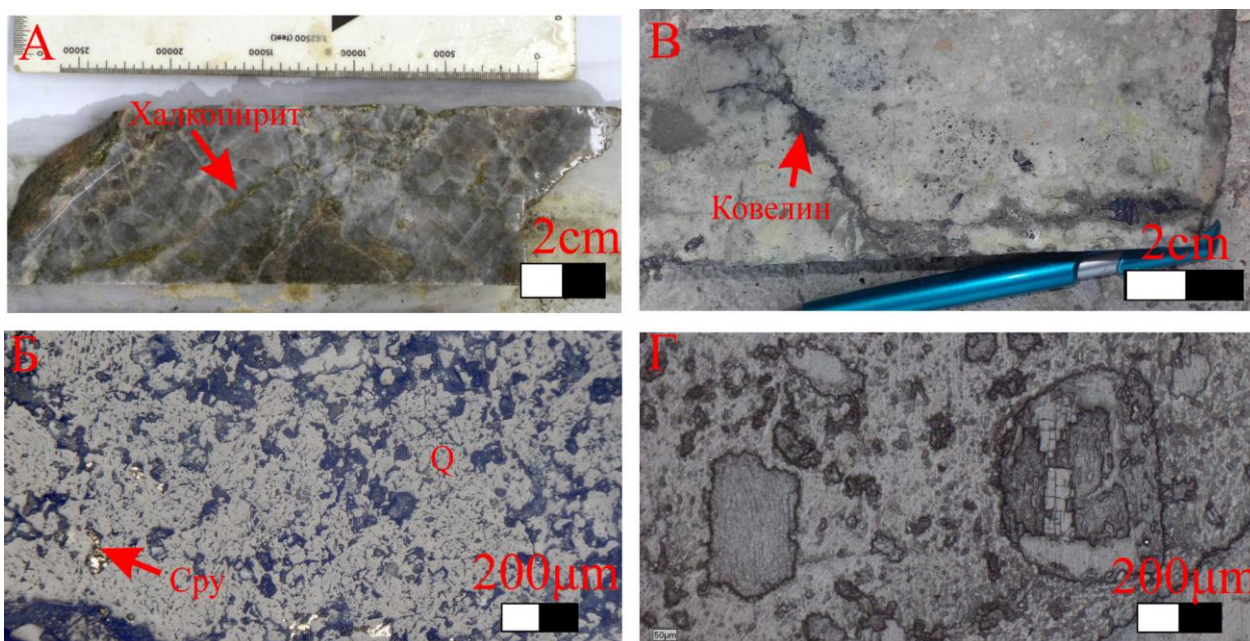
Слика 48: Примери аргилитске алтерације из прелазног епитермалног дела система Чукару Пеки.

А) Стена захваћена аргилитском алтерацијом, пошто је стена беле боје, вероватно је главни минерал каолинит FMTC1330 944,7 m;

Б) Стена захваћена аргилитском алтерацијом, у којој је поред каолинита присутан и монтморионит (жуте боје), TC140053 721,7 m.

7) Силификација је хидротермална промена која се испољава у виду замене петрогених минерала стена SiO_2 минералима, тј. кварцом и калцедоном. Један од њених видова је већ поменути кварцно-алунитски тип напредне аргилитске алтерације током које долази до депоновања велике количине калцедона. Депоновање силицијских минерала је и честа пратећа појава других алтерација у порфирским системима, код којих долази до издвајања силиције (као што су хлоритска и серицитска алтерација).

У хидротермалним систему Чукару Пеки, силификација је пратећа појава већине алтерација у Горњој и Доњој зони система Чукару Пеки. Углавном захвата читаву стенску масу и препознаје се по промењеној боји и чврстини стене (слика 49).



Слика 49: Примери силификације из порфирског и високосулфидационог дела система Чукару Пеки.

- А) Стена захваћена силификацијом у порфирском делу лежишта, са халкопитиском жицом, TC160125, 1693,2 m;
- Б) Фотомикрографија (одбијена светлост) на којој је приказана силификована стена са ситним кристалима халкопирита, TC160125, 1622,5 m;
- В) Силификована стена у високосулфидационом делу система са млађом ковелинском жицом TC150096, 823,5 m;
- Г) Фотомикрографија силификоване стене са очуваним обликом алтерисаних фенокрстала TC150061, 735,2 m;

Легенда: Q-кварц, Сру-халкопирит.

6. ДИСКУСИЈА

У овом поглављу се разматрају резултати извршених анализа и њихове импликације на генетски модел хидротермалног система Чукару Пеки. Такође се разматрају и делови генетског модела лежишта за које, у оквиру ове студије, нису извршене адекватне анализе, али се одређени закључци о њима могу донети на основу аналогije са другим лежиштима сличних карактеристика (првенствено лежиштем бакра и злата Бор). Нека од отворених питања за чије прецизније решавање је потребно урадити додатне анализе су:

- Порекло вода, путем изотопске анализе кисеоника и водоника у алтерационим минералима; на жалост, у време израде доктората, ова мерења није било могуће спровести у доступним домаћим и иностраним лабораторијама.
- Прецизније дефинисање геохемијског резервоара из којег је формиран магматски интрузив са системом Чукару Пеки. Одговор на ово питање је могуће добити путем анализе изотопа олова и сумпора. Као и у претходном случају, ова врста анализа није била могућа у доступним лабораторијама.
- Мобилизација и транспорт рудних компоненти се могу боље дефинисати путем физичко-хемијских и термодинамичких моделовања хидротермалних система. За ову врсту испитивања су недостајали одговарајући софтверски алати.
- Физичко-хемијске карактеристике флуида у високосулфидационој зони система Чукару Пеки се могу испитивати коришћењем инфрацрвене микроскопије. Ова метода је испробана у Лабораторији за флуидне инклузије у Леобену, али због недовољне провидности минерала није дала адекватне резултате, и није укључена у докторат.
- Одредба чврстих минералних фаза у флуидним инклузијама захтева коришћење раман спектроскопије или ласерске аблације. Раман спектроскопија је током израде дисертације вршена на неколико узорака. Њена ширија примена, на жалост није била могућа, као ни анализа флуидних инклузија ласерском аблацијом.
- Приказани садржаји германијума и других микроелемената у енаргиту су базирани на основу неколико мерења извршених помоћу ласерске аблације. Није било могуће извршити више мерења, због тога што арсен из енаргита испарава током аблације и прави сметње у детекторима. Овај проблем је могуће превазићи мерењима другим методама које нису осетљиве на присуство арсена, попут електронске микроанализе.

6.1 Порекло магматског интрузива

6.1.1 Концентрације елемената ретких земаља у стенама

Слично ранијим анализама спроведеним на стенама из Тимочког магматског комплекса (Kolb et al., 2013; Gallhofer et al., 2015), анализе приказане у овој студији указују да поједини узорци вулканских стена из система Чукару Пеки имају адакитски карактер (слика 13а, 13б, 14А, 14В). Richards & Kerrich (2007) сматрају да адакитске стене имају следећи хемијски састав: ≥ 56 теж.% SiO₂, ≥ 15 теж.% Al₂O₃, < 3 теж.% MgO, ≥ 400 ppm Sr, ≤ 18 ppm Y, $\leq 1,9$ ppm Yb, ≥ 20 ppm Ni, ≥ 30 ppm Cr, Sr/Y ≥ 20 и La/Yb ≥ 20 . Једна од карактеристика ових стена је осиромашење у концентрацијама средње тешких елемената ретких земаља (MREE) и тешких елемената ретких земаља (HREE). По неким ауторима, овакве геохемијске карактеристике указују на процесе стапања субдуковане литосфере и стварања примарних адакитских магми (Defant & Drummond, 1990; Castillo, 2012). Један број аутора, међутим, сматра да ово

осиромашење настаје диференцијацијом калко-алкалних магми путем фракционисања амфибола и/или граната под високим притисцима, будући да ови минерали у кристалну структуру укључују MREE (амфибол) и HREE (гранат) елементе (Davidson et al., 2007; Castillo, 2012). Kolb et al. (2013) сматрају да постоје значајни геолошки докази да је у магматском огњишту Тимочког магматског комплекса дошло до фракционисања амфибола, а не фракционисања граната.

На дијаграму односа Dy/Yb vs SiO₂ (слика 14C) примећује се да анализирани узорци указују на генерални тренд смањења односа Dy/Yb са порастом садржаја SiO₂, што указује да је фракционација амфибола могла бити значајна карактеристика процеса фракционације (Davidson et al., 2007; Gallhofer et al., 2015).

За потребе издвајања магматских комплекса у којима се десило засићење сулфидима, у докторату је коришћен дијаграм односа Ni и Sc према Halley (2020). У примени овог дијаграма се полази од претпоставке да се у магматским растопима у којима је дошло до засићења сулфидима формира моносулфидни раствор са значајним количинама Ni и Co. Претходно утиче на смањење концентрације никла у преосталом силикатном растопу и смањени однос Ni у односу на корелациону линију са Sc, која представља однос концентрација од 1,5:1. Пошто већина анализираних узорака стена из система Чукару Пеки има снижене концентрације никла у односу на корелациону линију (слика 14D), може се закључити да је у овом систему дошло до засићења сулфидима.

6.1.2 Старости минерализације и садржаји микроелемената у цирконима

Резултати добијени одређивањем старости циркона у лежишту Чукару Пеки указују да је минерализациони процес у хидротермалном систему обележен старошћу раних минерализованих п1 и п2 интрузива, започео пре око $86,78 \pm 0,23$ Ма. Крај минерализационог процеса је обележен утискивањем млађих неминерализованих п10 дајкова, пре $85,19 \pm 0,09$ Ма.

Добијени резултати су сагласни са ранијим одређивањима старости циркона у Тимочком магматском комплексу. Тако на пример, von Quadt et al. (2002) закључују да је главна минерализациона активност на овом простору трајала у распону од 86 до 84 Ма, док Kolb et al. (2013) на основу резултата одређивања старости преко циркона у порфирском лежишту бакра Велики Кривељ, закључују да је ово лежиште настало у распону 86,29 и 86,17 Ма. Из претходног следи и да је хидротермални систем Чукару Пеки сличне старости као порфирски систем у Великом Кривељу.

Одређивања старости лежишта бакра и злата Бор су ранијих година вршена различитим методама (K-Ar, Ar-Ar, Re-Os) од стране више аутора. Указала су да је старост Борског система између 86,8 и 84,6 Ма (Lips et al., 2004; Lerouge et al., 2005; Zimmerman et al., 2008). Подаци које смо добили новим испитивањима циркона из стена Борског рудника (Velojić et al., у припреми) указују да је Борски систем неколико милиона година млађи ($84,19-83,04$ Ма), а на основу мерења које су спровели Kolb et al. (2013), порфирски систем у Мајданпеку је најмлађи у односу на све анализиране системе ($82,8-82,73$ Ма).

Еуропијумова аномалија у цирконима се често користи као индикатор продуктивности магме и потенцијала за формирање хидротермалних лежишта минералних сировина (Dilles et al., 2015; Lee et al., 2017; Large et al., 2018). Церијумова аномалија се такође користи у сличне сврхе, пошто је генерално прихваћено да концентрација церијума у цирконима зависи од оксидативног стања магме (Ballard et al., 2002; Trail et al., 2012; Lee et al., 2017). Међутим, поједине студије указују да церијумова аномалија не зависи само од оксидативног стања

магме, већ и од кристализације минерала који садрже минерале ретких земаља, као што је титанит (Loader et al., 2017).

Lu et al. (2016) сматрају да су вредности еуропијомове аномалије више од 0,3 главна карактеристика циркона из продуктивних магматских комплекса, као и да се могу користити и други односи концентрација у цирконима, и то: $10,000 \cdot (Eu/Eu_n)/Y > 1$, $(Ce/Nd)/Y > 0,01$ и $Dy/Yb < 0,3$.

Еуропијумова аномалија у свим проучаваним узорцима из хидротермалног система Чукару Пеки има вредности изнад 0,3 (слика 14), а однос $10.000 \cdot (Eu/Eu_n)/Y$ у свим анализираним узорцима има вредности више од 1 (слика 15). Ова два параметра несумњиво указују да је хидротермални систем Чукару Пеки настао из продуктивног магматског интрузива, који је вероватно садржавао пуно воде. Ballard et al. (2002) сматрају да циркони који имају вредности церијумове аномалије >300 указују на продуктивне магме. Церијумова аномалија у анализираним узорцима такође показује повишене концентрације (углавном >300), што указује да је магма у овом интрузиву имала висок оксидативни потенцијал (слика 16).

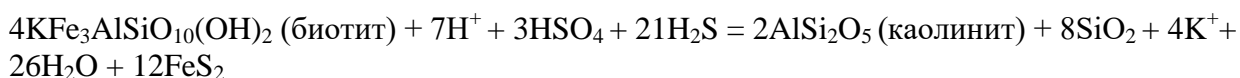
Однос садржаја Th/U и Yb/Gd у цирконима указује на фракционацију магме, јер више фракционисани интрузиви имају повишен садржај односа Yb/Gd и смањени однос Th/U (Lee et al., 2017). Gagnevin et al. (2010) сматрају да концентрације U, Th, и Y у цирконима генерално расту, док се однос Th/U обично смањује током развоја магматског растопа из базичног у киселији састав. Сви анализирани циркони из хидротермалног система Чукару Пеки генерално прате овај тренд који је приказан преко фракционационе криве (слика 17). Међутим, високи односи Th/U у анализираним цирконима указују на то да је у овом интрузиву вероватно дошло до мешања магми различитих састава (Lee et al., 2017).

6.2 Мобилизација и транспорт рудних елемената

О мобилизацији и транспорту рудних елемената у хидротермалном систему Чукару Пеки може се закључивати на основу проучавања минералног састава лежишта, проучавања флуидних инклузија и аналогијом са сличним лежиштима, првенствено Борским лежиштем бакра и злата.

Досадашњи закључци о процесима мобилизације и транспорта рудних елемената у Борском лежишту бакра и злата, који су вероватно слични хидротермалном систему Чукару Пеки, јесу следећи:

- Енергија за мобилисање хидротермалних раствора и рудних елемената из примарног извора потиче од термалне енергије магме и разлике између унутрашњег притиска хидротермалних флуида и литостатичког притиска. На основу склопа и дубине Борског рова, може се закључити да је дужина преноса рудних компоненти од примарног огњишта до рудних тела била око 5 km (Јанковић и др., 2002).
- Мобилизација гвожђа је вршена деловањем киселих раствора на биотит, при чему долази до стварања већих количина кварца, пирита и каолинита (Јанковић, 1990). Овај процес је вероватно вршен путем реакције:



Gržetić (1992) наводи и следећу реакцију растварања биотита у присуству сумпора:



- Хидротермални флуиди који су довели до формирања Борског лежишта су мешавине магматских вода и метеорских флуида који су потицале са површине терена и одражавале карактеристике геолошких средина кроз које су пролазиле (Јанковић и др., 2002). Тачно одређивање учешћа једних или других је отежано због тога што су метеорске воде мењале свој састав током проласка кроз различите средине и мешања са магматским водама (Кожељ, 2002).
- Gržetić (1996) сматра да су главне компоненте хидротермалних флуида у Борском лежишту: NaCl , KCl , CaCl_2 , MgCl_2 , FeCl_2 , CuCl_2 , ZnCl_2 , PbCl_2 , AgCl_2^- , AuCl_2^- , док су на нижим температурама били присутни и $\text{Au}(\text{HS})_2^-$, MoCl_4 , HCl , H_2S , H_2SO_4 , H_3AsO_3 , CO_2 итд.
- Кожељ (2002) сматра да је транспорт злата хидротермалним флуидима у високосулфидационим лежиштима вршен у виду хлоридног комплекса (AuCl_2^-), неутралних хидросулфидних комплекса (AuHS^0 и $\text{Au}_2(\text{HS})_2\text{S}^{2-}$) и бисулфидних комплекса ($\text{Au}(\text{HS})_2$ и $\text{HAu}(\text{HS})_2$). Појаве телурида злата указују да је део злата вероватно преношен и у виду телуридних комплекса: $\text{Au}(\text{Te}_2)$, $\text{Au}_2(\text{Te}_2)^0$ и $\text{Au}(\text{Te}_2)_2^{3-}$ (Gržetić, 1996).
- Транспорт бакра и сребра је претежно вршен у виду хлоридних комплекса, мада је могуће и да су купро-бисулфидни комплекси били доминантан вид преноса у зонама богатим H_2S (Јанковић и др., 2002).
- Платина и паладијум су у условима повишеног редокс потенцијала, салинитета и рН вредности раствора вероватно преношени у виду хлоридних комплекса. На температури од 25°C до 300°C , доминантни хлоридни комплекси су вероватно били PtCl_2^- и PdCl_2^- , док су на вишим температурама преовлађивали неутрални комплекси PtCl_2^0 и PdCl_2^0 . При неутралним рН вредностима, пренос се углавном вршио хидроксидним и бисулфидним комплексима (Gržetić, 1996).
- У нижим, порфирским деловима лежишта, кретање флуида се одвијало дуж мањих субпаралелних зона разламања, док је у високосулфидационим деловима кретање било инфилтрационог типа са ламинарно-турбулентним карактеристикама (Јанковић и др. 2002). Вертикално кретање флуида ка вишим нивоима терена при формирању високосулфидационих лежишта је предодређено структурама којима су раније пролазили гасом обогаћени раствори. На овај начин су формиран конвекциони хидротермални системи у којима је дошло до циркулисања флуида и депоновања бакра и злата (Кожељ, 2002) (Слика 49).
- Генерално је прихваћено да се високосулфидациона лежишта бакра и злата формирају тако што се магматски хидротермални флуиди преносе великом брзином дуж фрактурираних и/или пермеабилних зона, при чему је присутна минимална реакција са околним стенама и мешања са метеорским флуидима (Corbett & Leach, 1998). Један од важних процеса у формирању ових лежишта је оксидација магматског гаса SO_2 , при чему долази до издвајања H_2S и H_2SO_4 (сумпорне киселине) (Hedenquist & Lowenstern, 1994). Пренос рудних елемената у високосулфидационој зони Борског лежишта је вршен јако киселим растворима уз високу фугасност сумпора (Јанковић, 1990). На киселост раствора указује и присуство киселих алтерација које садрже алуниит и секундарне кварците у високосулфидационим зонама лежишта (Јанковић и др., 2002).

- Кожељ (2002) издваја две главне фазе активности хидротермалних флуида у Борском лежишту: проградну фазу, која је везана за активност врелих гасова, алтерисање андезита и депоновање минерализације, и ретроградну фазу, која је везана за понирање десцендентних вода и маскирање првобитних алтерација.

Сматра се да се мобилизација воде, метала, сумпора и других лако испарљивих компоненти у порфирским системима одвија путем фазног издвајања флуида из кристалишуће магме. Обично се овим путем издваја суперкритични флуид средњег салинитета, који се кључањем раздваја на течну фазу високог салинитета и гасовиту фазу ниског салинитета (Vodnar, 1995; John et al., 2010). Како би издвајање флуида и метала било успешно, матичне магме морају бити богате водом да би у њима дошло до засићења водене фазе. Такође је неопходно да имају висок оксидативни потенцијал, да не би дошло до ране кристализације магматских сулфида, који спречавају издвајање сумпора и метала у воденој фази (Richards, 2005; Sillitoe, 2010).

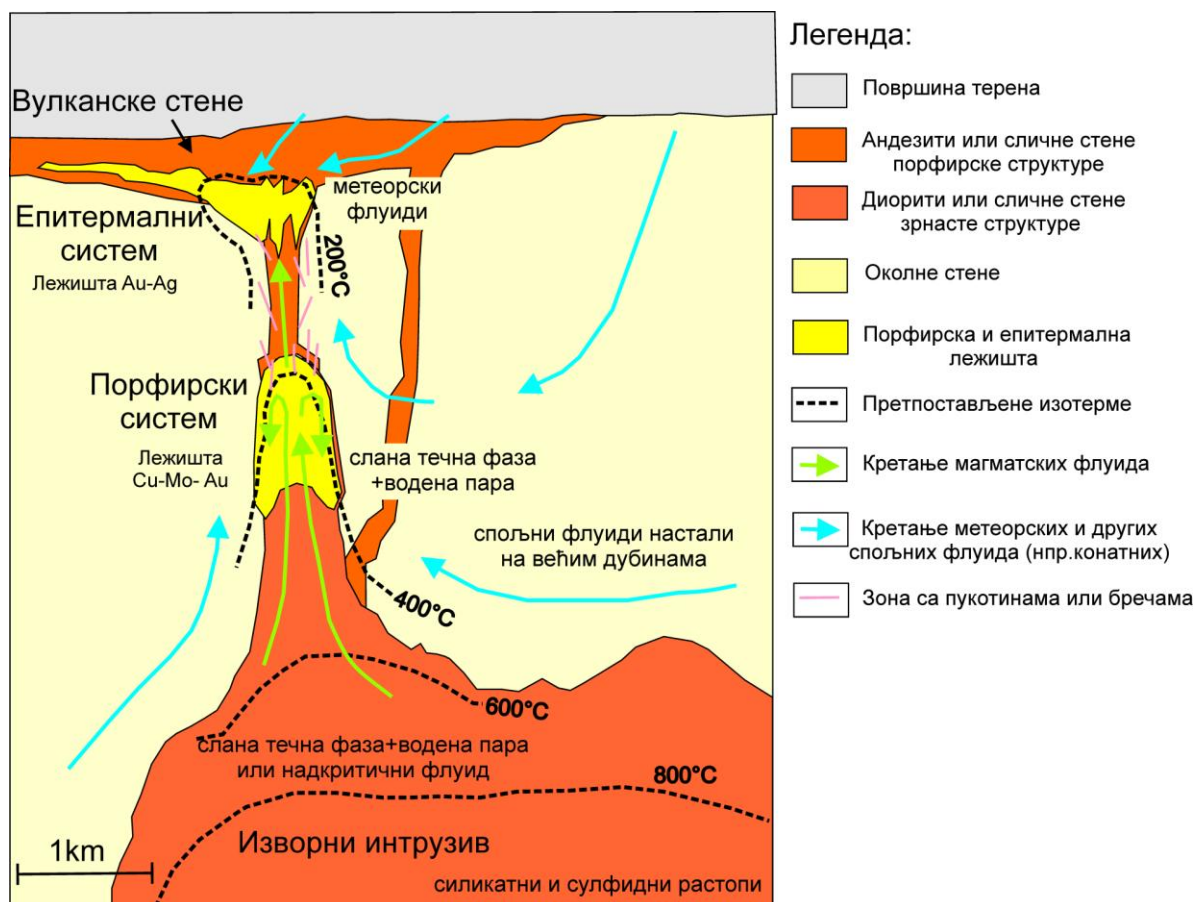
Richards (2005) приказује модел по којем се врши мобилизација флуида и корисних компоненти у порфирским системима. По овом моделу флуиди и лако испарљиве компоненте се издвајају у магми у виду мехурића. Магма богата мехурићима се због мање густине конвективно уздиже ка врху интрузива. Овим путем хладнија магма тоне ка доњим деловима интрузива и ствара се конвективно струјање. Ова конвекција флуида и магме кроз магматски интрузив представља ефикасан механизам мобилизације различитих елемената (Cloos, 2001; Richards, 2005; Sillitoe, 2010). Сматра се да јепоменути услов неопходан за формирање великих порфирских лежишта, пошто она садрже велике количине метала и сумпора, које су много веће од њихове очекиване количине у магматским стенама у којима се лежиште налази (Cloos, 2001).

Физичко-хемијско карактеристике флуида који се овом приликом издвајају зависе од притиска, односно дубине на којој долази до мобилизације. Експериментални подаци указују да се бакар најбоље издваја у водени раствор под притисцима већим од 1 kbar, што одговара дубинама преко 4 km (Cline & Vodnar, 1991). Ови резултати указују да се мобилизација флуида сигурно дешава у дубљим деловима магматског интрузива у односу на апикалне делове у којима се обично налази минерализација (Richards, 2005). Апикални делови интрузива вероватно представљају места фокусирања издвојених флуида због нижег литостатичког притиска (John et al., 2010).

Сматра се да су у почетним стадијумима формирања већине порфирских лежишта слани магматски флуиди били доминатни, а да у каснијим стадијумима метеорски флуиди добијају све већу важност (Hedenquist & Lowenstern, 1994).

На слици 50 приказано је претпостављено кретање магматских и метеорских флуида у хидротермалном систему током формирања порфирских и епитермалних лежишта.

Изучавања стабилних изотопа, флуидних инклузија и инклузија растопа представљају доказ да се високотемпературни флуиди издвајају из магматског интрузива током кристализације и хлађења (John et al., 2010). Један од најмаркантнијих доказа за магматско порекло вода јесте присуство високотемпературних инклузија високог салинитета (Vodnar, 1995; Georgiev, 2019). Са друге стране, присуство аргилитске алтерације, која настаје дејством флуида са ниским температурама и ниским салинитетима, указује да су поменути флуиди углавном били сачињени од метеорских вода или мешавине магматских и метеорских вода (Vodnar, 1995; John et al., 2010).

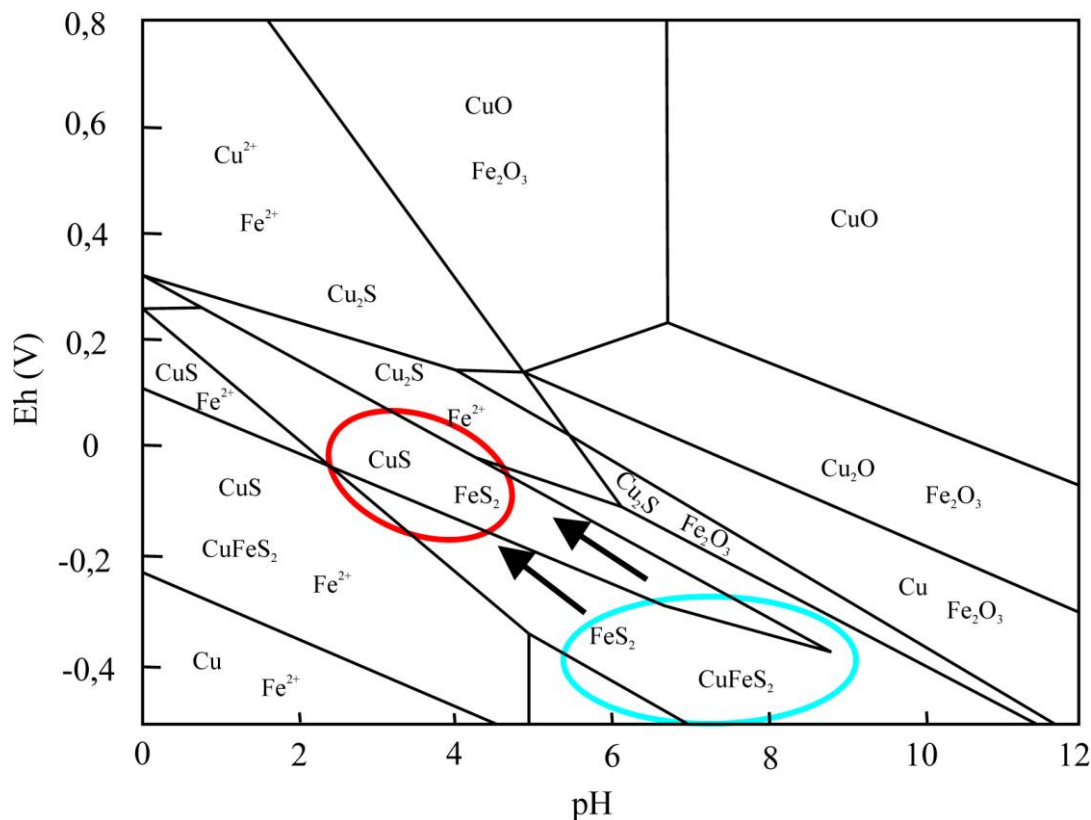


Слика 50: Шематски приказ кретања и циркулисања хидротермалних флуида у порфирским и епитермалним системима, адаптирано из Heinrich (2005). Испрекидане црне линије означавају изотерме са претпостављеним температурама флуида у оквиреним зонама. На овом пресеку се могу издвојити три зоне система: велики магматски интрузив, порфирска лежишта формирана у апикумалним деловима интрузива и епитермална лежишта формирана на дубини од 1-2 km од површине терена.

У почетним стадијумима формирања хидротермалног система Чукару Пеки, из матичног интрузива су издвојени магматски раствори који су касније, мешани са метеорским водама (Бугарин и Маринковић, 2018). Пошто је анализа флуидних инклузија показала да су у хидротермалном систему Чукару Пеки били присутни флуиди високе температуре и салинитета (инклузије типа 1, 2а, 2б и 3), може се закључити да је претходна констатација коректна, односно да су ови флуиди вероватно били магматског порекла. Инклузије типа 1 имају релативно висок салинитет и хомогенизују на веома високим температурама (преко 600°C) на основу чега се може претпоставити да оне садрже флуиде који су довели до мобилизације рудних компоненти из матичног интрузива. На присуство метеорских флуида у овом систему указују флуидне инклузије ниског салинитета и температуре хомогенизације (инклузије типа 6 и 7), као и присуство нискотемпературних алтерација (попут широко распрострањене аргилитске алтерације у прелазној епитермалној зони).

На основу аналогије са Борским лежиштем и на основу стабилности различитих минералних фаза у систему Чукару Пеки, закључује се да се пренос рудних елемената вршио хидротермалним флуидима чија је рН вредност била између 7 и 2 (неутрална до веома кисела) и који су били редукционог карактера (са вредностима Eh између 0 и -0,5). На Eh-рН дијаграму стабилности минералних фаза приказани су претпостављени односи ова два параметра за порфирски и високосулфидациони део система Чукару Пеки (слика 51).

Испитивања вршена на флуидним инклузијама из порфирских лежишта широм света су показала да се бакар у порфирским системима углавном преноси у гасној фази (Williams-Jones & Heinrich, 2005). Новија истраживања, међутим, указују да је и течна фаза важан медијум преноса бакра (Audetat et al., 2012). Злато се на високим притисцима преноси у гасној фази, док се на ниским притисцима концентрише у течној фази (Zhu et al., 2011).



Слика 51: Eh-pH дијаграм за систем Cu-Fe-S-H₂O са стабилним минералима бакра и гвожђа у сваком домену, адаптирано из Fairthorne et al., 1997. Зона означена плавом бојом означава услове стабилности најчешћих минерала из порфирског дела система Чукару Пеки (пирит, халкопирит), док зона означена црвеном бојом означава услове стабилности најчешћих минерала из високосулфидационог дела система (пирит и ковелин). Црне стрелице означавају кретање флуида из порфирског у високосулфидациони део система.

Као главни контролни фактори просторног положаја хидротермалног система Чукару Пеки издвојени су магматски, структурни и литолошки.

1) Магматски фактор

Минерализација бакра и злата у хидротермалном рудоносном систему Чукару Пеки је просторно и генетски везани за продукте прве вулканске фазе Тимочког магматског комплекса (Бугарин и Маринковић, 2018). Карактеристике стена ове фазе су: микропорфирска структура са фенокристалима хорнбленде и биотита и ретким пироксенима. Оваква асоцијација минерала указује на присуство воде током кристализације (Kolb et al., 2013). Магме прве вулканске фазе су највероватније биле калко-алкалног карактера са садржајем SiO₂ између 50 и 60% (Јанковић и др., 2002).

На основу упоређивања садржаја главних и микроелемената у продуктима различитих вулканских фаза Тимочког магматског комплекса, Алексић (1983) доноси следеће закључке:

- Стене прве вулканске фазе су богатије силицијом у односу на касније фазе.

- Стене свих фаза су сиромашне са TiO_2 , са тим што постоји блага тенденција пораста садржаја TiO_2 у каснијим фазама.
- Удео алкалија ($Na_2O + K_2O$) је знатно виши у стенама латитске асоцијације (трећа вулканска фаза), него у стенама прве и друге вулканске фазе.

Stein et al. (2002) су изучавањем дистрибуције елемената из групе ретких земаља у стенама прве вулканске фазе Тимочког магматског комплекса закључили да неке од њих имају адакитске карактеристике. Kolb et al. (2013) сматрају да су магме адакитског карактера у Тимочког магматском комплексу вероватно настале у условима интензивне фракционације амфибола на високим притисцима у нивоима доње континенталне коре. Са друге стране, магме из којих су настале стене које имају геохемијски карактер андезита 'нормалних' вулканских лукова, нису укључивале фракционацију амфибола, већ су диференциране у условима горње коре, путем комбиноване фракционације и асимилације стена континенталне коре.

2) Литолошки фактор

Стене у којима се налази минерализација бакра и злата са пратећом асоцијацијом рудних елемената су Доњи андезити, и више издвојених интрузивних диоритских фаза које указују на вишефазно утискивање диоритских дајкова (Бугарин и Маринковић, 2018). У Доњој зони система Чукару Пеки издвојено је 5 диоритских фаза, названих П1, П2, П4, П9 и П10 (који су детаљније описани у уводном делу доктората).

За Доње андезите се такође користи термин V1A андезити (Banješević et al., 2019). У овим андезитима се може издвојити неколико фација (Banješević, 2010):

- лавични токови (кохерентни и аутокластични),
- плитке интрузије (лавичне доме, дајкови и силиви) и
- разне вулканокластичне стене.

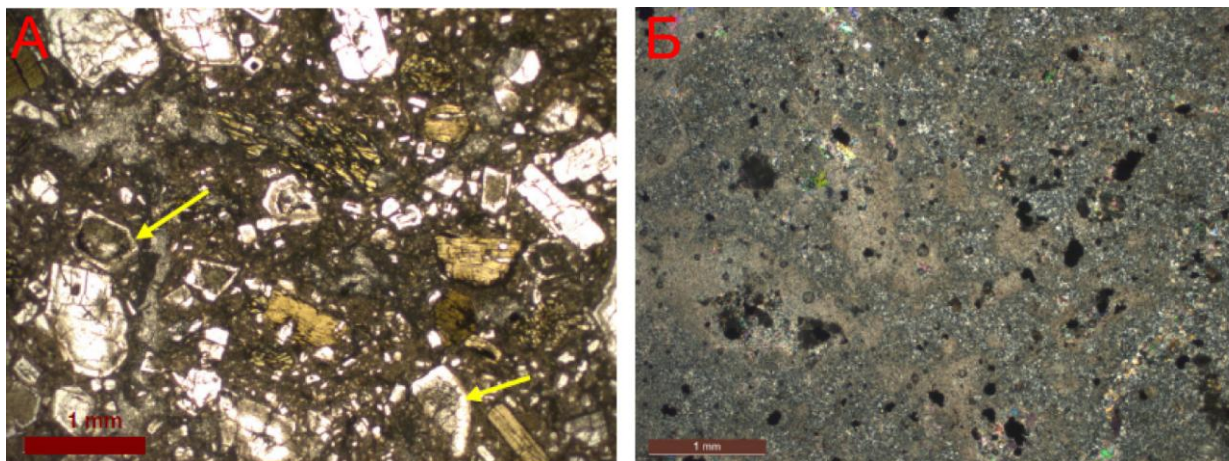
У домену распрострањења хидротермалног рудоносног система Чукару Пеки андезити су углавном алтерисани. Имају порфирску структуру са холокристаластом основном масом и више од 50 запр. % фенокристала, међу којима је плагиоклас доминантан (Banješević et al., 2019).

На петрографским узорцима ових андезита извршено је више микроскопских анализа (Račevski et al., 2012, Račevski et al., 2013, Cornejo, 2017). на основу чијих резултата су издвојене су две литолошке фације: биотит-хорнбленда андезити и хорнбленда андезити који су хидротермално промењени (Бугарин и Маринковић (2018).

Биотит-хорнбленда андезити (слика 52a) су порфирске структуре са холокристаластом основном масом. Од фенокристала се углавном јављају плагиокласи и биотит, са ретком хорнблендом. Од хидротермалних алтерација доминирају серицитизација, праћена каолинитизацијом и силификацијом. Од алтерационих минерала јављају се и хлорит, адулар и анхидрит праћени минерализацијом. Сличне стене се јављају у виду дајкова у сенонским андезитима код Брестовачке Бање, Бора и Брестовца и одређене су као албитски трахити.

Хорнбленда андезити који су хидротермално промењени (слика 52b) не садрже биотит. Стене су порфирске структуре са идиоморфним фенокристалима плагиокласа и хорнбленде који леже у ситнозрној хипокристаластој основној маси. Фенокристали су често међусобно оријентисани стварајући флуидалну текстуру. Најинтезивнија алтерација је

пропилитизација. Плагнокласи су делимично замењени серицитом, калцитом, албитом, ретко и епидотом и анхидритом. Кристали хорнбленде су замењени хлоритом и металичним минералима при чему су сачуване реликтне форме првобитног минерала.



Слика 52: Фотомикрографије литолошких фација Доњих андезита приказаних у пропуштеној светлости:

- А) Слабо алтерисани биотит-хорнбленда андезит, жуте стрелице приказују сухедралне фенокристале плагнокласа;
- Б) Хорнбленда андезити који су хидротермално промењени у којима су фенокристали плагнокласа замењени илитом и серицитом; адаптирано из Раџевски et al. (2013)

Једно од важних нерешених питања везаних за литолошку контролу овог система је објашњење због чега се минерализација налази само у Доњим андезитима, док су Горњи андезити без алтерације и минерализације? Sillitoe (2017) сматра да Горњи андезити представљају сил (хоризонтални дајк) који је био непропусан и спречио даље циркулисање хидротермалних флуида. Ванјешевић et al. (2019) су мерењем старости циркона установили да старост Горњих андезита (V1B) од 86-85 Ма, а Доњих андезита (V1A) 90-89 Ма. Анализама циркона у оквиру овог доктората установљено да се почетак депоновања рудне минерализације у хидротермалном систему Чукару Пеки одиграо пре око 86,78 Ма. На основу тога, може се закључити да су Горњи андезити вероватно настали након главног минерализационог догађаја и да због тога нису алтерисани и минерализовани.

Ванјешевић et al. (2019) сматрају да је до разлика између V1A и V1B фазе дошло због различитог редоследа кристализације хорнбленде и плагнокласа у магми. Током интензивне кристализације плагнокласа у плитким магматским интрузијама, долази до обогаћења раствора лако испарљивим компонентама (Hedenquist & Lowenstern, 1994). Током V1A фазе магма је дуже боравила у плитким условима тако да је интензивна кристализација плагнокласа довела до повећања садржаја воде и формирања хидротермалног система. Насупрот томе, током V1B фазе, магматизам није био продуктиван због тога што је фракционација магме прекинута декомпресијом пре него што је дошло до секвенце у којој се дешава кристализација плагнокласа. Овим сценаријом би могло да се објасни и због чега друга вулканска фаза Тимочког магматског комплекса није била продуктивна по питању хидротермалних система, пошто је и у том случају вероватно дошло до декомпресије система (Ванјешевић et al., 2019).

3) У оквиру структурних фактора могу се извојити разломне структуре и интрузивне брече.

Разломне структуре

За генезу овог хидротермалног система посебно су важни горњокредни екстензиони тектонски догађаји праћени спуштањем блокова по периферним раседним структурама рифтног система (Бугарин и Маринковић, 2018).

Толијић (2016) је у структурној анализи на ширем подручју лежишта Чукару Пеки издвојио неколико деформационих догађаја који су утицали на тектонски развој ове зоне: D1 (раседи везани за инвертовање горњокредног рифтног басена), D2 и D3 (везани за отварање терцијарног басена, активни од доњег миоцена до бадена) и D4 (реверсни раседи активни крајем неогена). По овој класификацији, раседи који припадају D1 догађају су прерудни. На терену су уочени у области Рејјавичког потока и на источном рубу басена Слатине. Пошто садржаји Cu и Au у северном делу Доње зоне лежишта постепено опадају дуж границе исток-запад, сматра се да и структуре пружања исток-запад контролишу положај минерализације. Један од ових раседа је вероватно IZ расед који се приближно поклапа и са прелиминарно издвојеном зоном у којој се налазе бројне унакрсне структуре И-3 до ИСИ пружања (Бугарин и Маринковић, 2018).

Најмаркантији раседи у ширем подручју система Чукару Пеки су реверсни раседи, углавном везани за D4 деформациони догађај по којима је извршено кретање повлатних блокова ка истоку, као што су Брестовачки расед, Централни расед у Чукару Пекију, Борски расед итд. Ови раседи су довели до значајних хоризонталних и вертикалних кретања блокова у којима се налазе раније формирана лежишта, што је у великој мери утицало на данашњи положај рудних тела у подручју Бора и Чукару Пекија. Ово је нарочито изражено у случају Борског раседа, за који се сматра да је раздвојио Борско лежиште на две половине, при чему је западна половина сачувана у повлатном делу, док је источна половина дислоцирана у подинском делу (Јанковић, 1990; Јанковић и др., 2002). За хидротермални систем Чукару Пеки је важнији расед Бор 2, који је паралелан Борском раседу и налази се западно од њега. Сматра се да овај расед има реверсно кретање и да представља источну границу Доње зоне тј. порфирског дела лежишта (Бугарин и Маринковић, 2018). Централни расед (енгл. *Central fault*) је такође веома маркантна структура. Он је субпаралелан раседу Бор 2 и пада ка западу под углом од 55° (Jakubec et al., 2018).

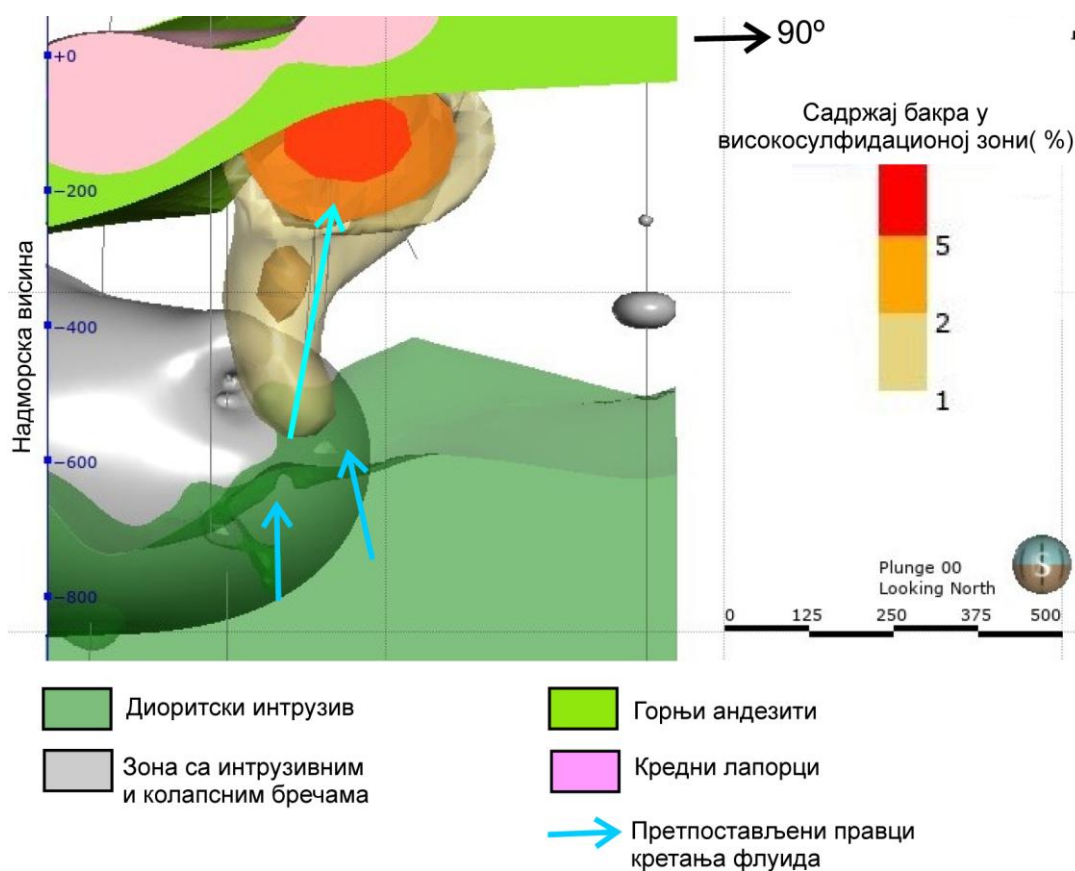
Што се тиче Горње зоне лежишта Чукару Пеки, Sillitoe (2017) сматра да нема јасних доказа да прерудни раседи контролишу њен положај, пошто ни алтерација ни минерализација немају јасно изражену оријентацију. Сматра се да је Горња зона лежишта Чукару Пеки ограничена са два велика пострудна раседа који су названи Источни расед и Западни расед (енгл. *East fault* и *West fault*). Такође се сматра да и тзв. Јужни расед (енгл. *South fault*) има утицај на положај ове зоне, пошто се минерализација углавном налази северно од њега (Jakubec et al., 2018).

Толијић (2016) сматра да је поред извршених анализа тектонско-структурне грађе система Чукару Пеки, остао значајан број нерешених отворених питања, као што су: 1) улога раседа пружања СИ-ЈЗ на генезу минерализације и облике рудних тела, 2) улога раседа пружања И-3 на пострудну тектонску еволуцију лежишта, 3) значај и улога раседних структура издвојених у домену лежишта, 4) карактер кретања и положај јужног дела раседа Брестовачке реке, 5) укупни износи кретања по већим реверсним раседима, 6) положај и значај раседа у зони неогених седимената и 7) значај горњокредне екстензионе тектонске еволуције.

Интрузивне брече

Велики значај у транспорту флуида и формирању лежишта бабра и злата типа високе сулфидације имају интрузивно-хидротермалне брече (Corbett & Leach, 1998; Berger & Henley, 2011). Скорија проучавања узорака из Борског лежишта указују да је растварање кварца и формирање бреча имало важну улогу у формирању масивних сулфида (Klimentyeva et al., 2020).

На основу картирања језгара бушотина, корелацијом са Борским лежиштем бабра и злата и моделирањем у софтверу Leapfrog, добијен је шематизовани 3D модел на којем се може видети повезаност порфирског интрузива, зоне са интрузивно-хидротермалним бречама и високосулфидационе зоне. Пресек овог модела приказан је на слици 53.



Слика 53: Шематизовани тродимензионални модел високосулфидационе зоне система Чукару Пеки.

Стрелицама плаве боје је приказан претпостављени смер кретања флуида из порфирског интрузива у високосулфидациону зону. Високосулфидациона зона је моделована на основу садржаја бабра у картираним бушотинама, тако да је њен облик приближан, односно није идентичан моделу у елаборату компаније Rakita Exploration (Бугарин и Маринковић 2018). Порфирски интрузив је благо провидан, како би се боље видела преклапања са зоном са интрузивним и колапсним бречама. Скала са леве стране се односи на апсолутну надморску висину; ниво +0 је на 400 m дубине од савремене површине терена.

Геолошким картирањем језгара бушотина из хидротермалног система Чукару Пеки, закључено је да су интрузивно-хидротермалне брече формиране путем фреатомагматске или фреатске ерупције флуида под притиском, на начин описан у радовима Sillitoe (1985), Corbett

& Leach (1998), и Tamaš & Milesi (2002). Бречизирање стена се у овом систему одвијало у два стадијума:

- 1) Интрузивно бречизирање, које се карактерише матриksom од уситњеног стенског праха, док су фрагменти заобљени, мономиктни и добро сортирани. Ове брече су вероватно формиране флуидизацијом стена дејством киселих врелих раствора.
- 2) Колапсно бречизирање, код кога је матрикс брече такође од уситњеног стенског праха, док су фрагменти угласти, полимиктни и лоше сортирани. Ове брече су вероватно формиране урушавањем материјала након наглог утискивања раствора.

Поред овога, нагло утискивање флуида је довело и до хидрауличног бречизирања зона око рудних жица и формирања угластих бреча које се уклапају (енгл. *Jigsaw breccia*) (Jebrak, 1997). У високосулфидациној зони система Чукару Пеки су идентификована два стадијума ових бреча:

- 1) Хидрауличне брече са кварцом, настале утискивањем флуида под притиском и фрактурисањем стена са кварцом и енаргитом у матриксу бреча;
- 2) Хидрауличне брече са ковелином, такође настале утискивањем флуида, али са ковелином у матриксу бреча.

6.3 Карактеристике хидротермалних флуида

На основу микротермометријских мерења флуидних инклузија, може се израчунати неколико параметара који указују на карактеристике хидротермалних флуида (Roedder, 1984; Vodnar, 1993; Steele-Macinnis et al., 2012; Bakker, 2018). Параметри који се најчешће користе су:

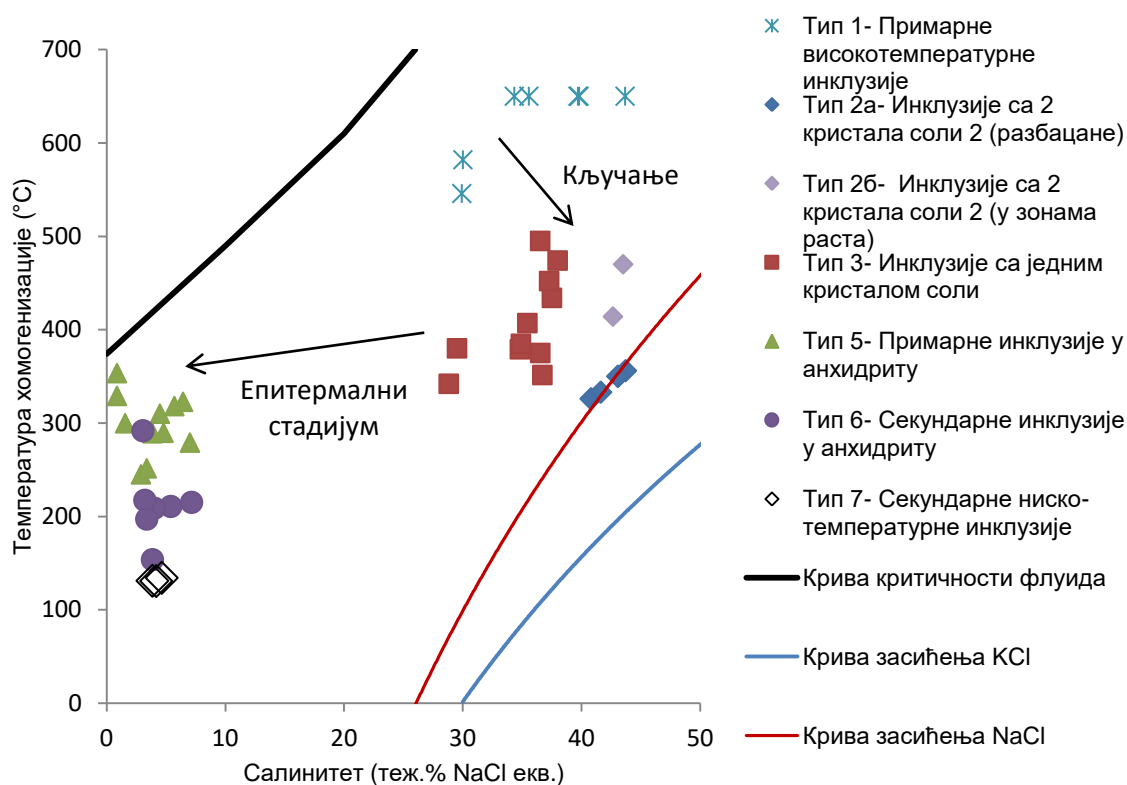
- Температура хомогенизације, која представља минималну температуру на којој је флуид заробљен у инклузији;
- Салинитет флуида, који се одређује температуром топљења леда или растварања кристала соли;
- Притисак хомогенизације, који представља минималан притисак при којем је флуид заробљен у инклузији, и
- Густина флуида.

6.3.1 Порфирска зона

У зонама раста кварца у порфирском систему, налазе се примарне флуидне инклузије (слика 20а и 20д) са високим температурама хомогенизације (преко 600°C) и високим салинитетом (30- 44 теж. % NaCl екв.). На основу тога се може закључити да ове групације флуидних инклузија (класификоване као тип 1) садрже остатке најранијих и најврелијих флуида у порфирском систему. Сличне високотемпературне инклузије се налазе и у другим порфирским системима широм света; већина аутора сматра да су оне реликти магматско-хидротермалних флуида који су издвојени из магматских интрузија током њиховог хлађења. У већини случајева се налазе у дубљим деловима порфирских система, у којима због високог притиска не долази до кључања флуида (Redmond et al., 2004; Rusk et al., 2008).

Следећи стадијум у развоју флуида у хидротермалном систему Чукару Пеки се огледа у инклузијама које садрже слане растворе са два кристала соли (инклузије типа 2а). Сличне, полифазне инклузије са 2 кристала соли се често уочавају у порфирским системима бакра и злата (нпр. Wilkinson, 2001). Резултати њихових микротермометријских мерења у систему Чукару Пеки, указују да су флуиди имали комплексан састав и висок салинитет (> 40 теж.% NaCl екв.) (Lecumberri-Sanchez et al., 2012). По хабитусу, изотропним оптичким особинама, ниској рефрактивности и ниској температури растварања другог кристала соли, може се закључити да је у питању KCl (силвит). То даље указује да су флуиди били богати калијумом, који је вероватно довео до калијске алтерације у раној фази развоја порфирског система. Повремено присуство хематита у инклузијама указује и да су флуиди вероватно били богати гвожђем.

Наредни стадијум у развоју хидротермалног рудоносног система је издвојен на основу инклузија које су везане за Асоцијацију сланих раствора 2, а која обухвата 3 различите групације инклузија у истим зонама кристала и сличних температура хомогенизације (око 400°C). Присуство бројних ситних инклузија богатих паром (тип 4) у истим зонама кристала у којима се налази групација инклузија са сланим растворима (тип 2б и 3), сматра се за доказ кључања у систему (Roedder, 1984; Heinrich, 2005). Температуре и салинитети различитих типова флуидних инклузија приказане су на слици 54.



Слика 54: Дијаграм односа температура хомогенизације и салинитета са приказаним резултатима микротермометријских мерења различитих типова инклузија из хидротермалног система Чукару Пеки. Подаци за криву критичности H₂O и криву засићења NaCl су преузети из Naas (1976), док су подаци за криву засићења KCl преузети из Potter et al. (1978). Инклузије типа 4 нису приказане на овом дијаграму, јер нису изведена адекватна мерења салинитета (на основу топљења кристала леда). Неколико мерених инклузија типа 1 није достигло тоталну хомогенизацију до 600°C (што је горњи лимит коришћеног термалног сточића), због чега су њихове температуре на дијаграму приказане на температури од 650°C.

Са слике 54 се може уочити да групације инклузија у анхидриту (инклузија типа 5, 6 и 7) имају знатно ниже салинитете од сланих инклузија (типа 1, 2а, 2б и 4) у кварцу, што указује да се прелаз из порфирског у епитермални стадијум одвијао хлађењем и разблажавањем флуида.

Анализиране анхидритске жице садрже две различите групације инклузија:

1) Примарне групације инклузија (тип 5) које понекад садрже непровидне минерале и достижу тоталну хомогенизацију око 300°C. Пошто су ове инклузије примарне, може се закључити да су љубичасте анхидритске жице и рудни минерали у њима (који често укључују ковелин и енаргит) формиран на температурама око 300°C, са салинитетима флуида између 0,8 и 7 теж.% NaCl екв.

2) Секундарне нискотемпературне групације инклузија (тип 6). Већина ових инклузија је формирана у млађим пукотинама, на температурама око 200° и салинитету раствора између 3 и 7 теж.% NaCl екв.

Последња генерација флуида која је била активна у овом систему се налази у секундарним нискотемпературним инклузијама у кварцним и наранџастим анхидритским жицама (тип 7). Њихове температуре хомогенизације не прелазе 150°C, док је салинитет између 4 и 5 теж.% NaCl екв.

6.3.2 Високосулфидациона зона

На основу аналогije са Борским високосулфидационим лежиштима, могу се извести одређени закључци о карактеристикама хидротермалних флуида у високосулфидационом делу система Чукару Пеки. Gržetić (1990) наводи да су хидротермални флуиди у високосулфидационом делу Борског лежишта били веома врели (око 300°C), да су имали високу фугасност сумпора и рН вредност између 5,5 и 3,5. Слично томе, Кожељ (2002) наводи да су хидротермални флуиди из високосулфидационих лежишта у Борској металогенетској зони били температуре око 130-250°C, са рН мањим од 4 и високом фугасношћу сумпора и арсена.

Слични резултати су добијени и у другим високосулфидационим лежиштима у Апушени-Банат-Тимок-Средњогорје зони. Piregov et al. (2017) приказују синтезу више анализа инклузија у енаргиту из лежишта Челопек (Бугарска) коришћењем инфрацрвене светлости. Добијене температуре хомогенизације варирају између 100°C и 250°C, док салинитет варира између 1 и 10 теж. % NaCl екв.

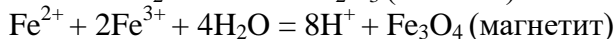
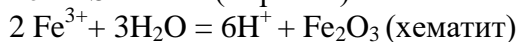
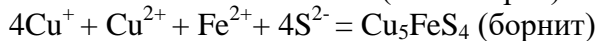
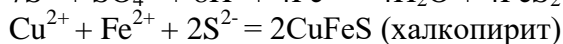
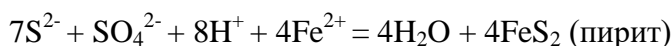
6.4 Депоновање рудних минерала

6.4.1 Порфирски стадијум

Депоновање рудних минерала у већини хидротермалних лежишта металичних минералних сировина доводи се у везу са екстремним променама притисака и температуре, мешањем различитих флуида, интеракцијама флуида и околних стена и кључањем раствора (било фазним раздвајањем на високим температурама и притисцима или пресецањем криве zasiћења вода/пара), а што су појаве које се често дешавају у хидротермалним системима. Рудне жице и хидротермалне брече указују да се процес депоновања рудне минерализација врши периодично, у више епизода (Ingebritsen & Appold, 2012).

Депонованье из раствора у порфирским системима обично почиње када се хидротермални флуид охлади испод 400°C, што доводи до пада растворљивости и реакције SO₂ компоненте са водом и стварањем H₂S гаса, који реакцијом са металима ствара сулфиде гвожђа и бакра (Heinrich, 2005; John et al., 2010). Уврежено мишљење је да депонованье минерала и рудних жица у порфирским системима прати одређени редослед. Sillitoe (2010), на пример, наводи да се жице у порфирским системима бакра могу издвојити у три основне групе: 1) Ране жице, без кварца и сулфида, које садрже актинолит, магнетит, биотит и калијске фелдспате (жице типа М); 2) Кварцне жице са малом количином сулфида (жице типа А и Б) и 3) Жице са крупним кристалима сулфида које су обично праћене хлоритском или серицитском алтерацијом (као што су жице типа Д).

С обзиром на сличан тип лежишта и присутне рудне парагенезе, депонованье минерала у хидротермалном систему Чукару Пеки се вероватно одвијало на сличан начин као и у Борском лежишту бакра и злата. По Gržetiću (1992) депонованье минерала у порфирском делу Борског лежишта се одвијало по следећим реакцијама:



Исти аутор сматра да присуство овакве минералне парагенезе (пирит-халкопирит-борнит) указује да је порфирска минерализација формирана у редукционим условима, где се Eh вредност раствора постепено приближавала нули. Оксиди, као што су магнетит и хематит се јављају у зонама где фугасност кисеоника преовлађује над фугасношћу сумпора, а што су обично дубљи делови лежишта у којима је порозност стена веома мала.

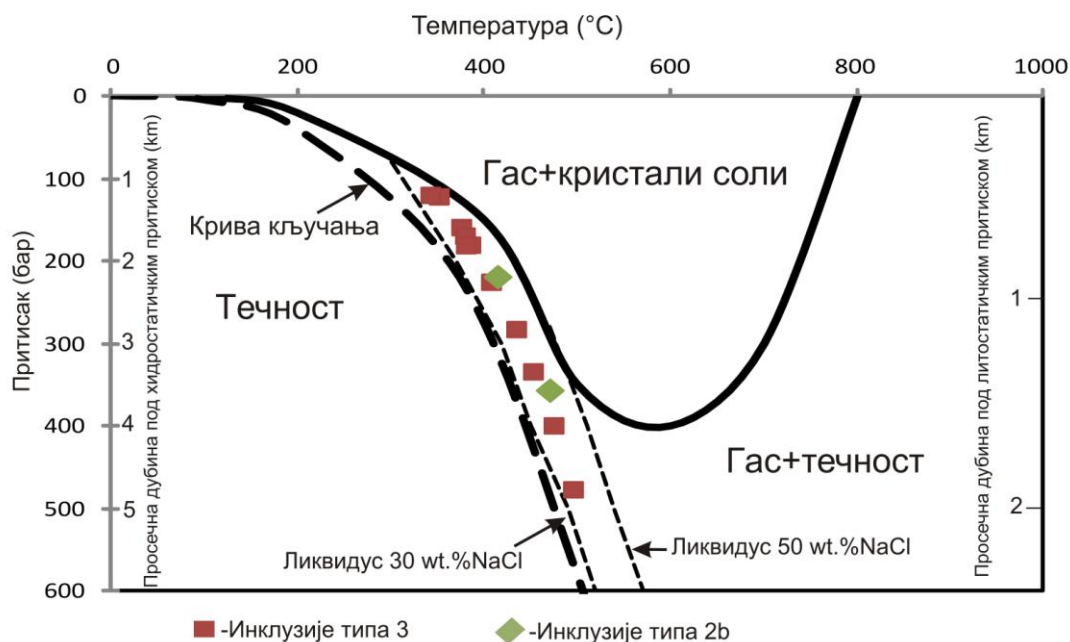
Депонованье порфирске минерализације у плитким хидротермалним системима (на дубини мањој од 4 km) се одвија деловањем двофазних флуида, који се углавном састоје од мале количине веома слане течности и велике количине водене паре ниског салинитета (Hedenquist & Lowenstern, 1994). У овим системима, течна фаза је обогаћена са Na, K и хлоридима, што узрокује висок салинитет (35-70 теж.% NaClекв.), док је водена пара обогаћена лако испарљивим компонентама, као што су SO₂, CO₂, H₂S, HCl итд. (Sillitoe, 2010). Сматра се да се водена пара због ниске вискозности и густине лакше креће кроз стене од слане течности због чега долази до њеног брзог уздицања до апикалних делова комплекса, чак и под условима високог литостатичког притиска (Hedenquist et al., 1994; Corbett & Leach, 1998). Lecumberri-Sanchez et al. (2015) сматрају да засићење халитом у порфирским системима има важан утицај на смањење пермеабилности у систему и доводи до лакшег депонованья рудних минерала.

У хидротермалном систему Чукару Пеки, слана течна фаза је присутна у групацијама инклузија које садрже кристале соли (инклузије типа 2а, 2б и 3), док је водена пара присутна у малим инклузијама богатим гасом (тип 4) у истим кристалима кварца. На основу измерених температура хомогенизације инклузија из Асоцијације сланих раствора 2 и температура растварања соли у инклузијама типа 2б и 3, може се закључити да се процес кључања и депонованья рудних минерала у порфирском делу система Чукару Пеки одвијао на температурама између 350°C и 450°C, при салинитетима флуида између 28 и 43 теж.% NaCl екв.

Одређивање услова при којем се десило кључање флуида омогућава прорачун притиска у систему и одређивање палеодубине на којој су одвијани процеси депоновања рудних минерала (Fournier, 1999; Redmond et al., 2004; Rusk et al., 2008; Mao et al., 2017). Процене притиска при коме је дошло до кључања у систему Чукару Пеки су рачунате за инклузије са сланим раствором у Асоцијацији сланих раствора 2 (инклузије типа 2б и 3). Израчунате вредности притиска варирају између 100 и 500 бара. На основу дијаграма односа притиска и температуре приказаним у Fournier (1999) и у Redmond et al. (2004), овај притисак одговара варирањима између литостатичког и хидростатичког притиска на дубинама између 1 km и 2 km. Израчунате вредности притиска и температуре хомогенизације инклузија су приказане на дијаграму односа температуре и притиска за NaCl-H₂O систем на слици 55.

Закључак да се депоновање рудних минерала у порфирском делу система Чукару Пеки десило на поменутих температурама и притисцима стоји у складу са закључцима везаним за испитивање флуидних инклузија у порфирском систему Мајданпек који се налази у истом магматском комплексу (Strashimirov, 1997). Испитивања флуидних инклузија су вршена и на другим порфирским системима у Апушени-Банат-Тимок-Средњогорје зони, као што је лежиште Елаците у Бугарској, где је утврђено да се депоновање минерала у порфирском систему десило на температури нижој од 460°C (Stefanova et al., 2014).

Сличне температуре депоновања минерала су одређене и у другим порфирским системима бабра и злата широм света. Heinrich (2005) на пример, сматра да се депоновање рудних минерала у порфирским системима у идеалном случају одвија на температурама око 400°C, на ниским притисцима, под утицајем наглог пада растворљивости Cu-Fe сулфида. Слично томе, Orlandea & Vlad (2020) сматрају да се у Cu-Au порфирским системима кључање флуида одвија на температурама између 500 и 400°C и притисцима између 0,4 и 0,5 kbar.



Слика 55: Дијаграм односа притиска и температуре за NaCl-H₂O систем (модификовано према Fournier, 1999 и Redmond et al., 2004), на коме су приказане израчунате вредности притиска сланих инклузија формираних процесом кључања (тип 2б и 3) из порфирског система Чукару Пеки.

Проучавање рудних парагенеза, хидротермалних алтерација и садржаја микроелемената у порфирском делу система Чукару Пеки је пружио увид у раздвајање више фаза депоновања минерала у рудним жицама. Издвојени типови високотемпературних жица су приказани у табели 10.

Табела 10: Редослед депоновања и карактеристике високотемпературних жица из порфирског дела система Чукару Пеки

Редослед	Тип жице	Присутни рудни минерали	Обогаћење микроелементима
1	Кварцне жице А	/	Није мерено
2	Кварцне жице Б	Халкопирит, борнит, пирит	Селен, кобалт
3	Пиритске жице Д	Пирит, халкопирит, борнит	Нема обогаћења
4	Магнетитске жице	Магнетит, хематит, пиротин, халкопирит	Није мерено

Као што је раније поменуто, уз ове високотемпературне жице јавља се више фација хидротермалних алтерација карактеристичних за порфирска лежишта: калијска алтерација, силификација, хлоритска алтерација и серицитизација.

Прецизније одређивање просторних система издвојених рудних жица је тешко одредити због малог броја картираних бушотина. Међутим, на основу доступних података, може се закључити да се магнетитске жице углавном јављају у дубљим деловима порфирског система (нпр., на дубини већој од 1500 m у бушотини TC160125). Такође, примећено је да се магнетитске жице и кварцне жице типа А и Б углавном јављају у p1 и p2 диоритима, док су у каснијим интрузивима присутне у много мањем обиму.

На основу спроведених рудномикроскопских испитивања (приказаних у прилогу доктората), може се закључити да су најважније жице за депоновање бакра и злата у овом делу система биле кварцне жице типа Б. Оне садрже највеће концентрације минерала бакра (халкопирита и борнита), а у неким од њих (узорак ср084) су анализом на SEM уређају детектована и зрна самородног злата и електрума. Такође у узорку ср088 је детектовано веома ситно зрно телурида паладијума. Пиритске жице типа Д и магнетитске жице такође садрже халкопирит и борнит, али у знатно мањој мери од кварцних жица.

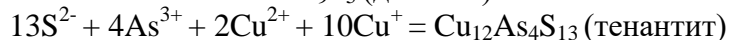
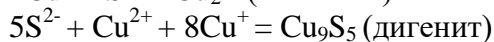
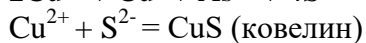
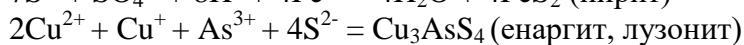
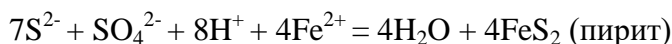
6.4.2 Епитермални стадијум

Sillitoe (2010) сматра да се у касној фази развоја порфирских система, епитермални флуиди са температурама од 250-350°C и ниском салинитетом (5-20 теж.% NaCl екв.) утискују у систем из магматског интрузива. Sillitoe & Hendenquist (2003) сматрају да лежишта високе сулфидације настају у 2 стадијума: 1) сулфатни стадијум, у коме се испољава напредна аргилитска алтерација стена са формирањем значајне количине алуниита, и 2) сулфидни стадијум, за који је карактеристично депоновање велике количине пирита, сулфида и сулфосоли бакра и злата.

Heinrich (2005) сматра да се депоновање минерала у овим лежиштима може објаснити кондензацијом водене паре из магме која садржи киселе компоненте (HCl, SO₂, H₂SO₄) и њеним мешањем са метеорским водама на малим дубинама. Пирит и енаргит су обично доминантни сулфиди у овим лежиштима, док су други рудни минерали углавном у мањим количинама: тенантит-тетраедрит, ковелин, самородно злато и електрум, ређе маркасит, халкопирит, сфалерит и галенит (Agribas, 1995). Депоновање бакра се углавном одвија као последња фаза у формирању лежишта; сулфиди бакра често запуњавају празне просторе и пукотине између ранијих сулфатних и сулфидних минерала (Corbett & Leach, 1998).

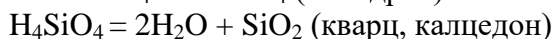
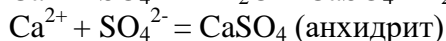
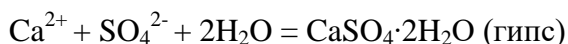
Arribas (1995) наводи да већина флуидних инклузија које су везане за депоновање високосулфидационих лежишта има температуре хомогенизације 180-330°C, док је салинитет у распону 1-18 теж. % NaCl екв. Са друге стране, Vodnar et al. (2014) у синтези података који се односе на више лежишта бакра и злата високосулфидационог типа, приказује да температуре хомогенизације у измереним инклузијама варирају у распону између 100°C и 350°C, док салинитет варира у распону између 0 и 23 теж. % NaCl екв. Moritz (2006), међутим, указује да су високе вредности салинитета инклузија из високосулфидационих лежишта последица слабе провидности енаргита и пирита на високим температурама и да би већина оваквих инклузија требало да има вредности салинитета између 1,1 и 1,7 теж. % NaCl екв.

Gržetić (1990) описује хемијске реакције које су довеле до депоновања сулфидних минерала у масивним сулфидима Борског лежишта:



Присуство параганезе халкозин-ковелин-пирит-енаргит указује на високу фугасност сумпора и арсена и повишени редокс потенцијал раствора.

Поред рудних минерала, у подручју масивних сулфида дошло је и до депоновања веће количине пратећих нерудних минерала:



Имајући у виду присуство ковелина и енаргита у љубичастим анхидритским жицама у порфирској и прелазно-епитермалној зони, као и присуство гипса у високосулфидационој зони, може се закључити да су љубичасте анхидритске жице биле доводни канали флуида који су депоновали масивне сулфиде у високосулфидационој зони система Чукару Пеки. Самим тим, може се закључити да испитиване флуидне инклузије у љубичастим анхидритским жицама (тип 5 и 6) садрже почетну фазу флуида која је депоновала масивне сулфиде у Горњој зони система. На основу овога би се могла извести претпоставка да је високосулфидациона минерализација у овом систему формирана на температурама између 150 и 350°C при салинитету флуида између 0,8 и 7 теж.% NaCl екв.

Међутим, ранија испитивања флуидних инклузија из високосулфидационих лежишта у Борској металогенетској зони (Кожел, 2002; Vailly et al., 2002) указују на нешто ниже температуре (од 150 до 250°C) од измерених температура хомогенизације инклузија типа 5 из система Чукару Пеки. Други проблем представља то што су секундарне инклузије у анхидриту (тип 6) везане за касније пукотине, тако да је одређивање њихове генетске везе са рудним жицама непоуздано.

С'обзиром да сулфидне жице у прелазној епитермалној зони садрже веће количине пирита, ковелина и енаргита, може се закључити да су оне вероватно депоноване током тока епитермалних флуида у високосулфидациону зону. Међутим, слично високосулфидационој зони, овај тип жица не садржи адекватне провидне минерале и због тога се не може користити за стандардно испитивање флуидних инклузија под пропуштеном светлошћу. Додатне анализе сулфидних минерала (попут инфрацрвене микротермометрије) су потребне

за боље одређивање карактеристика флуида који су довели до депоновања масивних сулфида у високосулфидационој зони.

Издвојени типови нискотемпературних жица у порфирском делу система Чукару Пеки су приказани у табели 11.

Табела 11: Редослед депоновања и карактеристике нискотемпературних жица из порфирског дела система Чукару Пеки.

Редослед	Тип жице	Присутни рудни минерали	Обогаћење микроелементима
1	Љубичасте анхидритске жице	Пирит, халкопирит, ковелин, борнит	Кобалт
2	Сулфидне жице	Пирит, ковелин	Бакар
3	Наранџасте анхидритске жице	/	Није мерено

Концентрације различитих елемената у сулфидним минералима указују да издвојене жице у лежишту Чукару Пеки представљају различите фазе депоновања флуида које и концентришу различите микроелементе. Ово такође помаже да се боље идентификују жице и минерали у којима се концентришу ретки елементи, попут злата, сребра и германијума.

За средине у којима се налазе љубичасте анхидритске жице, као и сулфидне жице, најчешће је везана хлоритска алтерација, док је за просторе уз наранџасте анхидритске жице углавном везана аргилитска алтерација.

Издвојени фазе депоновања у високосулфидационом делу система Чукару Пеки су приказани у табели 12:

Табела 12: Редослед депоновања и карактеристике жица из високосулфидационог дела система Чукару Пеки

Редослед	Тип жице	Присутни рудни минерали	Обогаћење микроелементима
1	Масивни пирит (Py1)	Ситнозрни пирит	Кобалт
2	Pу-en жице	Пирит, енаргит	Никл, кобалт, германијум
3	Pу-сов жице	Пирит, ковелин, енаргит	Злато, сребро, олово
4	Pу2 жице	Пирит	Није мерено
5	Маркаситске жице	Маркасит, арсенопирит, сфалерит	Манган, антимон
6	Калцитско-анхидритске жице	/	Није мерено

Скраћенице: Pу- пирит; Сов- ковелин; En- енаргит

Уз ове жице у високосулфидационом делу система углавном је везана напредна аргилитска и аргилитска алтерација.

Слично порфирском делу система, прецизно одређивање просторних система издвојених рудних жица је тешко изводљиво због малог броја картираних бушотина. Међутим, могуће је јасно раздвојити да се Pу-en, Pу-сов и Pу2 жице јављају искључиво у Горњој (високосулфидационој) зони лежишта Чукару Пеки, док се остали типови жица углавном јављају у Прелазној епитермалној зони. Такође је примећено да су у хипсометријски највишим деловима Горње зоне доминантне Pу-сов жице (и масивни пирит), док се у нижим нивоима смањује број Pу-сов жица, а повећава број Pу-en жица.

На основу спроведених рудномикроскопских испитивања (приказаних у прилогу доктората) и мерења садржаја микроелемената, може се закључити да су најважније жице за депоновање бакра и злата у овом делу система биле Pу-сов жице. Ове жице садрже највише

концентрације минерала бабра (ковелина и енаргита), као и највише концентрације злата и сребра у пириту. Ру-ен жице такође садрже високе концентрације енаргита, али је садржај бабра у њима нижи пошто не садрже ковелин. Међутим ове жице могу имати већи значај, пошто је у енаргиту из ових жица измерен висок садржај германијума.

6.5 Пратеће појаве депоновања рудне минерализације

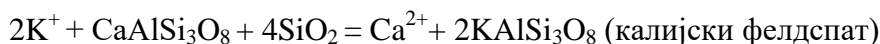
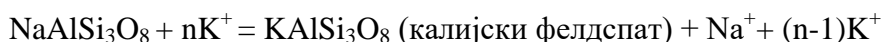
Као најважније пратеће појаве депоновања рудне минерализације хидротермалних лежишта могу се издвојити хидротермалне алтерације, пострудне деформације, оксидација примарних минерала и ореоли расејавања (Јанковић, 1981; Бугарин и Маринковић, 2018).

6.5.1 Хидротермалне алтерације

Петрографским испитивањима узорака из хидротермалног система Чукару Пеки (Раџевски et al., 2012; Раџевски et al., 2013; Cornejo, 2017), утврђено је присуство различитих хидротермалних алтерација. По овим испитивањима, алтерације које су највише детектоване у испитиваним узорцима су: силификација, пропилитизација, аргилитска алтерација, напредна аргилитска алтерација, калијска алтерација и серицитизација.

Калијска алтерација се углавном манифестује на високим температурама при алкалним или неутралним рН условима (Corbett & Leach, 1998). Највише утиче на ране генерације диорита, док се у каснијим генерацијама њен утицај прогресивно смањује (Sillitoe, 2010).

По Gržetiću (1996) замена плагиокласа калијским фелдспатима се може описати следећим хемијским реакцијама:



Kanazirski et al. (2002) сматрају да калијска алтерација представља прву фазу развоја порфирских система бабра у области Средњогорје у Бугарској (која представља део АВТС појаса). По процени ових аутора, калијска алтерација у порфирским лежиштима у овој области се десила при температурама од 500-550°C. Међутим, мерења флуидних инклузија указују да је у порфирском лежишту Елаците, калијска алтерација везана за флуиде са температурама преко 600°C (Stefanova et al, 2014; Georgiev, 2019).

У хидротермалном систему Чукару Пеки, калијска алтерација је уско повезана са силификацијом и јавља се у непосредној околини диоритских интрузива (Бугарин и Маринковић, 2018). Сматра се да је калијска алтерација у овом систему везана за депоновање кварцних жица типа А (Sillitoe, 2017). Ова алтерација се карактерише присуством необиотита и магнетита (који је местимично промењен у пирит дејством каснијих алтерација). Највише концентрације халкопирита и пирита у порфирском делу система су везане за калијску алтерацију, која је знатно „рудноснија“ од других типова хидротермалних алтерација (Бугарин и Маринковић, 2018).

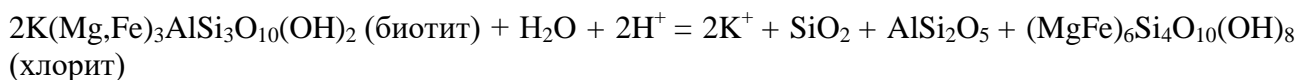
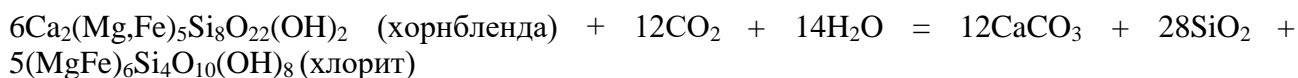
Присуство флуидних инклузија које садрже силвит (тип 2а и 2б) указује да су флуиди у систему Чукару Пеки били богати калијумом, који је вероватно довео до калијске алтерације у раној фази развоја порфирског система. На основу овога би могло да се закључи да је калијска алтерација у овом систему формирана на температури од 330-470°C. Међутим, ако се прихвати мишљење да се калијска алтерација у овом систему јавља уз кварцне жице типа А (Sillitoe, 2017), то вероватно указује да су и примарни флуиди (инклузије типа 1) били

богати калијумом. У овом случају, температура формирања калијске алтерације би могла да буде значајно виша, чак и преко 600°C.

Хлоритизација се манифестује у виду карактеристичне зелене боје стена, настале услед трансформације скоро свих мафичних минерала у хлорит и/ или епидот, док плагиокласи прелазе у серицит. Углавном се испољава у плићим деловима порфирских система, где маскира калијску алтерацију (Sillitoe, 2010). Настаје дејством флуида са алкалним или неутралним рН условима на петрогене минерале околних стена (Corbett & Leach, 1998).

У појединим публикацијама, овај тип алтерације у којем долази до формирања хлорита и/или епидота се назива и пропицитска алтерација (Corbett & Leach, 1998; Georgiev, 2019), док поједини аутори сматрају да су ово два различита типа алтерације (Gržetić, 1996).

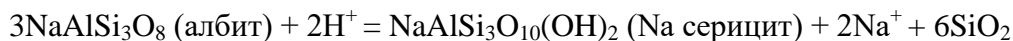
По Gržetiću (1996) замена мафичних минерала (хорнбленде и биотита) хлоритом се може описати следећим хемијским реакцијама:



Georgiev (2019) сматра да је овај тип алтерације у порфирском лежишту Елаците у Бугарској настао порастом киселости (смањењем рН вредности) раствора при температурама између 250 и 425°C. У хидротермалном систему Чукару Пеки је примећено да се богатија минерализација у порфирској зони јавља уз калијску и уз хлоритску алтерацију (Бугарин и Маринковић, 2018).

Серицитска алтерација настаје на температурама изнад 250°C у условима рН вредности између 4 и 5 (Corbett & Leach, 1998). Главна карактеристика овог типа алтерације је присуство серицита или мусковита. У порфирским лежиштима, овај тип алтерације углавном маскира или делимично уништава производе калијске и хлоритске алтерације (Sillitoe, 2010). Изотопска мерења указују да у неким лежиштима серицитска алтерација настаје утискивањем магматских флуида у плиће делове система, током чега долази до прогресивног хлађења и смањења садржаја калијума (Corbett & Leach, 1998).

Gržetić (1996) описује замену ортокласа и плагиокласа серицитом путем следећих хемијских реакција:



Georgiev (2019) сматра да је овај тип алтерације у порфирском лежишту Елаците у Бугарској настао на температурама између 250 и 350°C.

Sillitoe (2017) сматра да серицитизација у систему Чукару Пеки углавном маскира раније формирану калијску алтерацију. Овај тип алтерације углавном покрива целу стенску масу и праћен је импрегнацијама пирита, које понекад садрже ковелин и борнит.

Овај тип алтерације се у систему Чукару Пеки често јавља уз љубичасте анхидритске жице, које садрже инклузије типа 5. На основу њихове температуре хомогенизације, може се претпоставити да је формиран на температурама између 250-400°C.

Напредна аргилитска алтерација настаје дејством киселих флуида (који имају рН вредност испод 4) и карактерише је присуство силиције и алунита (Corbett & Leach, 1998). Овако кисели хидротермални раствори доводе до скоро потпуног испирања катјона из стена

(Gržetić, 1996). Према Sillitoe (2010) напредна аргилитска алтерација има већи утицај на стене које имају нижу могућност неутрализације киселина, као што су пешчари и киселе магматске стене, док се у базичним магматским стенама слабије испољава.

У Горњој зони система Чукару Пеки доминантан тип алтерације је напредна аргилитска алтерација са шупљикавом (енгл. *vuggy*) силицијом и кварц-алунитом. У доњим деловима Горње зоне, доминатна фација алтерације постаје кварц-алунит-дикит (Sillitoe, 2017). Локално се јављају и пиропилит и дијаспор. Овај тип алтерације се углавном јавља уз масивне сулфиде и захвата простор ширине до 10 m. Удаљавањем од масивних сулфида, ова алтерација постепено прелази у зоне богате каолинитом (аргилитска алтерација) (Бугарин и Маринковић, 2018).

Sillitoe (2017) сматра да су флуиди који су довели до напредне аргилитске алтерације настали кондензацијом киселих магматских гасова, богатих са HCl и SO₂, као и да су се кретали узлазном путањом из апикалних делова диоритског интрузива ка вишим нивоима. Овом алтерацијом су створене пермеабилне зоне са шупљикавом силицијом, које су представљале повољну средину за утискивање каснијих рудоносних флуида са бакром.

Аргилитска алтерација настаје на релативно ниским температурама хидротермалног стадијума (200-250°C) у благо киселој средини (са рН вредношћу флуида између 4 и 5) (Corbett & Leach, 1998). Код овог типа алтерације излуживање катјона је присутно у знатно мањој мери него у случају напредне аргилитске алтерације. Понекад се јављају минерали монтморионит и илит, који указују да је у стенама дошло до делимичног, али не и потпуног излуживања катјона (Gržetić, 1996). Сматра се да минерали из каолинске групе (каолинит, пиропилит, дикит) настају у условима рН раствора око 4, док остали минерали глина (серицит, илит, смектит) настају у условима веће неутрализације, односно срединама у којима рН раствора износи око 5 (Corbett & Leach, 1998). Kanazirski et al. (2002) сматрају да се аргилитска алтерација јавља у порфирским системима у којима метеорски флуиди имају велики утицај, док је значајно мање присутна у системима у којима су доминантни магматски флуиди.

Бугарин и Маринковић (2018) наводе да у хидротермалном систему Чукару Пеки постоје два фронта ове алтерације:

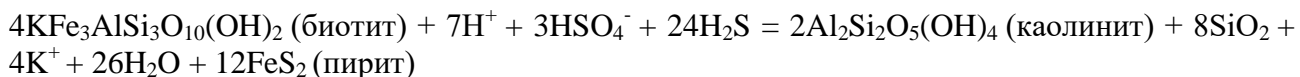
- 1) Ореол каолинит-пирит (до каолинит-смектит) представља алтерациони фронт око високосулфидационе минерализације. Овај фронт се карактерише високим садржајима злата без бабра, (1-10 g/t Au). У овој зони су уочене и дисконтинуиране, али високе аномалне вредности садржаја олова и цинка (везане за импрегнације или прожилке галенита и сфалерита), као и самородни сумпор у виду прожилака у пукотинама и у виду импрегнација.
- 2) На каолинит-пиритску зону се наставља тзв. дистални ореол аргилитске алтерације. У овом ореолу, који се простире на растојању од приближно 100 m од обода високосулфидационе зоне, у фрактурама преовлађују смектит и монтморилонит. Слабије развијени аргилитски фронт се уочава и изнад лежишта, док се главна зона аргилитске алтерације налази по ободу и испод Горње зоне.

Sillitoe (2017) сматра да је овај тип алтерације у систему Чукару Пеки настао хлађењем и неутрализацијом киселих флуида који су довели до напредне аргилитске алтерације. Ова алтерација је довела до формирања зона богатих глином, које су због своје ниске пропусности представљале баријеру за ток флуида богатих бакром. Због овога глиновите зоне представљају границу Горње зоне система Чукару Пеки.

Пиритизација има двојаки карактер, пошто је пирит чест пратилац рудних минерала, нарочито у лежиштима која се јављају у виду масивних сулфида. Међутим, пирит је често

присутан и у другим стенама у којима није депонована минерализација, већ је дошло до испирања гвожђа из стена и формирања пирита, који је затим депонован (Gržetić, 1996). Sillitoe & Hedenquist (2003) сматрају да лежишта високе сулфидације генерално настају у 2 стадијума: 1) сулфатни стадијум који прати напредна аргилитска алтерација стена са стварањем веће количине алунита и 2) сулфидни стадијум, током кога настају веће масе пирита, сулфосоли и злата. Велике количине пирита и других минерала бакра се депонују у зонама које су претходно алтерисане шупљикавом силицијом (напредна аргилитска алтерација) и зонама интрузивних бреча (Sillitoe, 2010).

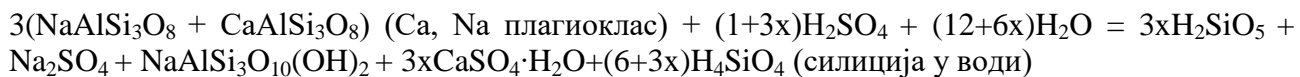
Gržetić (1996) приказује реакцију растварања биотита у којој долази до депоновања пирита:



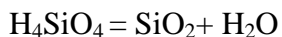
У систему Чукару Пеки, пиритизација је карактеристична за високосулфидациону зону. Sillitoe (2017) сматра да се у овом систему процес пиритизације одвијао након напредне аргилитске алтерације, а пре депоновања рудних минерала. По овом аутору је, на основу величине зрна, могуће раздвојити две генерације пиритизације.

Силификација подразумева процес замене стена SiO_2 минералима, као што су кварц или калцедон. Силиција (SiO_2) може бити принета хидротермалним растворима или однета дејством алтерација на околне стене (Gržetić, 1996). Кварц и силиција се јављају као пратећа појава више алтерација у порфирским системима, пошто су хидротермални флуиди углавном засићени са SiO_2 (Corbett and Leach, 1998). На вишим температурама се силиција депонује у виду кварца а на нижим температурама ($100^\circ - 200^\circ \text{C}$) у виду калцедона, нарочито у условима брзог таложења (Brown, 1986). На високим температурама (изнад 300°C) нагли пад притиска може довести до презасићења силиције, што утиче на депоновање кварцног штокверка. До депоновања кварца такође може доћи и услед мешања сланих магматских и разблажених метеорских флуида (Corbett and Leach, 1998).

Gržetić (1996) приказује реакцију растварања плагиокласа хидротермалним растворима и издвајања силиције:



Добијена силиција у води (силицијумска киселина) се временом обара у виду кварца или калцедона:



Испитивање кварцних кристала из порфирског лежишта Елаците у Бугарској указује да се температуре хомогенизације различитих флуидних инклузија крећу од веома високих (преко 600°C) до веома ниских (испод 120°C) (Stefanova et al, 2014). Депоновање SiO_2 у виду кварцних жица се одвијало током целог трајања хидротермалног процеса. Последњи стадијум депоновања је представљен нискотемпературним калцедоном (Georgiev, 2019).

У хидротермалном систему Чукару Пеки је примећено да се најбогатији делови порфирске минерализације карактеришу интензивном силификацијом или кварцним штокверком и кварцним жицама, које су уско повезане са калијском алтерацијом (Бугарин и Маринковић (2018).

Измерене температуре хомогенизације флуидних инклузија из кварцних кристала у Доњој зони система Чукару Пеки указују на велике распоне температура на којима су оне

формиране (од преко 600°C до мање од 100°C). Међутим, утврђено је да се депоновање кварцних жица вероватно одвијало два стадијума:

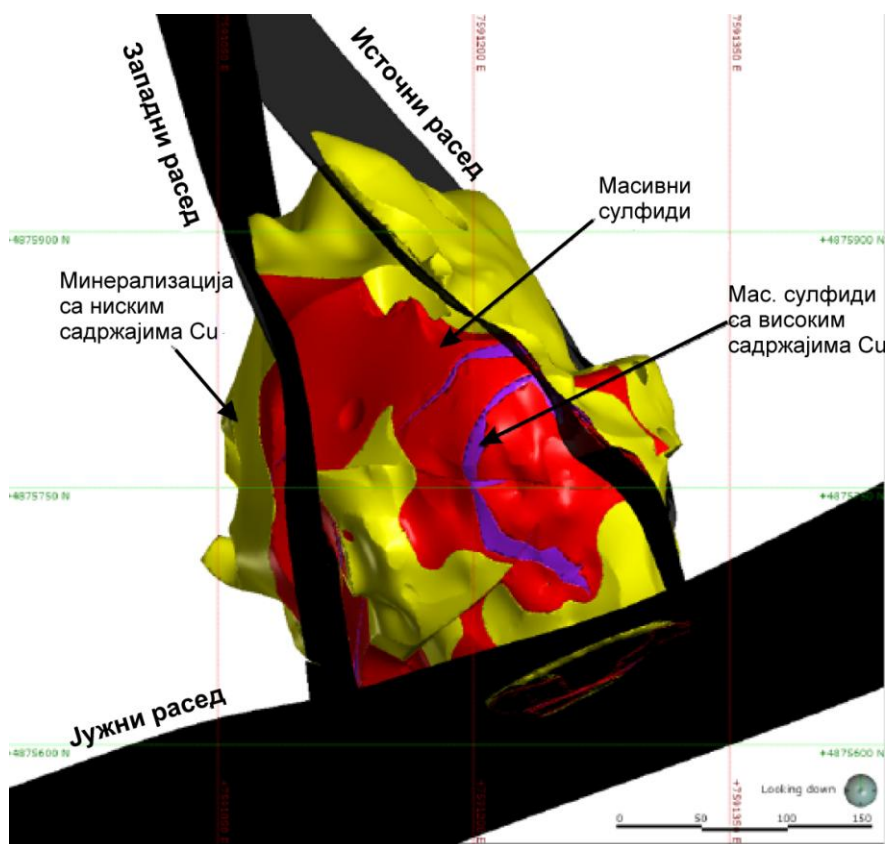
- 1) Депоновање кварцних жица типа А (које садрже инклузије типа 1) се вероватно десило на температурама преко 600°C.
- 2) Депоновање кварцних жица типа Б (које садрже инклузије типа 2б, 3 и 4) се вероватно десило на температурама око 400°C.

Поред кварцних жица, у високосулфидационом епитермалном стадијуму је такође дошло до депоновања веће количине силиције, током напредне аргилитске алтерације.

6.5.2 Пострудне структурне деформације

Као што је раније поменуто, најмаркантији раседи у ширем подручју система Чукару Пеки су углавном везани за D4 деформациони догађај (неогене старости) по којима је извршено кретање повлатних блокова ка истоку, као што су Брестовачки расед, Централни расед у Чукару Пекију, Борски расед и други (Толијић, 2016). За положај Доње зоне хидротермалног система Чукару Пеки су најважнија 2 пострудна раседа: расед Бор 2 и Централни расед, који су паралелни са Борским раседом (Бугарин и Маринковић, 2018).

Горња зона система Чукару Пеки је ограничена са два релативно велика пострудна раседа који су названи Источни расед и Западни расед. Такође и тзв. Јужни расед има утицај на положај ове зоне, пошто се минерализација углавном налази северно од њега (Jakubec et al., 2018). Тродимензионални модел ових раседа приказан је на слици 56.

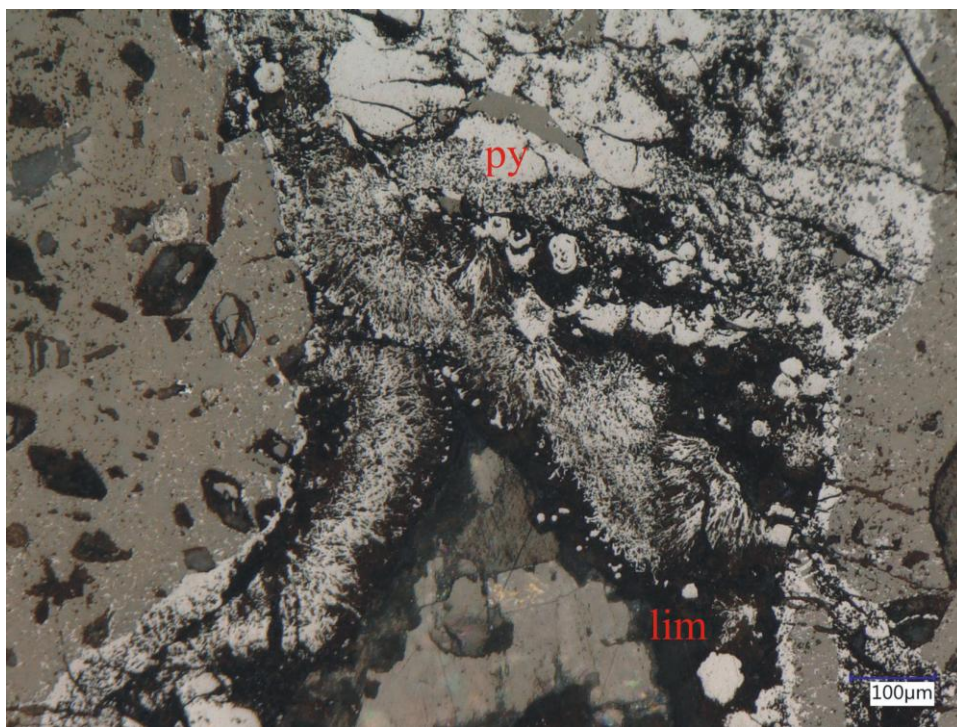


Слика 56: Тродимензионална реконструкција већих пострудних раседа у Горњој зони система Чукару Пеки. Пројекција је моделована у Leapfrog софтверу и приказана је у плану (гледајући одозго). Модификовано из Jakubec et al. (2018).

6.5.3 Оксидација примарних минерала

Sillitoe (2017) сматра да у Горњој зони хидротермалног система Чукару Пеки нема геолошких индикатора који указују на то да је дошло до оксидације примарних минерала. Такође током спроведених рудномикроскопских испитивања (Раџевски et al., 2012; Раџевски et al., 2013; Раџевски, 2014; Раџевски, 2014; Comejo, 2017) нису пронађени минерали који указују на процесе оксидације (као што су нпр. оксиди или карбонати бабра). Међутим, Sillitoe (2017) наводи да се у бушотини TC150091 могу приметити импрегнације јарозита и прелазак пирита у халкозин, што указује на процесе оксидације. Наводи да се ово вероватно може објаснити понирањем површинских (метеорских) вода дуж раседа који су постојали пре депоновања седимената миоценске старости.

Током истраживања спроведених за потребе ове дисертације, установљено је да се у бушотини FMTC1330 налазе одређене зоне које указују на процесе оксидације, јер се у њима налази лимонит (слика 57). Пошто се ова бушотина налази на ободном делу Горње зоне и пошто пресеца неколико раседа, појава зоне оксидације се може објаснити већим утицајем метеорских флуида који су циркулисали дуж раседа. нема већег утицаја на тип минерализације и економски значај лежишта.



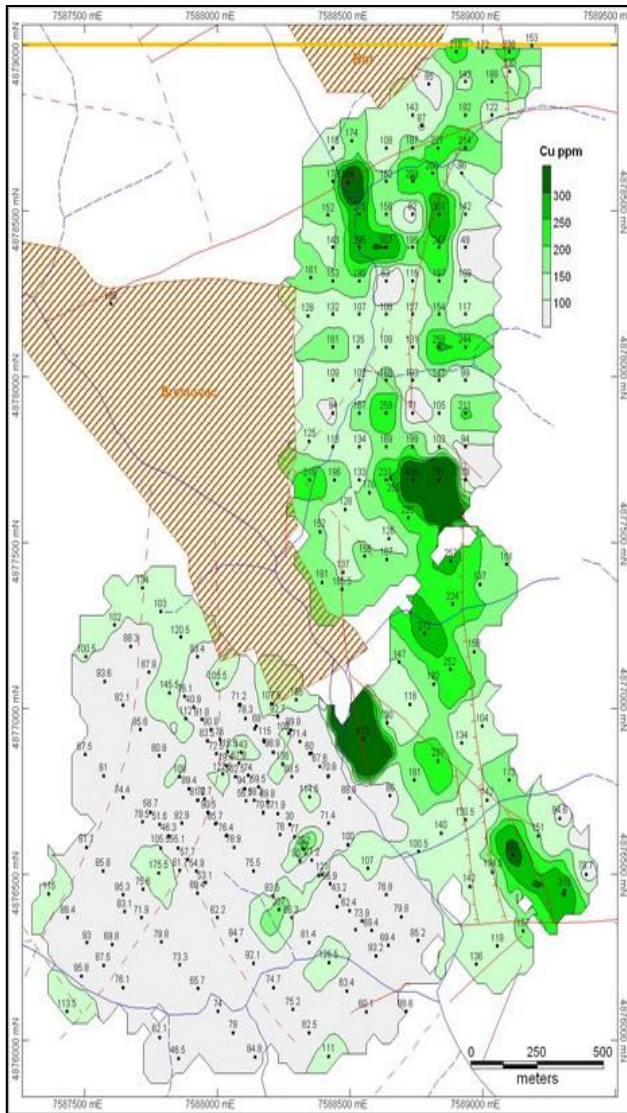
Слика 57: Оксидисали колоформни пирит (py) и лимонит (lim) у пукотинама у алтерисаном андезиту, фотомикрографија у одбијеној светлости. Узорак је узет из бушотине FMTC1330 на дубини од 738 m.

6.5.4 Ореоли расејавања

На основу литогеохемијске проспекције примарних ореола расејавања на хидротермално промењеним стенама у истражном простору Брестовац, потврђена је минерална потенцијалност истраживаног подручја (Бугарин и Маринковић, 2018).

Систематско металометријско опробавање терена земљишта вршено је од стране компаније Rakita exploration на подручју које се налази источно, североисточно и северно од

села Брестовац. На основу ових испитивања, издвојени су геохемијски ореоли расејавања за бакар и злато (слика 58). Са друге стране, испитивањем ореола расејавања у поточним седиментима у овом истражном подручју нису уочени повећани садржаји елемената индикатора и других елемената (Бугарин и Маринковић, 2018).



Слика 58: Секундарни ореоли расејавања бакра у земљишту у истражном подручју Брестовац у близини хидротермалног система Чукару Пеки, модификовано из Бугарин и Маринковић (2018).

7. ЗАКЉУЧАК

Очекивани научни резултат истраживања спроведених током израде дисертације су одговори на следећа питања:

- 1) Утврђивање генетске везе хидротермалног система Чукару Пеки и хидротермалног система Бор, а посебно њене природе (геодинамичка, магматска, структурно-геолошка, временска и др.).
- 2) Дефинисање основних физичко-хемијских и термодинамичких карактеристика рудоносних флуида који су продуковали различите типове рудне минерализације у хидротермалном систему Чукару Пеку (температура, притисак, салинитет, густина и др.), као и њихове промене од почетних стадијума формирања (порекло вода, процеси мобилисања рудних елемената и др.) до завршних (депоновање рудних минерала).
- 3) Утврђивање минералног састава и редоследа формирања различитих типова рудне минерализације, укључујући анализу минералних парагенеза, главних рудних минерала бакра и злата, као и других елемената и њихове везе са различитим фазијама хидротермалне алтерације.

Закључци спроведених истраживања који доприносе решавању ових проблема су приказани у следећим целинама.

7.1 Утврђивање генетске везе са оближњим порфирским системима

7.1.1 Садржај елемената ретких земаља у стенама

Резултати спроведених анализа целих стена указују да је развој магматског интрузива из ког је формиран хидротермални систем Чукару Пеки сличан развоју осталих порфирских система у Тимочком магматском комплексу. Магматски интрузив се развијао у два стадијума која су утицала на настанак рудне минерализације:

- 1) Фракционација амфибола у условима високог притиска, што је утицало на настанак магме са адакитским карактеристикама.
- 2) Засићење сулфидима, чиме се може објаснити велика количина минерала из групе сулфида (пирит, халкопирит, ковелин, енаргит) депонованих у хидротермалном систему.

7.1.2 Одређивање старости и садржаја микроелемената у цирконима

Резултати одређивања старости циркона указују да је минерализација бакра и злата у хидротермалном систему Чукару Пеки формирана у раздобљу између 86,78 Ма и 85,19 Ма. На основу поређења са резултатима претходно спроведених истраживања на цирконима из других порфирских система у Тимочком магматском комплексу, може се закључити да је систем Чукару Пеки сличне старости као порфирски систем у Великом Кривељу (између 86,29 и 86,17 Ма), и да су ова два система неколико милиона година старији од порфирских система у Бору и Мајданпеку.

Вредности параметара микроелеманата у цирконима (еуропијумова аномалија и однос $10.000 \cdot (Eu/Eu_n)/Y$) указују да је хидротермални систем Чукару Пеки настао из продуктивног

магматског интрузива, који је вероватно садржао пуно воде. Церијумова аномалија у цирконима такође показује повишене концентрације (углавном изнад 300), што указује да је магма у овом интрузиву имала висок оксидативни потенцијал.

Односи садржаја Th/U и Yb/Gd у анализираним цирконима указују да је у систему дошло до фракционације магме и вероватно, до мешања магми различитих састава.

7.2 Утврђивање физичко-хемијских карактеристика рудоносних флуида

7.2.1 Мобилизација и транспорт рудних елемената

У почетним стадијумима формирања хидротермалног система Чукару Пеки мобилизација воде, метала, сумпора и других лакоиспарљивих компоненти је вршена магматским растворима који су издвојени из матичног интрузива. Доказ за магматско порекло флуида је присуство флуидних инклузија високог салинитета, које су богате натријумом, калијумом и гвожђем (инклузије типа 1, 2а, 2б и 3). Мобилизација флуида се одвијала у дубљим деловима магматског интрузива. Вероватно је прво из магме издвојен наткритични флуид високе температуре и средњег салинитета (инклузије типа 1), који је каснијим кључањем раздвојен на течну фазу високог салинитета (инклузије типа 2б и 3) и гасовиту фазу ниског салинитета (инклузије типа 4).

У каснијим стадијумима формирања овог система метеорски флуиди добијају све већу важност. На присуство метеорских флуида у овом систему указују флуидне инклузије ниског салинитета и температуре хомогенизације (инклузије типа 6 и 7), као и присуство нискотемпературних алтерација (попут широко распрострањене аргилитске алтерације у прелазној епитермалној зони).

На основу присутних рудних и алтерационих минерала у хидротермалном систему Чукару Пеки, као и аналогijом са Борским лежиштем, може се закључити да су главни видови преноса бакра и злата били хлоридни и бисулфидни комплекси. Такође, на основу стабилности различитих минералних фаза, може се закључити да се транспорт одвијао хидротермалним флуидима чија је рН била између 7 и 2 (неутрална до веома кисела) и који су били редукциони (са вредностима Eh између 0 и -0,5).

Као главни контролни фактори просторног положаја хидротермалног система Чукару Пеки се могу издвојити магматски, структурни и литолошки фактор.

1) Магматски фактор

Хидротермални систем Чукару Пеки је просторно и генетски везани за продукте прве вулканске фазе Тимочког магматског комплекса. Структура и минерални састав магматских стена указују да је магма била богата водом, а дистрибуција елемената из групе ретких земаља указује да је магма имала адакитске карактеристике (Kolb et al., 2013).

Ванјејевић et al. (2019) сматрају да се стене прве вулканске фазе могу поделити на две фазе: V1А (са адакитским карактеристикама) и V1В (са карактеристикама нормалних андезита). V1А фаза је вероватно била продуктивнија због дужег боравка магме у плитким зонама, што је довело до интензивне кристализације плагиокласа и повећања садржаја воде.

2) Литолошки фактор

Стене у којима се налази хидротермални систем Чукару Пеки су Доњи андезити, и више издвојених интрузивних диоритских фаза. У Доњој зони система Чукару Пеки

издвојено је 5 диоритских фаза, названих П1, П2, П4, П9 и П10. Доњи андезити су углавном алтерисани. Имају порфирску структуру са холокрсталастом основном масом и више од 50 запр. % фенокрстала, међу којима су доминантни плагиокласи (Banješević et al., 2019).

3) У оквиру структурних фактора могу се извојити разломне структуре и интрузивне брече.

Разломне структуре

За генезу хидротермалног система Чукару Пеки су посебно важни горњокредни екстензиони тектонски догађаји праћени спуштањем по раседним структурама рифтног система (Бугарин и Маринковић, 2018). Током овог тектонског догађаја су формирани прерудни раседи који су на терену уочени у области Рекјавичког потока и на источном рубу басена Слатине. Сматра се да у систему Чукару Пеки прерудне структуре пружања исток-запад контролишу положај минерализације. Један од ових раседа је вероватно IZ расед који се приближно поклапа и са прелиминарно издвојеном зоном унакрсних структура.

Најмаркантији раседи у ширем подручју система Чукару Пеки су реверсни раседи, углавном неогене старости, као што су Брестовачки расед, Централни расед у подручју Чукару Пеки, Борски расед и други. Ови раседи су довели до значајних хоризонталних и вертикалних кретања блокова у којима се налази систем Чукару Пеки.

Што се тиче Горње зоне система Чукару Пеки, нема јасних доказа да прерудни раседи контролишу њен положај. Ова зона са високосулфидационом минерализацијом је просторно ограничена са три велика пострудна раседа који су названи Источни расед, Западни расед и Јужни расед (Jakubec et al., 2018).

Интрузивно-хидротермалне брече

На основу података који су добијени геолошким картирањем језгара истражних бушотина и аналогијом са другим порфирским системима у Тимочком магматском комплексу и, шире, у свету, може се закључити да су интрузивно-хидротермалне брече имале значајан утицај на пораст порозности и пермеабилности околних стена рудне минерализације, и да су омогућиле циркулацију хидротермалних раствора.

Бречизирање стена у хидротермалном рудоносном систему Чукару Пеки се одвијало у два стадијума:

- 1) Интрузивно бречизирање, настало у условима флуидизације стена под утицајем врелих раствора киселог карактера.
- 2) Колапсно бречизирање, формирано урушавањем високо тектонизирног стенског материјала након наглог утискивања раствора.

У високосулфидационој, масивно-сулфидној зони хидротермалног система Чукару Пеки су идентификована и два стадијума формирања хидрауличних бреча:

- 1) Хидрауличне брече са кварцом, настале утискивањем флуида под притиском и фрактурисањем стена са кварцом и енаргитом у матриксу.
- 2) Хидрауличне брече са ковелином; такође су настале утискивањем флуида, али са ковелином у матриксу.

7.2.2 Карактеристике хидротермалних флуида

На основу резултата петрографских испитивања и микротермометријских мерења флуидних инклузија у кварцним жицама и анхидриту из хидротермалног система Чукару Пеки, закључује се да је у процесу формирања хидротермалног рудоносног система, егзистирало више типова флуида, и то:

У кварцним жицама су уочена четири типа групација флуидних инклузија:

- 1) Примарне високотемпературне групације (тип 1), које садрже кристале соли и чије су температуре хомогенизације изнад 550°C.
- 2) Групација флуидних инклузија сланих раствора (тип 2a), које су расејане у кристалима кварца и садрже две или више чврстих фаза у инклузији (2 кристала соли ± непровидни минерал ± хематит).
- 3) Примарна асоцијација сланих раствора (тип 2b и тип 3), са једном или више чврстих фаза (1-2 кристала соли + непровидни минерал ± хематит). Поменуте групације флуидних инклузија су вероватно формиране кључањем високотемпературних раствора; већина њих хомогенизује на температурама око 400°C.
- 4) Наизглед једнофазне инклузије богате паром (тип 4) ниског салинитета које се налазе у истим асоцијацијама као групације типа 2b и типа 3. Овај тип инклузија има низак салинитет и хомогенизује око 400°C. Заједничка појава сва три типа инклузија са сличним температурама хомогенизације, указује да су групације формиране у условима кључања раствора.

Љубичасте анхидритске жице у хидротермалном рудоносном систему Чукару Пеки садрже два типа групација флуидних инклузија:

- 1) Примарне групације флуидних инклузија (тип 5), које понекад садрже непровидне минерале. Формиране су на температурама око 300°C, са салинитетом флуида између 0,87 и 7 теж.% NaCl екв.
- 2) Секундарне нискотемпературне групације инклузија (тип 6). Већина ових инклузија је формирана на температурама нижим од 200°C и вероватно нису од већег значаја у процесу настанка рудне минерализације.

Последња генерација флуида која је деловала на овај хидротермални систем је присутна у секундарним нискотемпературним инклузијама (тип 7). Детектоване су у наранцастом анхидриту и кварцу, а температуре њихове хомогенизације не прелазе 150°C.

7.3 Утврђивање минералног састава и редоследа формирања минерализације

7.3.1 Депоновање рудних минерала

Издавање главних рудних минерала и пратећих минерала рудне асоцијације из хидротермалних сулфида, може се издвојити у два стадијума: *порфирски*, штокверкно-импрегнациони и *епитермални*, високосулфидациони масивно-сулфидног типа.

Порфирски стадијум

На основу измерених температура хомогенизације инклузија из примарне асоцијације сланих раствора и температура растварања соли у инклузијама типа 2б и 3, закључује се да се процес кључања и депоновања рудних минерала у порфирском делу система Чукару Пеки одвијао на температурама између 350°C и 450°C, при салинитетима флуида између 28 и 43 теж.% NaCl екв.

Израчунате вредности притиска при којем је дошло до кључања и депоновања минерала у систему Чукару Пеки варирају између 100 и 500 бара. Ове вредности притиска одговарају варијацијама између литостатичког и хидростатичког притиска на дубинама између 1 и 2 km од палеоповрши терена. Вертикални интервал у коме је депонована рудна минерализација је већи од 1,5 km.

На основу проучавања рудних парагенеза, утврђен је следећи редослед депоновања рудних минерала, односно минерални састав жица у порфирском стадијуму:

- 1) Кварцне жице типа А без рудних минерала;
- 2) Кварцне жице типа Б са халкопиритом, борнитом и пиритом;
- 3) Пиритске жице типа Д са пиритом, халкопиритом и борнитом;
- 4) Магнетитске жице са хематитом, пиротином и халкопиритом.

На основу спроведених рудномикроскопских испитивања, може се закључити да су најважније жице за депоновање бакра и злата у овом делу система биле кварцне жице типа Б. Пиритске жице типа Д и магнетитске жице такође садрже повишене садржаје бакра, али у знатно мањој мери од кварцних жица.

Епитермални стадијум

На основу присуства ковелина и енаргита у љубичастим анхидритским жицама у порфирској и прелазно-епитермалној зони, може се закључити да испитиване флуидне инклузије у љубичастим анхидритским жицама (тип 5 и 6) садрже почетну фазу флуида из којих су депоновани масивни сулфиди у горњој зони система. На основу овога се закључује да је високосулфидациони тип минерализације у хидротермалном рудоносном систему Чукару Пеки настао у температурном интервалу 150-350°C при салинитету флуида између 0,8 и 7 теж.% NaCl екв. Ова претпоставка, међутим, захтева потврду испитивањем флуидних инклузија у минералима из високосулфидационог дела система Чукару Пеки. Главни проблем представља то што у домену високосулфидационе, масивно-сулфидне минерализације нису утврђени адекватни минерали за испитивање флуидних инклузија под пропуштеном светлошћу. За доношење релевантних закључака може се користити проучавање инклузија у сулфидним минералима под инфрацрвеном светлошћу.

На основу резултата који су добијени проучавањем рудних парагенеза, утврђен је редослед депоновања рудних минерала, као и минерални састав нискотемпературних жица у порфирском делу система Чукару Пеки, и то:

- 1) Љубичасте анхидритске жице са пиритом, халкопиритом, ковелином и енаргитом;
- 2) Сулфидне жице са пиритом и ковелином;
- 3) Наранцасте анхидритске жице без рудних минерала.

Такође је одређен редослед депоновања жица и минералних парагенеза у високосулфидационом и прелазно-епитермалном делу система Чукару Пеки:

- 1) Масивни пирит (Ру1);
- 2) Ру-еп жице са пиритом и енаргитом;
- 3) Ру-сов жице са пиритом, ковелином и енаргитом;
- 4) Ру2 жице са пиритом;
- 5) Маркаситске жице са арсенопиритом и сфалеритом;
- 6) Калцитско-анхидритске жице без рудних минерала;
- 7) Калцитске жице без рудних минерала.

На основу спроведених рудномикроскопских испитивања и мерења садржаја микроелемената, може се закључити да су најважније жице за депоновање бакра и злата у овом делу система биле Ру-сов жице. Ру-еп жице такође садрже високе концентрације енаргита, али је садржај бакра у њима нижи пошто не садрже ковелин.

7.3.2 Пратеће појаве депоновања рудне минерализације

Као најважније пратеће појаве депоновања рудне минерализације у хидротермалном систему Чукару Пеки могу се издвојити хидротермалне алтерације, пострудне деформације, оксидација примарних минерала и ореоли расејавања.

Хидротермалне алтерације

Најзначајнији типови алтерација у хидротермалном систему Чукару Пеки су: силификација, пропицитизација, аргилитска алтерација, напредна аргилитска алтерација, калијска алтерација и серицитизација.

Калијска алтерација се јавља у непосредној околини диоритских интрузива. Највише концентрације халкопирита и пирита у порфирском делу система су везане за овај тип алтерације. На основу температуре хомогенизације флуидних инклузија које садрже силвит, може се закључити да је овај тип алтерације формиран на температури између 330 и 470°C.

Хлоритизација се углавном се јавља у плићим деловима порфирских система, где маскира калијску алтерацију. Примећено је да се у порфирском делу система овај тип алтерације јавља уз богату минерализацију. На основу аналогије са другим лежиштима, може се закључити да је овај тип алтерације настао на температурама између 250 и 425°C.

Серицитизација у систему Чукару Пеки углавном маскира раније формирану калијску алтерацију. Овај тип алтерације је праћен импрегнацијама пирита, које понекад садрже ковелин и борнит. На основу температуре хомогенизације инклузија у љубичастим анхидритским жицама, може се претпоставити да је овај тип алтерације формиран на температурама између 250 и 400°C.

У Горњој зони система Чукару Пеки напредна аргилитска алтерација је доминантан тип алтерације. Углавном се јавља уз масивне сулфиде и захвата простор ширине до 10 m. Овом алтерацијом су вероватно створене пермеабилне зоне са шупљикавом силицијом, које су представљале повољну средину за утискивање каснијих рудоносних флуида са багром.

Аргилитска алтерација настаје на релативно ниским температурама (200-250°C) у благо киселој средини. У хидротермалном систему Чукару Пеки постоје два фронта ове алтерације: ореол каолинит-пирит (представља алтерациони фронт око високосулфидационе минерализације) и дистални ореол аргилитске алтерације (који се простире на растојању од приближно 100 m од обода високосулфидационе зоне). Ова алтерација је вероватно довела до формирања зона богатих глином, које су због своје ниске пропусности представљале баријеру за ток флуида богатих бакром и тиме представљају границу високосулфидационе зоне.

Пиритизација је карактеристична алтерација за високосулфидациону зону система Чукару Пеки. Вероватно је депонована након напредне аргилитске алтерације, а пре депоновања рудних минерала.

Силификација са кварцним штокверком је карактеристична алтерација везана за најбогатије делове порфирске минерализације у систему Чукару Пеки. На основу измерених температура хомогенизација, може се закључити да су кварцне жице типа А депоноване на температурама преко 600°C, док су кварцне жице типа Б депоноване на температурама око 400°C. Поред ових кварцних жица, у високосулфидационом епитермалном стадијуму је такође дошло до депоновања веће количине силиције.

Пострудне деформације

У области Доње зоне хидротермалног система Чукару Пеки највећа кретања извршена су дуж 2 пострудна раседа: расед Бор 2 и Централни расед (енгл. *Central fault*), који су паралелни са Борским раседом.

Горња зона система Чукару Пеки је ограничена са три релативно велика пострудна раседа који су названи Источни расед, Западни расед (енгл. *East fault* и *West fault*) и Јужни расед (енгл. *South Fault*).

Оксидација примарних минерала

У области хидротермалног система Чукару Пеки нема геолошких индикатора који указују на то да је дошло до оксидације примарних минерала. У бушотини FMTC1330 се јављају одређене зоне које указују на процесе оксидације и вероватно су везане за циркулацију метеорских флуида.

Ореоли расејавања

Примарни ореоли расејавања су присутни на хидротермално промењеним стенама у истражном простору Брестовац, у близини хидротермалног система Чукару Пеки. Секундарни ореоли расејавања бакра и злата се могу приметити у земљишту у близини села Брестовац. Међутим, секундарни ореоли расејавања у поточним седиментима у овом истражном подручју немају повишене садржаје елемената индикатора и других елемената.

8. ЛИТЕРАТУРА

1. Алексић, Д., 1983. Геохемијска корелација вулканита Тимочког магматског комплекса, Магистарски рад, Рударско-геолошки факултет, Београд, 72 стр.
2. Arribas, Jr, A., 1995. Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid. *Mineralogical Association of Canada Short Course*, 23, 419-454.
3. Audétat, A., Simon, A. C., Hedenquist, J. W., Harris, M., & Camus, F., 2012. Magmatic controls on porphyry copper genesis. *Geology and genesis of major copper deposits and districts of the world-A tribute to Richard H. Sillitoe*, 553-572.
4. Bailly, L., Stein G. & Genna, A., 2002. Preliminary microthermometric measurements in quartz, sphalerite and enargite from the Bor and Majdanpek deposits, Serbia: *Geology and Metallogeny of Copper and Gold Deposits in the Bor Metallogenic Zone — Bor 100 Years International Symposium*, Bor Lake, Yugoslavia, 2002. In *Proceedings* (71-75).
5. Ballard, JR, Palin, MJ & Campbell, IH., 2002. Relative oxidation states of magmas inferred from Ce (IV)/Ce (III) in zircon: application to porphyry copper deposits of northern Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 144:347-364.
6. Bakker, R.J., 2012. Package FLUIDS. Part 4: Thermodynamic modelling and purely empirical equations for H₂O-NaCl-KCl solutions. *Mineralogy and petrology*, 105(1-2), 1-29.
7. Bakker, R.J., 2018. AqSo_NaCl: Computer program to calculate P-T-X-V properties in the H₂O-NaCl fluid system applied to fluid inclusion research and pore fluid circulation. *Computers Geoscience*, vol. 115, 122-133
8. Banješević, M., Cocić, S., Radović, M., 2001. Petrology and K-Ar ages of volcanic rocks for widen Bor zone as the part of the Timok magmatic complex (East Serbia). *Geodynamics and ore deposit evolution of the Alpine-Balkan-Carpathian-Dinaride province, Vol 79. Abstracts volume*, Bucharest, 2001.
9. Banješević, M., 2010. Upper Cretaceous magmatic suites of the Timok magmatic complex. *Geološki anali Balkanskoga poluostrva*, (71), 13-22.
10. Banješević, M. & Large, D., 2014. Geology and mineralization of the new copper and gold discovery south of Bor Timok magmatic complex. *Proceedings of the XVI Serbian Geological Congress, Serbian Geological Society, Donji Milanovac, 2014*, 739–741.
11. Banješević, M., Cvetković, V., von Quadt, A., Ljubović-Obradović, D., Vasić, N., Pačevski, A. & Peytcheva, I. 2019. New Constraints on the Main Mineralization Event Inferred from the Latest Discoveries in the Bor Metallogenic Zone (BMZ, East Serbia). *Minerals*, 9(11), 672.
12. Berger, B.R. & Henley, R.W., 2011. Magmatic-vapor expansion and the formation of high-sulfidation gold deposits: Structural controls on hydrothermal alteration and ore mineralization. *Ore Geology Reviews*, 39(1-2), 75-90b.
13. Berza, T., Constantinescu, E., & Vlad, S.N., 1998. Upper Cretaceous magmatic series and associated mineralisation in the Carpathian–Balkan Orogen. *Resource Geology*, 48(4), 291-306.
14. Блечић, Н., 1974. Течно-гасне инклузије и њихова примена при истраживању појединих Југословенских лежишта минералних сировина. Магистарска теза, Рударско-геолошки факултет, Београд, 121 стр.

15. Bodnar, R.J., 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57, 683-684.
16. Bodnar, R.J., 1995. Fluid-inclusion evidence for a magmatic source for metals in porphyry copper deposits, Thompson, J.F.H., ed., *Magma, fluids, and ore deposits: Mineralogical Association of Canada short course series*, v. 23, 139–152.
17. Bodnar, R.J., & Samson, I., 2003. Reequilibration of fluid inclusions. *Fluid inclusions: Analysis and interpretation*, 32, 213-230.
18. Bodnar, R.J., Lecumberri-Sanchez, P., Moncada, D. & Steele-MacInnis, M., 2014. 13.5 — Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Treatise on Geochemistry, Second Editionth edn. Elsevier, Oxford*, 119-142.
19. Bogie, I., Lawless, J. V., Rychagov, S., & Belousov, V., 2005. Magmatic-related hydrothermal systems: Classification of the types of geothermal systems and their ore mineralization. *Proceedings of Geoconference in Russia, Kuril*, 51-73
20. Bokhari, S.N.H., & Meisel, T.C. 2017. Method development and optimisation of sodium peroxide sintering for geological samples. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 41(2), 181-195.
21. Browne, P.R.L., 1978. Hydrothermal alteration in active geothermal fields: *Annual Reviews in Earth and Planetary Sciences*, v. 6, 229-250.
22. Brown, K. L., 1986. Gold deposition from geothermal discharges in New Zealand. *Economic Geology*, 81(4), 979-983.
23. Бугарин, М., Маринковић, В., 2018. Елаборат о минералним ресурсима и резервама бакра и злата у хидротермалном систему – лежишту Чукару Пеки, стање 31.12.2017.године, Институт за рударство и металургију, Бор, стр. 1-103
24. Castillo, P.R., 2012. Adakite petrogenesis. *Lithos*, 134, 304-316.
25. Циленшек, М., Стаменић, М., 1988. Извештај о геофизичким испитивањима у подручју Брестовац-Метовница за 1987. годину, РО „Нафта-гас“ ООУР, Геофизички инситут, Београд, 11 стр.
26. Clark, A.H. & Ullrich, T.D., 2004. ⁴⁰Ar-³⁹Ar age data for andesitic magmatism and hydrothermal activity in the Timok Massif, eastern Serbia: implications for metallogenetic relationships in the Bor copper-gold subprovince. *Mineralium Deposita*, 39(2), 256-262.
27. Cline, J.S. & Bodnar, R.J., 1991. Can economic porphyry copper mineralization be generated by a typical calc-alkaline melt? *Journal of Geophysical Research*, v. 96, 8113-8126.
28. Cloos, M., 2001. Bubbling magma chambers, cupolas, and porphyry copper deposits: *International Geology Review*, v. 43, 285-311.
29. Corbett, G.J. & Leach, T.M., 1998. *Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralization* (No. 6). Boulder, Co: Society of Economic Geologists.
30. Cornejo, P., 2017. Brestovac- Metovnica Petrography and Chalcography report, Fondovski materijal kompanije „Rakita exploration”, Бор, 84 str.
31. Цветковић, Љ. 1989. Минерали система Cu₃(As,Sb,V,Sn,Ge,W)S₄ у лежиштима бакра источне Србије. Докторска дисертација, Рударско-геолошки факултет, Београд, 161 стр.

32. Davidson, J., Turner S., Handley H., Macpherson C., and Dosseto A., 2007. Amphibole “sponge” in arc crust? *Geology*, 35(9), 787–790.
 33. Defant, M.J., and Drummond, M.S., 1990, Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, v. 347, 662–665.
 34. Dilles, J.H., Kent, A.J., Wooden, J.L., Tosdal, R.M., Koleszar, A., Lee, R.G., Farmer, L.P., 2015. Zircon compositional evidence for sulfur-degassing from ore-forming arc magmas. *Economic Geology* 110 : 241-251.
 35. Driesner, T., & Heinrich, C. A., 2007. The system H₂O–NaCl. Part I: Correlation formulae for phase relations in temperature–pressure–composition space from 0 to 100⁰C, 0 to 5000 bar, and 0 to 1 XNaCl. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71(20), 4880-4901.
 36. Drovenik, M., 1961. Geološko-petrološka studija šire okolice rudnika Bor (vzhodna Srbija), Doktorska disertacija, Ljubljana, 344 str.
 37. Drovenik, M., Leskovšek, H., Pezdić J., 1975. Izotopski sastav sumpora u ležištima Timočke eruptivne oblasti. Rudarsko-metalurški zbornik. Št. 4, 319-361.
 38. Ђорђевић, Г., 1979. Кварцдиоритпорфири Великог Кривеља, њихова алтерација у вези са орудњавањем. Магистарска теза, Рударско-геолошки факултет, Београд
 39. Fairthorne, G., Fornasiero, D. & Ralston, J., 1997. Effect of Oxidation on the Collectorless Flotation of Chalcopyrite. *International Journal of Mineral Processing*, 49, 31-48.
 40. Fournier, R. O., 1999. Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic-epithermal environment. *Economic Geology*, 94(8), 1193-1211.
 41. Fügenschuh, B. & Schmid, S. M., 2005. Age and significance of core complex formation in a very curved orogen: Evidence from fission track studies in the South Carpathians (Romania). *Tectonophysics*, 404(1-2), 33-53.
 42. Gagnevin, D., Daly, J. S., & Kronz, A., 2010. Zircon texture and chemical composition as a guide to magmatic processes and mixing in a granitic environment and coeval volcanic system. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 159(4), 579-596.
 43. Gallhofer, D., Quadt, A. V., Peytcheva, I., Schmid, S. M., & Heinrich, C. A., 2015. Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Late Cretaceous arc in the Carpathian-Balkan orogen. *Tectonics*, 34(9), 1813-1836.
 44. Georgiev, G., 2019. Хидротермални метасоматити в меднопорфирното находище Елаците. Научно-технически съюз по минно дело, геология и металургия, София, 100 str.
 45. Goldstein, R. H., & Samson, I., 2003. Petrographic analysis of fluid inclusions. *Fluid inclusions: Analysis and interpretation*, 32, 9-53.
 46. Gržetić, I., 1990. Fizičko-hemijska analiza mineralnih asocijacija u rudnim telima masivnih sulfida bakra u Boru (istočna Srbija), *Tehnika*, broj 11-12, godina XLV, 708-715.
 47. Gržetić, I. 1992. Fizičko-hemijska analiza sulfidnih mineralnih asocijacija u porfirskim rudnim ležištima Borske metalogenetske zone. *Tehnika- Rudarstvo, geologija i metalurgija*, broj 3-4, 203-209.
 48. Gržetić, I. 1996. Fizička hemija u geologiji - Fizička hemija ležišta mineralnih sirovina. Univerzitet u Beogradu, Beograd., 454 str.
-

49. Haar, L., 1984. NBS/NRC steam tables. CRC Press.
50. Haas, J.L., 1976. Physical properties of the coexisting phases and thermochemical properties of the H₂O component in boiling NaCl solutions, *US Geological Survey Bulletin*, 1421-A, 1-71.
51. Halley, S., 2020. Mapping Magmatic and Hydrothermal Processes from Routine Exploration Geochemical Analyses. *Economic Geology*, 115(3), 489-503.
52. Hedenquist, J.W. & Lowenstern, J. B., 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. *Nature* 370, 519-527.
53. Hedenquist, J.W., Matsuhisa, Y., Izawa, E., White, N.C., Giggenbach, W.F., and Oaki, M., 1994. Geology, geochemistry, and origin of high sulfidation Cu-Au mineralization in the Nansatsu District, Japan: *Economic Geology*, v. 89, 1-30.
54. Heinrich, C.A. & Neubauer, F., 2002. Cu-Au-Pb-Zn-Ag Metallogeny of the Alpine-Balkan-Carpathian-Dinaride Geodynamic Province. *Mineralium Deposita*, 37(6-7): 533-540.
55. Heinrich, C.A., 2005. The physical and chemical evolution of low-salinity magmatic fluids at the porphyry to epithermal transition: a thermodynamic study. *Mineralium Deposita*, 39(8), 864-889.
56. Henley, R.W. & Berger, B.R., 2011. Magmatic-vapor expansion and the formation of high-sulfidation gold deposits: Chemical controls on alteration and mineralization. *Ore Geology Reviews*, 39(1-2), 63-74.
57. Hobbs, B. E., 1987. Principles involved in mobilization and remobilization. *Ore Geology Reviews*, 2(1-3), 37-45.
58. Игњатовић, С., 2014. Геолошко- геофизички модел дела Тимочког магматског комплекса, Докторска дисертација, Рударско-геолошки факултет, Београд, 149 стр.
59. Ingebritsen, S. E., & Appold, M. S., 2012. The physical hydrogeology of ore deposits. *Economic Geology*, 107(4), 559-584.
60. Jakubec J., MacSporran G., Duinker P., Pittuck M., Manoljović P., Sucharda M., Samouković M., Bunyard C., Arseneau G., 2018. NI 43-101 Technical Report-Timok Copper-Gold Project, Serbia: Upper Zone Prefeasibility Study and Resource Estimate for the Lower Zone, Nevsun Resources Ltd, 1-427.
61. Janković, S., 1977. The copper deposits and geotectonic setting of the Tethyan Eurasian Metallogenic Belt. *Mineralium Deposita*, 12(1), 37-47.
62. Јанковић, С., 1981. Лежишта минералних сировина: генеза рудних лежишта. Рударско-геолошки факултет, Београд, 531 стр.
63. Janković, S., Jovanović, M., Karamata, S., Lovrić, A. 1981. Izotopska starost nekih stena Timočke eruptivne oblasti. *Glas CCCXXIX Srpske akademije nauke i umetnosti, Odeljenje prirodno-matematičkih nauka*, knj. 48.
64. Јанковић, С., 1990. Рудна лежишта Србије: регионални металогенетски положај, средине стварања и типови лежишта, Рударско-геолошки факултет, Београд, 760 стр.
65. Janković, S., 1997. The Carpatho-Balkanides and adjacent area: a sector of the Tethyan Eurasian metallogenic belt. *Mineralium Deposita*, 32(5), 426-433.

66. Јанковић, С., Јеленковић, Р. & Кожељ, Д., 2002. Борско лежиште бакра и злата. QWERTY, Бор, 298 стр.
67. Јанковић, С., Јеленковић, Р. и Вујић С., 2003. Минерални ресурси и прогноза потенцијалности металичних и неметаличних минералних сировина Србије и Црне Горе на крају XX века. Инжењерска академија наука Србије и Црне Горе, Београд. 850 стр.
68. Jébrak, M., 1997. Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: a review of mechanisms, morphology and size distribution. *Ore geology reviews*, 12(3), 111-134.
69. Jelenković, R., Gržetić, I., 1998. Modeliranje geneze hidrotermalnih ležišta mineralnih sirovina. *Tehnika*, 49. 5/98. 1-8.
70. Jelenković, R., Vakanjac, B., Milovanović, D., 2002. Genetsko-paragenetska analiza ležišta bakra "Borska Reka". *Tehnika*, God. LVII, 1/2002, 5-17.
71. Jelenković, R. 2014. A brief overview of the metallic mineral resources of Serbia. *European Geologist*, 37: 34-38.
72. Jelenković, R., Milovanović, D., Koželj, D., & Banješević, M., 2016. The mineral resources of the Bor metallogenic zone: a review. *Geologia Croatica*, 69 (1), 143-155.
73. John, D. A., Ayuso, R. A., Barton, M. D., Blakely, R. J., Bodnar, R. J., Dilles, J. H., ... & Taylor, R. D., 2010. Porphyry copper deposit model. *Scientific investigations report*.
74. Kanazirski, M., Chipchakova, S., Gorova, M., Arnaudova, R., 2002. Wallrock alterations in the porphyry copper deposits of the Panagyurishte ore district and formation-facial belonging of the metasomatites. *Geologica Balkanica*, 32, 2-4, 77-80.
75. Karamata, S., 1974. Geohemijske, petrološke i metalogenetske provincije kredno-tercijarne starosti Balkanskog poluostrva i Male Azije. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
76. Karamata, S., Đorđević V. i dr. 1981. Proučavanje horizontalne i vertikalne distribucije okolorudnih alteracija stena i njihove zakonomernosti u istražnom prostoru Bor. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 34 str.
77. Karamata, S., Knežević, V., Pecskey, Z., & Djordjević, M. 1997. Magmatism and metallogeny of the Ridanj-Krepoljin belt (eastern Serbia) and their correlation with northern and eastern analogues. *Mineralium Deposita*, 32(5), 452-458.
78. Klimentyeva, D., Driesner, T., von Quadt, A., Tončić, T., & Heinrich, C. 2020. Silicate-replacive high sulfidation massive sulfide orebodies in a porphyry Cu-Au system: Bor, Serbia. *Mineralium Deposita*, 1-26.
79. Knaak, M., Márton, I., Tosdal, R. M., Van der Toorn, J., Davidovic, D., Strmbanovic, I. & Hasson, S. 2016. Geologic setting and tectonic evolution of porphyry Cu-Au, polymetallic replacement, and sedimentary rock-hosted au deposits in the northwestern area of the timok magmatic complex, Serbia. Serbia: *Society of Economic Geologists, Special Publication*, 19, 1-28.
80. Kolb, M., von Quadt, A., Peytcheva, I., Heinrich, C. A., Fowler, S. J., & Cvetković, V., 2013. Adakite-like and normal arc magmas: distinct fractionation paths in the East Serbian segment of the Balkan-Carpathian arc. *Journal of Petrology*, 54(3), 421-451.

81. Koželj, D., 2002. Epitermalna mineralizacija zlata borske metalogenetske zone: morfogogenetski tipovi, strukturno-teksturni varijeteti i potencijalnost. RTB Bor, Institut za bakar, Indok centar, 220 str.
82. Large, S.J., Quadt, A.V., Wotzlaw, J.F., Guillong, M., Heinrich, C.A., 2018. Magma evolution leading to porphyry Au-Cu mineralization at the Ok Tedi deposit, Papua New Guinea: trace element geochemistry and high-precision geochronology of igneous zircon. *Economic Geology* 113:39-61.
83. Lecumberri-Sanchez, P., Steele-Macinnis, M., & Bodnar, R. J., 2012. A numerical model to estimate trapping conditions of fluid inclusions that homogenize by halite disappearance. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 92, 14-22.
84. Lecumberri-Sanchez, P., Steele-Macinnis, M., Weis, P., Driesner, T., & Bodnar, R. J. 2015. Salt precipitation in magmatic-hydrothermal systems associated with upper crustal plutons. *Geology*, 43(12), 1063-1066.
85. Lee, R.G., Dilles, J.H., Tosdal, R.M., Wooden, J.L., Mazdab, F.K., 2017. Magmatic evolution of granodiorite intrusions at the El Salvador porphyry copper deposit, Chile, based on trace element composition and U/Pb age of zircons. *Economic Geology* 112:245-273.
86. Lee, R.G., Byrne, K., D'Angelo, M., Hart, C.J., Hollings, P., Gleeson, S.A., Alfaro, M., 2020. Using zircon trace element composition to assess porphyry copper potential of the Guichon Creek batholith and Highland Valley Copper deposit, south-central British Columbia. *Mineralium Deposita* 2020:1-24.
87. Lerouge, C., Bailly, L., Béchu, E., Fléhoc, C., Genna, A., Lescuyer, J.L., Stein, G., Gillot, P.Y., Kozelj, D., 2005. Age and origin of advanced argillic alteration at the Bor Cu-Au deposit, Serbia. In *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge* (541-544). Springer, Berlin, Heidelberg.
88. Lips, A.L., Herrington, R.J., Stein, G., Kozelj, D., Popov, K. and Wijbrans, J.R., 2004. Refined timing of porphyry copper formation in the Serbian and Bulgarian portions of the Cretaceous Carpatho-Balkan Belt. *Economic Geology*, 99(3), 601-609.
89. Loader, M.A., Wilkinson, J.J., Armstrong, R.N., 2017. The effect of titanite crystallisation on Eu and Ce anomalies in zircon and its implications for the assessment of porphyry Cu deposit fertility. *Earth and Planetary Science Letters* 472:107-119.
90. Ловрић, М., 1972. Магматске формације горњокредне-терцијарне у Тимочко-средњегорској зони и њихова апсолутна старост. *III саветовање о бакру*, Бор.
91. Lu, Y., Loucks, R., Fiorentini, M., McCuaig, T., Evans, N. J., Yang, Z. M., ... & Kobussen, A., 2016. Zircon compositions as a pathfinder for porphyry Cu±Mo±Au deposits. *Society of Economic Geologists. Special Publications Series*, 19, 329-347.
92. Mao, W., Rusk, B., Yang, F., & Zhang, M., 2017. Physical and chemical evolution of the Dabaoshan porphyry Mo deposit, South China: Insights from fluid inclusions, cathodoluminescence, and trace elements in quartz. *Economic Geology*, 112(4), 889-918. <https://doi.org/10.2113/econgeo.112.4.889>.
93. Mavrogenes, J. A., & Bodnar, R. J., 1994. Hydrogen movement into and out of fluid inclusions in quartz: Experimental evidence and geologic implications. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(1), 141-148.

94. McDonough, W.F. and Sun, S.S., 1995. The composition of the Earth. *Chemical geology*, 120(3-4), 223-253.
95. Menant, A., Jolivet, L., Tuduri, J., Loiselet, C., Bertrand, G., & Guillou-Frottier, L. 2018. 3D subduction dynamics: A first-order parameter of the transition from copper-to gold-rich deposits in the eastern Mediterranean region. *Ore Geology Reviews*, 94, 118-135.
96. Milovanović, D., 1980. Proučavanje hidrotermalnih promena u slivu Borske reke. *Geološki anali Balkanskoga poluostrva*, (43-44), 511-529.
97. Мишковић, В., 1989. Генеza лежишта бакра „Ново Окно“ и металогенетска корелација са рудокластима у Борском реону- источна Србија. Докторска дисертација. Рударско-геолошки факултет, Београд, 189 стр.
98. Moon, C. J., Whateley, M. K., & Evans, A. M., 2006. *Introduction to mineral exploration* (No. Ed. 2). Blackwell publishing., 499 str.
99. Moritz, R., 2006. Fluid salinities obtained by infrared microthermometry of opaque minerals: Implications for ore deposit modeling—a note of caution. *Journal of Geochemical Exploration*, 89(1-3), 284-287.
100. Neubauer, F., 2002. Contrasting Late Cretaceous with Neogene ore provinces in the Alpine-Balkan-Carpathian-Dinaride collision belt: *Geological Society London Special Publication* 204, 90–100.
101. Onuk P., Melcher F., Mertz-Kraus R., Gäbler H.E., Goldmann S., 2017. Development of a matrix-matched sphalerite reference material (MUL-ZnS-1) for calibration of in situ trace element measurements by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 41, 263-272.
102. Orlandea, E. & Vlad, Ş., 2020. A novel conceptual model of intrusion related gold bearing systems and exploration tools, *Studia UBB Geologia* 63 (1): 1-12.
103. Pačevski, A., Cvetković, V., & Šarić, K., 2012. Petrographic, ore microscopic and SEM-EDS studies of the samples from the drill-hole FMTC1210, Fondovski materijal kompanije „Rakita exploration”, Bor, 59 str.
104. Pačevski, A., Cvetković, V., & Šarić, K. 2013. Petrological, ore microscopic and SEM-EDS studies of the samples from 11 drill-holes from the Bor area, Fondovski materijal kompanije „Rakita exploration”, Bor. 136 str.
105. Pačevski, A., 2014. Ore microscopic and SEM-EDS studies of 11 samples from drill-holes FMTC1338, 1341, 1344, 1345, 1346, 1348, Fondovski materijal kompanije „Rakita exploration”, Bor. 1-136, 31 str.
106. Pačevski, A., 2014a. Ore microscopic and SEM-EDS studies of 10 samples from drill-holes FMTC 1341,1344, 1345, 1348 and FMTC 1224, Fondovski materijal kompanije „Rakita exploration”, Bor. 1-136, 26 str.
107. Pačevski, A., Cvetković, V., Šarić, K., Banješević, M., Hofer, H. E., & Kremenović, A., 2016. Manganese mineralization in andesites of Brestovačka Banja, Serbia: evidence of sea-floor exhalations in the Timok Magmatic Complex. *Mineralogy and Petrology*, 110(4), 491.

108. Paton, C., Hellstrom, J., Paul, B., Woodhead, J. and Hergt, J., 2011. Iolite: Freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. doi:10.1039/c1ja10172b.
109. Piperov, N. B., Atanassova, R., Kotzeva, V. G., & Пиев, Т., 2017. Reequilibrated fluid inclusions in enargite-luzonite from the Chelopech high-sulfidation Cu-Au epithermal deposit (Bulgaria). *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 194(3), 297-310.
110. Павићевић, М., Ракић, С., Гржетић, И., Голијанин, Д., 1981. Студија дистрибуције племенитих, ретких и расејаних елемената у рудном телу „Тилва Рош“ рудника бакра Бор. Рударско-геолошки факултет УЛЕМА, Београд, 102 стр.
111. Павићевић, М., Цвектовић, Љ., Радусиновић Д., Гржетић И., Голијанин Д., 1983. Студија дистрибуције племенитих, ретких и расејаних елемената у рудном окну „Ново Окно“ рудника бакра Бор, Рударско-геолошки факултет УЛЕМА, Београд, 239 стр.
112. Павићевић, М., Ракић, С., Гржетић, И., Голијанин, Д., 1985. Студија дистрибуције племенитих, ретких и расејаних елемената у рудном лежишту Борска река. Рударско-геолошки факултет УЛЕМА, Београд, 112 стр.
113. Potter, R.W., Clyne, M.A. And Brown, D.L., 1978. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. *Economic Geology*, 73(2), 284-285.
114. Redmond, P. B., Einaudi, M. T., Inan, E. E., Landtwing, M. R., & Heinrich, C. A., 2004. Copper deposition by fluid cooling in intrusion-centered systems: New insights from the Bingham porphyry ore deposit, Utah. *Geology*, 32(3), 217-220.
115. Richards, J. P., 2005. Cumulative factors in the generation of giant calc-alkaline porphyry Cu deposits. *Super porphyry copper and gold deposits: A global perspective*, 1, 7-25.
116. Richards, J. P., & Kerrich, R., 2007. Special paper: adakite-like rocks: their diverse origins and questionable role in metallogenesis. *Economic Geology*, 102(4), 537-576.
117. Ridley, J. (2013). *Ore deposit geology*. Cambridge University Press, 410 str.
118. Roedder, E., 1984. *Fluid inclusions*. De Gruyter, 646 str.
119. Rollinson, H. R., 2014. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Routledge, 382 str.
120. Rusk, Brian G., Reed, Mark H., Dilles, John H., 2008. Fluid inclusion evidence for magmatic-hydrothermal fluid evolution in the porphyry copper-molybdenum deposit at Butte, Montana. *Economic Geology*, 103 (2). 307-334.
121. Schmid, S. M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., & Ustaszewski, K., 2008. The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences*, 101(1), 139-183.
122. Sillitoe, R.H., 1985. Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs. *Economic Geology*, 80(6), 1467-1514.
123. Sillitoe, R.H. & Hedenquist, J.W., 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. *Special Publication-Society of Economic Geologists*, 10, 315-343.

124. Sillitoe, R.H., 2010. Porphyry copper systems. *Economic geology*, 105(1), 3-41.
125. Sillitoe R.H., 2017. Review of the geological model for the Čukaru Peki copper-gold deposit, Timok belt, Serbia. Fondovski materijal kompanije „Rakita exploration”, Bor, 14 str.
126. Stefanova, E., Driesner, T., Zajacz, Z., Heinrich, C.A., Petrov, P. & Vasilev, Z., 2014. Melt and fluid inclusions in hydrothermal veins: The magmatic to hydrothermal evolution of the Elatsite porphyry Cu-Au deposit, Bulgaria. *Economic Geology*, 109(5), 1359-1381.
127. Stein G., Koželj D., Lips. A., Bailly L., 2002. The Timok Magmatic Complex (Serbia); An Adakitic Related Magmatic Event. Geology and Metallogeny of Copper and Gold Deposits in the Bor Metallogenic Zone—Bor 100 Years International Symposium, Bor Lake, Yugoslavia, 2002. In *Proceedings* (133-137).
128. Steele-Macinnis, M., Lecumberri-Sanchez, P., Bodnar, R.J., 2012. HOKIEFLINCS-H₂O-NaCl: A Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H₂O–NaCl. *Computers Geosciences*, 49: 334–337. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.01.022>.
129. Sterner, S.M., Hall, D.L. & Bodnar, R.J., 1988. Synthetic fluid inclusions. V. Solubility relations in the system NaCl-KCl-H₂O under vapor-saturated conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 989-1005.
130. Strashimirov, S., 1997. New data about the development of hydrothermal system in the Majdanpek porphyry copper deposit. In *Proceedings of Symposium “Ore deposit exploration”, Belgrade 2-4. April 1997*. 409-418.
131. Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1), 313-345.
132. Tămaș, C.G. & Milési, J.P., 2002. Hydrovolcanic breccia pipe structures-General features and genetic criteria. I. Phreatomagmatic breccias. *Studia UBB Geologia*, 47(1), 127-147.
133. Toljić, M., 2016. Report on Studies of tectonic setting of Čukaru Peki area (South from Bor). Fondovski materijal kompanije „Rakita exploration”, Bor, 23 str.
134. Trail, D, Watson, EB, Tailby, ND., 2012. Ce and Eu anomalies in zircon as proxies for the oxidation state of magmas. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 97:70-8.
135. Vakanjac, B., 2000. Uperedna proučavanja tipomorfni paragenetskih odnosa u pojedinim ležištima bakra Borske rudne zone. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 314 str.
136. Vanko, D.A. & Bach, W., 2005. Heating and freezing experiments on aqueous fluid inclusions in anhydrite: Recognition and effects of stretching and the low-temperature formation of gypsum. *Chemical Geology*, 223(1-3), 35-45.
137. Vasić, N., 2015. Sedimentologija krednih i miocenskih jedinica u basenu Slatine- Studija. Fondovski materijal kompanije „Rakita exploration”, Bor, 1-93.
138. Velojić, M., Erlandsson, B.V., 2019. Trace elements in different veins by LA-ICP-MS in Chukaru Peki high sulfidation deposit, Serbia. 1st International Student Conference on Geochemistry and Mineral Deposits, Prague.

139. Velojić, M., Jelenkovic, R., & Cvetkovic, V., 2020. Fluid Evolution of the Čukaru Peki Cu-Au Porphyry System (East Serbia) inferred from a fluid inclusion study. *Geologica Croatica*, 73(3), 197-209.
140. Velojić, M., Klimentyeva, D., von Quadt, A., Guillong, M., Melcher, F., Meisel, T., Jelenković, R., Cvetković, V., in preparation. Are Bor and Čukaru Peki actually the same ore deposit; A multi-disciplinary comparison of two world-class porphyry systems.
141. von Quadt, A. Peytcheva, I., Cvetković, V. Banješević, M. Koželj, D., 2002. Geochronology, geochemistry and isotope tracing of the Cretaceous magmatism of East-Serbia as part of the Apuseni-Timok-Srednogorie metallogenic belt. *Geologica Carpathica*, 53, 175–177.
142. von Quadt, A., Peytcheva, I., Heinrich, C., Cvetković, V., Banjesević, M. and Andrew, C.J., 2007. Upper Cretaceous magmatic evolution and related Cu–Au mineralization in Bulgaria and Serbia. In *Ninth Biennial Meeting of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits SGA, Dublin. Dublin: Irish Association for Economic Geology*, 861-864.
143. von Quadt, A., Erni, M., Martinek, K., Moll, M., Peytcheva, I., & Heinrich, C. A., 2011. Zircon crystallization and the lifetimes of ore-forming magmatic-hydrothermal systems. *Geology*, 39(8), 731-734.
144. Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55(1-4), 229-272.
145. Williams-Jones, A. E., & Heinrich, C. A., 2005. Vapor transport of metals and the formation of magmatic-hydrothermal ore deposits. 100th Anniversary special paper. *Economic Geology*, 100, 1287-1312.
146. Wilson, S. A., Ridley, W. I., Koenig, A. E., 2002. Development of sulfide calibration standards for the laser ablation inductively-coupled plasma mass spectrometry technique, *International Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 17 , 406–409.
147. Woodhead, J., Hellstrom, J., Hergt, J., Greig, A. & Maas, R., 2007. Isotopic and elemental imaging of geological materials by laser ablation Inductively Coupled Plasma mass spectrometry. *Journal of Geostandards and Geoanalytical Research*, 31, 331-343.
148. Zhong, S., Seltmann, R., Qu, H., Song Y., 2019. Characterization of the zircon Ce anomaly for estimation of oxidation state of magmas: a revised Ce/Ce* method. *Mineralogy and Petrology* 113:755-763.
149. Zhu, Y., An, F., & Tan, J., 2011. Geochemistry of hydrothermal gold deposits: a review. *Geoscience Frontiers*, 2(3), 367-374.
150. Zimmerman, A., Stein, H.J., Hannah, J.L., Koželj, D., Bogdanov, K. and Berza, T., 2008. Tectonic configuration of the Apuseni–Banat—Timok–Srednogorie belt, Balkans-South Carpathians, constrained by high precision Re–Os molybdenite ages. *Mineralium Deposita*, 43(1), 1-21.

9. ПРИЛОЗИ

Табела п1: Измерене концентрације елемената на ICP-MS уређају на узорцима стена из хидротермалног система Чукару Пеки (све вредности осим SiO₂ су приказане у ppm)

Горњи андезити																					
Узорак	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Ni	Sc	SiO ₂ (%)	Th	U	Sr
cp125	14,29	15,26	30,37	3,64	15,19	3,16	0,98	2,77	0,43	2,48	0,50	1,50	0,22	1,52	0,24	4,67	20,14	46,82	3,72	0,32	811,31
cp027	17,32	10,42	20,92	2,73	12,09	2,75	0,97	2,72	0,44	2,69	0,58	1,71	0,25	1,69	0,26	8,08	28,03	47,93	3,03	1,13	784,61
Доњи андезити																					
Узорак	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Ni	Sc	SiO ₂ (%)	Th	U	Sr
cp062	16,25	11,58	23,83	3,00	12,75	2,84	0,95	2,55	0,42	2,68	0,57	1,76	0,27	1,86	0,30	7,71	19,89	53,92	4,07	0,82	809,84
cp046	13,87	18,64	36,83	4,43	17,94	3,52	1,02	2,92	0,42	2,37	0,47	1,40	0,21	1,47	0,24	3,58	17,54	52,34	4,12	1,13	626,11
cp059	19,17	16,48	33,99	4,31	17,96	3,31	0,98	2,89	0,53	3,58	0,77	2,42	0,38	2,77	0,42	6,19	24,56	49,93	3,96	2,60	169,28
cp061	13,84	15,25	30,63	3,65	14,97	3,01	0,96	2,66	0,40	2,29	0,47	1,41	0,21	1,48	0,24	11,53	17,45	44,78	3,44	1,47	727,14
cp088	10,26	10,39	21,71	2,69	11,31	2,60	0,74	2,51	0,36	1,91	0,36	1,01	0,14	0,97	0,15	3,99	9,99	40,91	4,13	0,59	37,91

ГЕНЕЗА ХИДРОТЕРМАЛНОГ Cu-Au СИСТЕМА ЧУКАРУ ПЕКИ (ИСТОЧНА СРБИЈА)

Доњи андезити (са адакитским карактеристикама)																					
Узорак	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Ni	Sc	SiO ₂ (%)	Th	U	Sr
cp075	1,92	10,59	22,58	2,60	10,38	1,93	0,61	1,18	0,13	0,56	0,08	0,21	0,03	0,29	0,05	31,49	1,89	38,18	2,26	1,25	1038,46
cp079	1,55	11,32	21,82	2,52	9,57	1,55	0,51	0,81	0,08	0,32	0,06	0,19	0,03	0,27	0,05	20,08	4,15	43,83	2,59	0,81	892,81
cp057	1,51	10,58	20,77	2,43	9,70	1,79	0,51	1,07	0,11	0,41	0,06	0,15	0,03	0,20	0,04	22,32	3,99	36,45	2,49	0,56	1073,85
Диорити																					
Узорак	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Ni	Sc	SiO ₂ (%)	Th	U	Sr
cp135	3,37	3,87	7,13	0,86	3,65	0,81	0,31	0,71	0,11	0,60	0,12	0,36	0,05	0,39	0,06	1,42	11,77	54,11	2,49	0,34	276,12
cp139	4,11	2,10	4,21	0,49	1,97	0,45	0,19	0,60	0,10	0,67	0,14	0,42	0,06	0,42	0,06	6,42	3,09	30,83	1,65	0,17	108,30
cp095	5,86	6,04	12,05	1,49	6,50	1,36	0,40	1,25	0,17	0,92	0,18	0,53	0,08	0,54	0,09	28,97	4,60	22,98	3,42	0,25	277,29
cp103	7,49	10,37	19,38	2,25	8,93	1,79	0,59	1,55	0,23	1,28	0,26	0,77	0,12	0,77	0,13	7,05	6,42	38,06	2,23	0,27	487,86
cp094	8,43	8,70	16,87	2,04	8,40	1,83	0,64	1,59	0,25	1,46	0,30	0,90	0,14	0,95	0,15	4,18	11,73	55,71	3,28	0,40	441,82
cp083	9,01	8,45	16,99	2,06	8,67	1,89	0,59	1,63	0,26	1,56	0,32	0,96	0,15	1,02	0,16	16,03	19,44	53,42	2,82	0,88	227,96
cp134	10,15	9,44	19,35	2,46	10,77	2,31	0,73	1,98	0,30	1,79	0,37	1,08	0,16	1,12	0,18	35,42	16,28	46,75	2,45	0,81	309,95
cp108	11,25	13,62	27,64	3,39	14,08	2,88	0,82	2,42	0,34	1,89	0,38	1,14	0,17	1,16	0,19	11,67	14,31	53,10	6,37	0,97	406,91
cp102	17,67	19,16	35,58	4,12	16,61	3,56	1,07	3,11	0,52	3,21	0,67	2,05	0,32	2,14	0,32	13,88	16,36	54,41	5,71	2,01	574,73
cp110	28,56	32,65	70,09	8,83	37,40	7,63	1,29	6,44	0,91	4,93	0,97	2,68	0,37	2,31	0,35	9,13	10,63	42,26	7,11	0,70	470,94

Табела п2: Садржаји микроелемената у мереним узорцима циркона из хидротермалног система Чукару Пеки

Узорак	Тип диорита	Th/U238	Ce/Sm	Eu/Eu*	Ti	Yb/Gd	Yb/Dy	Y	Ce/Nd	Dy/Yb	Hf
CP83_1	П10	0,51	3,25	0,23	4,06	33,54	6,90	706	6,90	0,14	8020
CP83_2	П10	0,42	3,82	0,24	3,23	36,70	7,56	467	8,82	0,13	7880
CP83_3	П10	0,53	4,53	0,21	3,81	33,54	6,69	835	10,36	0,15	9100
CP83_4	П10	0,55	4,34	0,21	5,00	37,55	7,23	906	11,46	0,14	7700
CP83_5	П10	0,66	4,22	0,22	3,81	25,76	6,00	727	7,43	0,17	8450
CP83_6	П10	0,61	6,34	0,22	6,78	36,40	6,67	1069	12,89	0,15	8390
CP83_7	П10	0,58	5,40	0,22	5,01	37,76	6,97	1123	13,83	0,14	7480
CP83_8	П10	0,70	6,95	0,21	6,51	31,85	5,93	1476	15,29	0,17	8070
CP83_9	П10	0,84	6,00	0,16	3,80	26,05	5,66	779	16,67	0,18	8570
CP83_10	П10	0,45	8,00	0,18	3,69	43,16	7,66	822	19,85	0,13	9940
CP83_11	П10	0,70	6,58	0,19	4,33	30,76	6,19	1082	15,94	0,16	9070
CP83_12	П10	0,59	2,51	0,24	3,91	23,42	5,72	733	3,94	0,17	8420
CP83_13	П10	0,53	5,87	0,23	5,59	36,76	6,75	808	12,18	0,15	8310
CP83_14	П10	0,61	7,38	0,23	4,88	32,61	6,27	631	16,23	0,16	8540
CP83_15	П10	0,54	4,96	0,21	5,09	37,37	7,20	940	10,71	0,14	7870
CP83_16	П10	0,74	6,29	0,19	5,06	30,44	5,84	1067	18,49	0,17	8700
CP83_17	П10	1,16	4,78	0,20	7,99	18,37	4,39	2400	13,89	0,23	8170
CP83_18	П10	0,58	7,87	0,21	7,95	39,12	6,44	1532	17,86	0,16	7980
CP83_19	П10	0,64	3,50	0,22	4,83	30,37	6,47	1102	7,01	0,15	7650
CP83_20	П10	0,71	7,53	0,21	6,45	33,33	6,01	1170	21,35	0,17	8420
CP83_21	П10	0,70	3,31	0,22	4,86	26,58	5,90	1346	6,48	0,17	7730
CP83_22	П10	0,48	7,48	0,20	3,68	36,77	7,15	707	17,66	0,14	10210
CP83_23	П10	0,34	11,97	0,21	1,78	46,26	8,36	287,1	27,82	0,12	10690
CP83_24	П10	0,76	5,75	0,21	7,58	29,57	5,89	1670	12,89	0,17	7600
CP83_25	П10	0,78	8,12	0,21	6,15	30,82	5,93	1197	20,15	0,17	8740
CP83_26	П10	0,99	10,27	0,22	6,01	30,80	6,32	959	23,72	0,16	7930
CP83_27	П10	0,78	10,69	0,21	4,12	34,80	6,78	545,1	24,62	0,15	8780
CP83_28	П10	0,42	4,38	0,25	4,45	45,03	7,92	532,2	10,97	0,13	8080
CP83_29	П10	0,51	6,03	0,21	6,41	38,93	6,84	1104	14,88	0,15	8010
CP134_1	П10	0,51	6,48	0,22	3,94	42,68	8,03	893	15,06	0,13	7890
CP134_2	П10	0,57	10,56	0,23	4,18	36,91	7,10	1287	22,58	0,14	7825
CP134_3	П10	0,51	8,38	0,17	3,53	37,26	6,83	2540	19,49	0,20	7354
CP134_6	П10	0,86	5,86	0,19	5,28	27,50	5,89	627,2	7,78	0,15	7405
CP134_7	П10	0,70	8,27	0,20	4,32	36,06	6,97	675,2	25,79	0,18	8090
CP134_8	П10	0,60	8,73	0,20	10,10	36,68	6,68	684	17,94	0,13	7720
CP134_9	П10	0,55	7,60	0,20	3,44	37,42	7,15	752	21,27	0,14	8030
CP134_10	П10	0,69	6,32	0,21	4,80	31,52	6,17	991	11,28	0,16	7150
CP134_11	П10	0,55	6,38	0,21	4,65	40,92	7,27	325	21,76	0,14	7840

Узорак	Тип диорита	Th/U238	Ce/Sm	Eu/Eu*	Ti	Yb/Gd	Yb/Dy	Y	Ce/Nd	Dy/Yb	Hf
CP134_12	П10	0,48	8,64	0,20	4,05	45,14	7,73	967	16,99	0,14	7204
CP134_13	П10	0,61	6,81	0,21	4,37	37,72	7,12	569	7,51	0,17	9010
CP134_14	П10	0,38	7,47	0,22	8,10	47,90	8,41	557	15,41	0,15	8720
CP95_1	П2	0,58	6,48	0,23	4,99	38,35	7,44	1138	5,64	0,18	7336
CP95_2	П2	0,60	9,67	0,22	10,20	43,36	7,10	1984	6,45	0,21	7302
CP95_3	П2	1,14	9,81	0,20	12,30	25,76	5,02	1631	17,50	0,17	7090
CP95_4	П2	0,59	4,24	0,25	5,00	31,48	6,79	1419	20,74	0,16	7619
CP95_5	П2	1,00	11,82	0,23	5,45	27,05	5,62	481	13,59	0,12	9540
CP95_6	П2	0,56	7,09	0,22	4,54	38,38	7,58	587	24,28	0,14	9600
CP95_7	П2	0,64	9,54	0,22	4,77	38,57	7,19	820	18,00	0,15	9930
CP95_8	П2	0,73	5,21	0,22	5,52	29,89	6,45	1044	14,91	0,17	8720
CP95_9	П2	0,55	9,22	0,24	4,49	35,44	7,04	675,2	18,99	0,14	9140
CP95_10	П2	0,64	7,41	0,22	6,30	37,76	7,11	566	18,51	0,15	9080
CP95_11	П2	0,88	4,39	0,21	3,00	22,23	5,75	489	21,41	0,14	9110
CP95_12	П2	0,65	7,73	0,25	4,46	34,75	6,84	855	19,59	0,16	8440
CP95_13	П2	0,84	3,23	0,24	5,26	20,32	5,43	1048	16,72	0,14	8130
CP95_14	П2	1,06	3,90	0,24	7,52	17,92	4,70	891	23,48	0,13	9050
CP95_15	П2	0,85	8,59	0,23	9,02	30,01	5,94	849	16,66	0,14	8520
CP95_16	П2	0,75	9,59	0,23	8,64	35,75	6,43	481,4	14,83	0,12	9145
CP135_1	П1	0,77	9,42	0,23	3,59	33,48	6,98	276	23,23	0,14	8840
CP135_2	П1	0,58	6,09	0,18	4,97	35,14	7,01	990	11,64	0,14	10540
CP135_3	П1	0,67	7,60	0,20	6,03	38,39	7,07	1015	14,47	0,14	9940
CP135_4	П1	0,48	1,57	0,44	3,88	15,17	4,98	1564	2,29	0,20	11070

Табела п3: Подаци свих микротермометријских мерења извршених на анализираним флуидним инклузијама

Број места анализе	Тип инклузије	Tm(°C)	Чврста фаза	Th (°C)
143-3	1			580
143-3	1			>600
106-4	1	268,8	халит	>600
106-4	1	160	халит	582
123-5	1	157,5	халит	545
105-3b	1	327	халит	>600
105-3b	1	328,2	халит	>600
105-2b	1	373	халит	>600
105-2b	1	248,7	халит	>600
96-2	2a	356	халит	356
106-1	2a	350	халит	350
116-6	2a	326	халит	326
106-1	2a	350	халит	350
105-3b	2a	333	халит	333
105-2a	2b	353,9	халит	414

Број места анализе	Тип инклузије	Tm(°C)	Чврста фаза	Th (°C)
105-2a	2b	364,1	халит	470
96-2	3	263	халит	407
96-2	3	278,7	халит	375
96-2	3	280	халит	495
116-6	3	300	халит	474
116-8	3	293	халит	434
106-4	3	290	халит	452
89-4	3	253	халит	379
89-4	3	281	халит	351
89-3	3	254,4	халит	384
123-8	3	146,8	халит	380
105-3a	3	127,4	халит	342
96-2	4			403
96-2	4			387
96-3	4			331
89-4	4			371
89-4	4			390
141-8	4a			389
141-9	4a			428
141-9	4a			396
89-3	4			414
89-3	4			377
69-1	5	-4,4	лед	279
69-2	5			297
69-3	5			298
69-4	5			249
69-5	5			283
69-6	5			299
69-7	5			316
69-8	5			299
69-9	5			248
69-10	5			301
69-11	5			298
69-12	5			255
69-13	5			345
69-14	5			321
69-15	5			225
69-16	5			258
69-17	5			290
69-18	5			334
69-19	5			302
69-20	5			267
110a	5	-2,3	лед	289
110a	5	-3,5	лед	318
110a	5	-1,7	лед	245
110g-3	5	-2	лед	251
110G-3	5	-0,9	лед	300
110-6	5	-2,9	лед	290
110-7	5	-0,5	лед	329

Број места анализе	Тип инклузије	T _m (°C)	Чврста фаза	T _h (°C)
108-3b	5	-4	лед	323
108-3b	5			330
108-3b	5			372
108-3b	5			396
108-4	5	-0,5	лед	353
108-4	5			294
110G-3	5			277
110G-3	5			286
123-1	5	-2,7	лед	310
123-1	5			356
110-7	6	-3,3	лед	211
116-8	6			237
69-1	6			220
69-2	6			204
69-3	6			179
108-3b	6	-2,4	лед	209
108-5	6	-1,8	лед	292
108-5	6	-1,9	лед	217
110g-1	6			143
110g-4	6			176
110g-4	6			155
110g-4	6			146
123-1	6	-2	лед	197
123-1	6	-2,3	лед	154
123-1	6	-4,5	лед	215
110a	6	-2,3	лед	131
89-3	7			111
89-3	7			115
89-3	7			117
89-3	7			118
89-3	7			120
89-3	7			142
141-7	7			73
141-7	7			87
108-3a	7			91
108-3a	7			89
108-3a	7	-2,5	лед	131
108-3b	7			76
108-5	7	-2,8	лед	134
108-5	7			139
105-3b	7			69
105-3b	7			161

Табела п4: Подаци свих мерења садржаја микроелемената у сулфидима на LA-ICP-MS уређају

Py1 пирит											
Број анализе	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m63	Ge_ppm_m72	As_ppm_m75	Ag_ppm_m107	Sb_ppm_m121	Au_ppm_m197	Pb_ppm_m208	Se_ppm_m82
CP126-5-1.d	9,21	56,6	4,67	3900	4,43	2,28	11,69	0,156	0,85	16,3	22,3
CP126-5-2.d	9,81	46,6	3,09	4910	4,19	1,54	9,14	0,13	0,88	37,3	14,2
CP126-5-3.d	8,82	35,2	3,39	4220	4,14	2,22	10,52	0,145	1,196	20,6	16,3
CP126-5-4.d	9,14	64,5	5,57	5610	4,01	3,08	12,4	0,264	1,53	26,5	34
CP126-6-1.d	10,37	58,6	5,07	6350	3,9	2,2	12,85	0,155	0,659	14,1	29,4
CP126-6-2.d	8,96	88,8	8,94	5440	3,71	1,85	26	0,265	2,94	104	137
CP126-6-3.d	9,66	89,2	11,94	6040	3,74	1,97	17,93	0,309	1,495	58,3	161,5
CP126-6-4.d	9,73	93,6	6,67	7690	3,74	6,1	12,31	0,355	0,935	37,4	68,6
73-2-1.d	53,3	22,3	13,58	8480	3,57	253	6,42	1,2	5,78	146	9,8
73-2-2.d	155	75,2	16,6	8690	3,49	151,4	10,42	2,04	19,6	488	14,7
73-2-3.d	16,8	61,4	10,38	8640	3,67	112	10,77	2,14	3,91	759	10,1
73-2-4.d	115	82,3	17,26	7390	3,99	162	9,4	2,26	7,34	434	10,2
73-2-5.d	84	72	15,8	8,90E+03	3,67	48	7,48	1,3	4,09	424	13,4
12-2-1.d	74	44,7	7,54	13800	3,49	115,7	3,28	3,71	2,98	42	10,6
12-2-2.d	80	88,9	17,4	9470	3,39	88,2	2,5	2,15	1,85	41,6	22,6
12-2-3.d	96	56,4	10,3	12620	3,15	88	3,76	2,17	3,61	47,1	15,1
12-2-4.d	30,7	67,9	10,1	8260	3,1	36	2,94	0,98	2,66	63	16,8
Просечна вредност (ppm)	45,91	64,95	9,9	7671,18	3,73	63,27	9,99	1,16	3,67	162,31	35,68

Py-en пирит											
Број анализе	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m63	Ge_ppm_m72	As_ppm_m75	Ag_ppm_m107	Sb_ppm_m121	Au_ppm_m197	Pb_ppm_m208	Se_ppm_m82
73-1-1.d	10,2	3,4	8,4	1,83E+04	3,53	3,04	1,87	0,224	1,14	1,29	12,8
73-1-2.d	9,14	2,98	11	1,63E+04	3,21	4,6	1,89	0,265	1,2	0,552	7,8
73-1-3.d	12	43,6	11,28	10610	3,37	8,6	2,84	0,301	2,87	36,7	10,9
73-1-4.d	18,9	24,6	6	1,34E+04	3,74	9,7	2,7	0,54	1,74	9,7	14,3
73-1-5.d	76	119	28,2	5720	3,65	7,4	2,81	0,363	1,98	41,9	10,8
73-1-6.d	8,94	4,83	24,3	1,55E+04	3,17	1,89	2,38	0,162	1,29	0,68	6,6
73-3-1.d	9,13	5,4	19,8	2,92E+04	3,28	4,6	3,25	0,28	2,2	4,2	8
73-3-3.d	30,5	119,2	31,9	7340	3,56	28,2	8,29	0,96	5,72	256	18
73-3-4.d	36,6	94	22,7	4720	3,44	22,2	1,822	1,31	0,612	15,5	25,5
73-3-5.d	84	85	26,6	8840	3,17	27,7	8,35	0,85	6,94	356	13,5
CP018-1.d	8,49	13,43	1,94	448,22	2,59	0	0,06	0,04	0,12	4,18	8,46
CP018-3.d	7,57	2,21	0,33	8429,46	2,29	1,99	0,47	0,11	0,26	0,18	11,21
CP018-4.d	27,9	15,1	1,92	5193,22	2,23	143,53	0,69	3	0,44	4,38	11,83
CP018-8.d	9,53	2,02	0,4	3865,09	2,01	0	0,44	0,02	0,23	0,85	5,38
CP018-10.d	7,24	3,64	0,44	5071,61	1,89	0,01	0,32	0,02	0,15	1,02	5,19
CP018-11.d	52,16	9,35	1,77	2215,58	1,97	3,3	0,51	0,24	0,3	4,37	27,62
CP018-13.d	8,05	3,51	0,36	4493,63	2,04	23,96	0,2	0,3	0,11	0,44	10,23
CP018-14.d	76,31	7,5	1,86	3112,19	2,07	1,96	0,53	0,07	0,24	7,68	3,97
CP018-15.d	7,89	7,19	1,15	6842,4	1,99	9,56	8,36	0,45	8,86	295,13	9,72
Просечна вредност (ppm)	26,34	29,79	10,54	8926,39	2,8	15,91	2,52	0,5	1,92	54,78	11,67

ГЕНЕЗА ХИДРОТЕРМАЛНОГ Cu-Au СИСТЕМА ЧУКАРУ ПЕКИ (ИСТОЧНА СРБИЈА)

Рy-сов пирит											
Број анализе	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m63	Ge_ppm_m72	As_ppm_m75	Ag_ppm_m107	Sb_ppm_m121	Au_ppm_m197	Pb_ppm_m208	Se_ppm_m82
CP126-8-1.d	42,9	133,7	12,7	1034	4,62	189	24,6	0,5	68,5	3340	93,8
CP126-8-2.d	47,5	123,2	8,02	977	3,87	253	22,62	0,562	116,7	3970	104,4
CP126-8-3.d	46,2	125,1	14,83	1068	3,87	187	28,39	0,392	55,1	3440	82,9
CP126-8-4.d	24	231	20	3090	4,59	91	27,7	0,78	15,7	1500	78,3
CP038A-1-1.d	29,4	0,043	6	11810	11	115	37,5	14,2	59,8	1910	4,1
CP038A-1-2.d	31,01	0,046	2,41	10920	11,6	177	26,3	16,6	53,3	1072	7,6
CP038A-1-3.d	28,2	0,213	3,75	10630	5,53	97	57,2	6,75	42,1	3282	4,9
CP038A-1-4.d	13,2	0,29	14,9	1,83E+04	7,16	236	25,7	9,4	27,9	830	31
CP038A-1-5.d	38,6	0,172	23,5	14300	4,44	62	201,1	5,09	70	4390	8,6
CP038A-2-1.d	27,03	0,069	10,6	15940	5,01	79,3	168	7,56	41	2670	10,6
CP038A-2-2.d	27,3	0,229	6,7	10610	5,05	49,2	39,1	6,74	48,4	2030	7,2
CP038A-2-3.d	24,8	0,04	4	13650	6,81	76	71,6	11,9	37,2	1477	6,1
CP038A-2-4.d	34,6	0,155	15,3	17160	5,84	249	52	7,7	26	1070	42,9
CP038A-2-5.d	25,38	0,109	6,8	9810	8,45	52,1	23,3	7,35	33,6	1671	4,7
CP038A-2-6.d	24,58	0,03	3,13	11710	3,58	37,5	74	4,22	23,5	2253	6,5
CP038A-3-1.d	12,44	0,19	6,12	17070	5,05	40,1	32,8	4,55	22	1160	34,2
CP038A-3-2.d	21,7	0,3	5,15	1,38E+04	5,85	270	17,7	10,3	18,8	1730	16,6
CP038A-3-3.d	13,38	0,84	14,2	2,51E+04	7,37	90	32,3	7,3	33,5	829	15,5
CP038A-3-4.d	13,91	0,667	9,83	9680	3,12	22,7	53,7	3,51	51,9	1090	4,5
CP038A-3-5.d	20,6	0,043	3,5	11340	3,17	22,3	23,8	1,48	13,5	4610	10,2
CP038A-3-6.d	12,17	0,254	7,08	1,70E+04	4,82	152	9,46	6,8	22,3	1350	36,3
CP038A-3-7.d	15,9	1,63	6,61	2,04E+04	21,5	670	31,9	25,1	15,85	489	15,5
12-1-4.d	10,23	4,12	1,83	9440	4,17	169	8,27	2,18	2,56	574	15,3
12-3-1.d	14,02	2,37	0,98	15550	3,89	43,7	9,75	1,62	8,79	397	7
12-3-2.d	29,3	8,4	2,07	1,54E+04	5,54	75	11,7	2,43	5,73	578	11,5
12-3-3.d	9,71	7,14	2,73	15680	6,62	99,1	15	4,78	5,99	174	13,8
12-3-4.d	10,93	9,2	2,07	13350	5,31	68	14,8	3,06	4,08	280	35,6
CP028-1-1.d	1,95	0,288	2,49	6,84E+05	46,6	6520	8,08	101	8,12	69	42,4
CP028-2-1.d	20,7	0,332	5,76	29820	4,1	68,4	87,3	4,14	29,07	957	10,8
CP028-2-2.d	17,49	0,186	4,52	5,29E+04	4,11	65,4	90,5	4,21	25,9	623	9,8
CP028-2-3.d	26,2	0,316	7,3	27150	5,6	104	88,4	5,94	35,4	1140	9,4
CP028-2-4.d	24	0,415	6,62	2,82E+04	6,45	184	137	11,02	40,3	1444	16,9
CP028-2-5.d	57,7	0,422	5,5	19300	7,43	133	50,5	10,48	39,1	765	19,6
CP028-2-6.d	21,18	0,467	8,39	29150	4,91	138	193	7,09	32,6	896	12,4
CP028-3-1.d	689	0,204	7,23	12670	4,82	100,3	32,26	4,69	30,37	1707	54,4
CP028-3-2.d	665	0,14	8,5	2,06E+04	6,4	189	43,6	8,4	41,3	1292	87,5
Просечна вредност (ppm)	60,34	18,12	7,53	34405,81	7,17	310,39	51,97	9,16	33,5	1584,97	27,02

ГЕНЕЗА ХИДРОТЕРМАЛНОГ Cu-Au СИСТЕМА ЧУКАРУ ПЕКИ (ИСТОЧНА СРБИЈА)

Маркасит											
Број анализе	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m63	Ge_ppm_m72	As_ppm_m75	Ag_ppm_m107	Sb_ppm_m121	Au_ppm_m197	Pb_ppm_m208	Se_ppm_m82
CDP097-6-2.d	228	15,3	10,2	471	3,32	1340	0,236	220	0,101	420	6
CDP097-7-1.d	53	630	80	254	3,91	1390	0,127	28,6	0,87	55,9	3
CDP097-7-2.d	165	20,9	3,49	131	3,7	159	0,063	4,9	0,44	22,7	0
CDP097-7-3.d	18,1	3,4	1,38	62,9	3,38	5,23	0,049	0,015	0,0006	2,56	0
CDP097-7-4.d	290	5,8	3,32	62	3,61	3,80E+03	0,135	87	0,031	41	0
CP041-1-1.d	28	0,038	0,185	4,39	3,18	177	0,262	0,097	0,137	1	0
CP041-1-2.d	1634	0,276	0,33	164	2,91	43,4	6,16	11,79	10,37	96,6	53,3
CP041-1-3.d	763	0,317	1,36	288,6	2,8	120,3	14,19	30,64	21,06	230,3	129
CP041-1-4.d	1070	6,07	2,38	189	2,76	70	8,82	16,3	13,4	127,6	68,6
CP041-1-5.d	934	0,184	0,79	191,5	2,91	85,6	9,73	20,6	14,94	150,5	82,3
CP041-2-1.d	370	0,113	0,247	5,3	2,7	24	0,356	0,227	0,187	0,92	1,5
CP041-2-2.d	407,1	0,059	0,74	179,3	2,78	134,3	12,23	28,46	21,04	101,6	105,8
CP041-2-3.d	473,9	0,046	0,45	196,6	2,7	116,7	12,69	27,53	21,38	112,5	101,6
CP041-2-4.d	467,7	0,06	0,75	199,8	2,76	135,9	14,09	31,99	22,89	108,6	113,2
CP041-2-5.d	455	0,037	0,67	189,5	2,78	136,5	13,35	30,25	23,25	94,6	109,4
CP041-2-6.d	2507	0,038	0,218	7,24	2,57	14,75	0,349	0,288	0,301	1,73	2,8
CP041-2-7.d	1810	0,013	0,164	1,32	2,57	525	0,0265	0,102	0,031	0,352	0,2
CP041-2-8.d	366	0,019	0,37	3,6	2,53	141,7	0,0105	0,028	0,016	0,19	0,8
CP041-3-1.d	1530	0,033	0,32	159	2,72	65	9	18	12,9	94	65
CP041-3-2.d	1500	0,021	0,271	166	2,57	67,7	8,9	18,4	13	98	65
CP041-3-3.d	1320	0,066	0,59	104	2,73	46	5,4	10,7	7,7	55	38
CP041-3-4.d	1190	0,063	0,35	63	2,73	37,6	3,9	8,2	5	46	29
CP041-3-5.d	351	0,002	0,138	31,7	2,49	18,9	2,37	4,6	2,41	38,2	15,9
Просечна вредност (ppm)	779,6	29,69	4,73	135,86	2,92	376,29	5,32	26,03	8,32	82,6	43,06

Арсенопирит											
Број анализе	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m63	Ge_ppm_m72	As_ppm_m75	Ag_ppm_m107	Sb_ppm_m121	Au_ppm_m197	Pb_ppm_m208	Se_ppm_m82
CDP097-1-1.d	13,67	0,08	0,12	7,20	3,80	6,64E+04	0,06	2291	0,01	104	1,60
CDP097-1-2.d	13,96	0,07	0,08	20,50	3,63	6,74E+04	0,13	2203	0,03	229	5,00
CDP097-1-3.d	13,63	0,13	0,13	16,60	3,75	6,20E+04	0,05	1688	0,01	170	0,00
CDP097-6-1.d	14,80	0,30	0,23	21,00	3,21	6,33E+04	0,08	1261	0,01	337	1,80
CDP097-6-3.d	15,40	0,22	0,17	16,30	3,20	7,21E+04	0,19	2170	0,04	507	4,00
CDP097-6-4.d	18,70	0,70	0,36	38,00	3,50	6,57E+04	0,23	2004	0,13	840	6,00
Просечна вредност (ppm)	15,03	0,25	0,18	19,93	3,52	66150	0,12	1936,17	0,04	364,5	3,07

ГЕНЕЗА ХИДРОТЕРМАЛНОГ Cu-Au СИСТЕМА ЧУКАРУ ПЕКИ (ИСТОЧНА СРБИЈА)

Енаргит											
Број анализе	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m63	Ge_ppm_m72	As_ppm_m75	Ag_ppm_m107	Sb_ppm_m121	Au_ppm_m197	Pb_ppm_m208	Se_ppm_m82
CP028-1-4.d	4,46	0,7	8,4	5,57E+05	182	1,78E+04	17,67	306	20,9	123,7	74,9
73-3-2.d	11,3	19,2	11,99	1,46E+04	10,8	3,90E+03	5,16	46	4,35	71,1	11,8
12-1-1.d	8,5	2,32	1,39	3,67E+04	29	1,19E+04	6,27	131	3,09	257	7
12-1-2.d	9,28	2,35	1,49	5,78E+04	45,1	2,24E+04	6,62	220	2,76	404	7
12-1-3.d	11,6	11,7	2,77	3,52E+04	24,4	1,20E+04	44,4	144	8,7	714	7,6
Просечна вредност (ppm)	9,03	7,25	5,21	140260	58,26	13600	16,024	169,4	7,96	313,96	21,66

Кварцне жице типа Б											
Број анализе	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m63	Ge_ppm_m72	As_ppm_m75	Ag_ppm_m107	Sb_ppm_m121	Au_ppm_m197	Pb_ppm_m208	Se_ppm_m82
CP084-1.d	6,12	311,89	77,78	295,19	2,51	2,47	0,58	0,02	0,01	0,23	607,58
CP084-2.d	6,07	481,76	65,35	0,57	2,5	8,92	0	0,01	0	0,01	438,07
CP084-3.d	17,53	1,8	1,57	714,17	2,56	0,82	0,43	0,02	0,33	155,47	603,28
CP084-6.d	7,17	7,17	0,1	981,66	3,39	0	0,63	0	0,01	125,3	426,13
CP084-7.d	6,05	0,05	0,09	36,58	3,32	0,08	0,02	0	0	6,96	407,39
Просечна вредност (ppm)	8,59	160,54	28,98	405,63	2,86	2,46	0,33	0,01	0,07	57,59	496,49

Пиритске жице типа Д											
Број анализе	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m63	Ge_ppm_m72	As_ppm_m75	Ag_ppm_m107	Sb_ppm_m121	Au_ppm_m197	Pb_ppm_m208	Se_ppm_m82
CP122-1.d	5,83	1,81	0,18	43,91	3,49	0	0	0	0	0	29,69
CP122-2.d	5,8	0,17	0,06	11,36	4,14	0,49	0	0	0	0	31,97
CP122-3.d	5,67	1,69	0,25	28,21	4,07	0	0	0	0	0	23,53
CP122-4.d	5,63	38,75	2,35	18,29	4,74	0,49	0,02	0	0	0	16,76
CP122-5.d	5,77	28,12	3,4	5,83	5,36	0,17	0	0	0	0	42,24
CP122-6.d	5,74	10,57	1,11	3,47	5,41	0,11	0	0	0	0,02	34,06
CP122-7.d	5,82	6,41	1,23	2,61	5,53	0,2	0	0	0	0	41,01
CP122-8.d	5,87	6,14	1,32	2,6	6,26	0	0	0	0	0	44,95
CP122-9.d	5,78	26,16	4,19	3,36	6,36	0	0	0	0	0	37,8
CP122-10.d	5,8	121,31	10,19	13,64	6,72	0	0	0	0	0,09	27,41
CP122-11.d	5,69	95,51	7,27	2,13	6,59	0	0	0	0	0	50,78
CP122-12.d	5,66	18,78	1,48	0,68	6,31	0,02	0	0	0	0	40,4
CP122-13.d	5,78	8,6	0,55	1,6	6,29	0	0	0	0	0,01	36,95
CP122-14.d	5,77	49,56	6,21	4,99	5,67	0	0	0	0	0,01	46,42
CP122-15.d	5,85	54,59	7,13	9,28	4,64	0	0,01	0,08	0	0,16	67,71
Просечна вредност (ppm)	5,76	31,21	3,13	10,13	5,44	0,1	0	0,01	0	0,02	38,11

ГЕНЕЗА ХИДРОТЕРМАЛНОГ Cu-Au СИСТЕМА ЧУКАРУ ПЕКИ (ИСТОЧНА СРБИЈА)

Сульфидне жице											
Број анализе	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m63	Ge_ppm_m72	As_ppm_m75	Ag_ppm_m107	Sb_ppm_m121	Au_ppm_m197	Pb_ppm_m208	Se_ppm_m82
CP115-1.d	14,16	12,32	4,33	1220,87	8,23	0	0,11	0,11	0,09	0,58	318,25
CP115-4.d	14,28	4,34	1,53	748,41	8,88	0	0,01	0,03	0	0,1	40,93
CP115-5.d	15,73	0,99	0,46	1921,52	9,07	0	0,04	0,01	0,01	0,16	3,86
CP115-7.d	13,7	63,36	9,65	17,13	8,14	0	0	0,01	0	0,01	34,08
CP115-9.d	17,31	19,23	3,16	18,5	7,43	0	0	0,04	0	0,01	80,56
CP115-15.d	12,21	60,73	2,75	113,01	5,55	0	0	0,01	0	0,02	7,49
CP117-3.d	8,64	1,34	0,08	666,52	2,32	0	0,02	0,01	0,01	0,03	1,26
CP117-5.d	8,48	20,61	0,26	3358,44	2,14	0	0,51	0,03	0,14	1,02	3,86
CP117-6.d	8,42	8,52	0,22	2431,44	1,99	1,86	0,37	0	0,17	1,17	1,14
CP117-8.d	7,74	6,69	0,18	1206,34	2,37	213,79	0,06	3,48	0	0,01	2,77
CP117-9.d	7,84	24,8	0,18	107,99	2,1	0,2	0,01	0	0	0	2,5
CP117-10.d	7,85	73,05	1,58	559,83	2,14	0	0,02	0	0	0,01	3,88
CP117-11.d	7,97	32,79	0,2	1265,22	2,16	0	0,04	0,02	0,01	0,02	0,91
CP117-12.d	7,97	3,17	0,06	1647,63	2,19	0	0,03	0	0,01	0,06	17,31
CP117-13.d	8,39	3,41	0,14	426,84	2,37	0	0	0	0	0,01	3,52
CP117-14.d	8,86	5,83	0,11	1038,59	2,48	0,44	0,06	0	0,02	0,1	4,68
CP117-15.d	9,48	28,93	0,33	1631,56	2,65	0	0,12	0	0,06	0,34	123,48
Просечна вредност (ppm)	10,53	21,77	1,48	1081,17	4,25	12,72	0,08	0,22	0,03	0,21	38,27

Анхидритске жице											
Број анализе	Mn_ppm_m55	Co_ppm_m59	Ni_ppm_m60	Cu_ppm_m63	Ge_ppm_m72	As_ppm_m75	Ag_ppm_m107	Sb_ppm_m121	Au_ppm_m197	Pb_ppm_m208	Se_ppm_m82
CP119-1.d	11,09	153,1	1,63	67,76	2,75	0	0,13	0,01	0,01	1,45	38,43
CP119-2.d	7,68	104,34	1,95	54,09	2,87	0	0,05	0	0	0,31	43,17
CP119-3.d	14,72	152,5	1,22	330,82	2,87	0,12	0,11	0,04	0,03	23,91	39,69
CP119-4.d	25,63	104,76	0,68	739,35	2,76	0	0,1	0,05	0,02	17,26	26,54
CP119-5.d	22,38	158,98	1,45	354,21	2,7	0	0,14	0,04	0,04	39,77	45,97
CP119-6.d	6,9	143,67	1,15	43,57	2,91	0,19	0,03	0,02	0	0,48	38,66
CP119-7.d	7,38	14,01	0,17	15,24	3,06	0	0	0,02	0	0,01	40,21
CP119-8.d	7,58	140,3	0,44	38,5	3,52	0	0	0,01	0	0,07	55,79
CP119-9.d	8,36	0,02	0,02	2205,4	3,51	0	0,04	0	0,01	0,02	29,07
CP119-10.d	8,22	0,95	0,11	25,31	3,71	0	0	0	0	0,02	26,15
CP119-11.d	9,04	29,64	0,3	149,02	3,73	0	0	0	0	0,03	200,78
CP119-12.d	9,04	106,29	1,33	30,43	4,08	0	0	0,01	0	0,01	35,9
CP119-13.d	10,06	32,63	0,33	128	3,86	0	0,01	0	0	0,01	422,34
CP119-14.d	10,3	4,55	0,16	2,9	4,23	0	0	0	0	0	101,24
CP119-15.d	10,57	142,01	4,79	56,39	4,38	0	0	0,02	0	0	59,15
Просечна вредност (ppm)	11,26	85,85	1,05	282,73	3,4	0,02	0,04	0,02	0,01	5,56	80,21

Прилог 5: Извештај о микроскопском испитивању узорака из хидротермалног система Чукару Пеки

Извештај обухвата свеукупне резултате добијене анализом препарата узорака микроскопским испитивањем у одбијеној светлости и микроскопским испитивањем у пропуштеној светлости и СЕМ анализом (електронски микроскоп). Процентуални садржај минерала у узорцима није мерен, већ је процењен на основу визуелног испитивања под микроскопом.

Скраћенице које се користе за означавање минерала на сликама су скраћенице које се користе за означавање минерала у компанији *Rakita Exploration*. Испод слике за сваки препарат дата је легенда, која описује ознаке и скраћенице коришћене на сликама за тај препарат.

Листа узорака по редоследу броја бушотина и дубини је приказана у следећој табели:

Бушотина	Дубина	Број узорка
ТС150096	448m	ср006
	476,8m	ср012
	531,2m	ср016
	553m	ср018
ТС150061	463,9m	ср027
	505,5m	ср028
	527,5m	ср029
	564,5m	ср031
	642m	ср032
	735,2m	ср034
	764m	ср035
ТС160117	535m	ср038a
	535m	ср038b
	557,2m	ср039
	608,2m	ср041
	697,1m	ср044
	698m	ср045
ТС150062	508,4m	ср048
	518,5m	ср049
	547,5m	ср050
	570,3m	ср051
	801,2m	ср057
FMTC1330	738,2m	ср061
	877,5 m	ср063
	921,4m	ср065
	1080,5 m	ср069
ТС150043	591,4m	ср073
	661m	ср075
FMTC1327	1246,5m	ср084
	1350m	ср087
	1195,5m	ср088

Бушотина	Дубина	Број узорка
FMTC1328	582,5m	cp097
	1312,8m	cp115
	1387,8m	cp117
	1442m	cp119
	1581,5m	cp122
TC160125	719,8m	cp126
	729,2m	cp127
	1491m	cp137
	1584,7m	cp140
	1644,5m	cp142

Легенда коришћених скраћеница:

alt.hbl – алтерисана хорнбленда

alun – алунит

anh - анхидрит

ap – апатит

ba- барит

bn – борнит

calc – калцит

сс – халкозин

cls – целестин

col – колузит

cov - ковелин

сру - халкопирит

en – енаргит

ga – галенит

hem – хематит

као – каолинит

lim-лимонит

lz – лузонит

mrc- маркасит

mt – магнетит

plag-плагиоклас

po - пиротин

py-пирит

q- кварц

rut- рутил

s - сумпор

sp- сфалерит

Препарат број: СР006

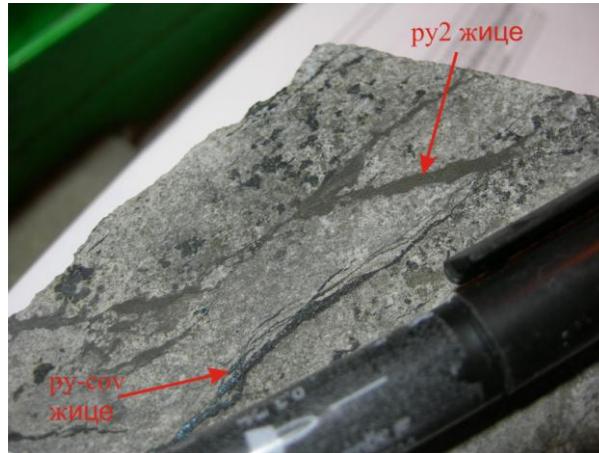
Бушотина: ТС150096 Дубина: 448m

Макроскопски опис: Узорак садржи ру2 жицу која пресеца ковелин у андезиту са силификацијом изнад масивних сулфида. Узет је ради одређивања састава Ру2 жице.

Састав узорка:

Пирит 5%

Ковелин 5%



Нерудни минерали: Нерудни минерали у овом узорку су алтерисани петрогени минерали. Пирит и ковелин се увек јављају поред зрна кварца. (слика ср006-2). Ру2 жица садржи глину и ситнозрни пирит (слика ср006-3).

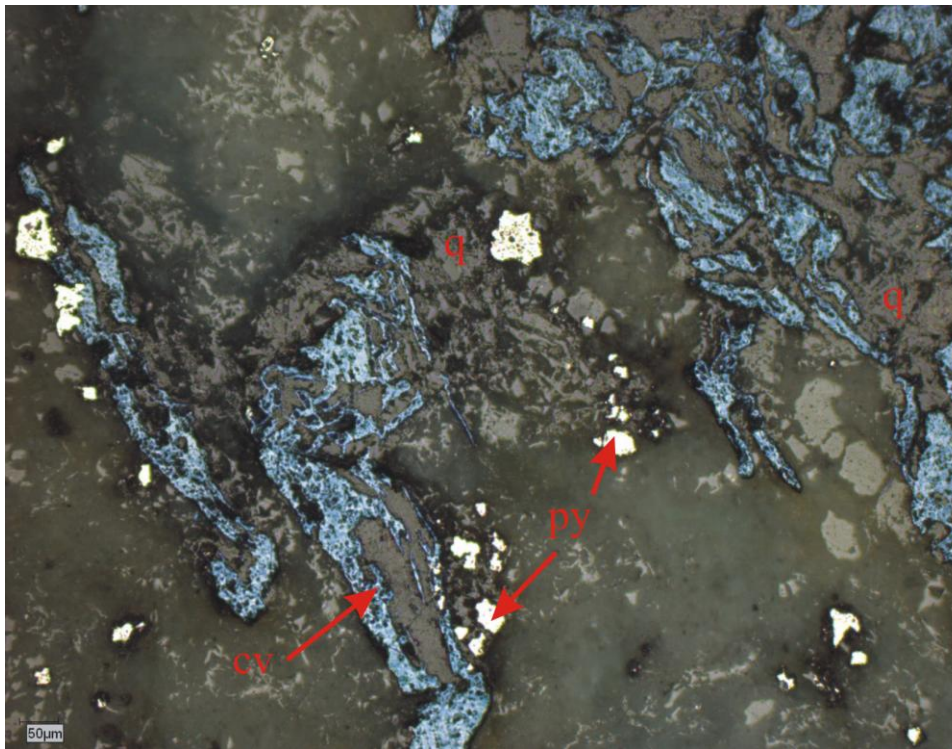
Пирит: Јавља се у две форме:

- 1) Крупнија зрна, око 100-200 микрона, која се често јављају заједно са кварцом и ковелином.
- 2) Мала зрна, око 10-50 микрона у ру2 жици.

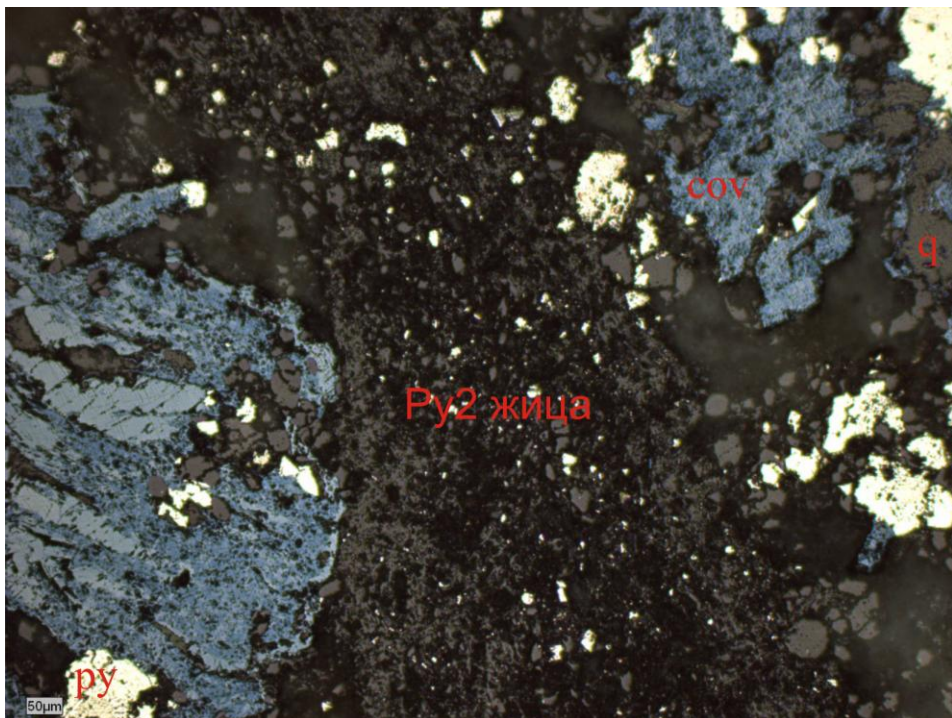
Ковелин: Јавља се у виду издужених зрна, често у назубљеном облику кристала (енг. „bladed covellite”). Увек се јавља заједно са кварцом и пиритом (слика ср006-2).

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Узорак указује на најмање три фазе депоновања:

- 1) Алтерација петрогених минерала (вероватно напредном аргилитском алтерацијом)
- 2) Стадијум са кварцом, пиритом и ковелином (можда је део ру-еп или ру-сов жице).
- 3) Млађе Ру2 жице са глиновитим материјалом и ситнозрним пиритом



Слика ср006-2: Пирит (py) и ковелин (cv) у кварцној жици (q), одбијена светлост.



Слика ср006-3: Py2 жица са ситнозрним кварцом пресеца py-cov жицу са ковелином (cov), пиритом (py) и кварцом (q), одбијена светлост.

Препарат број: СР012

Бушотина: ТС150096 Дубина: 476,8m

Макроскопски опис: Узорак садржи ру-сов жицу са кварцом која пресеца класте ру1 пирита. Узет је за одређивање разлике између ру1 пирита и ру-сов жице.

Састав узорка:

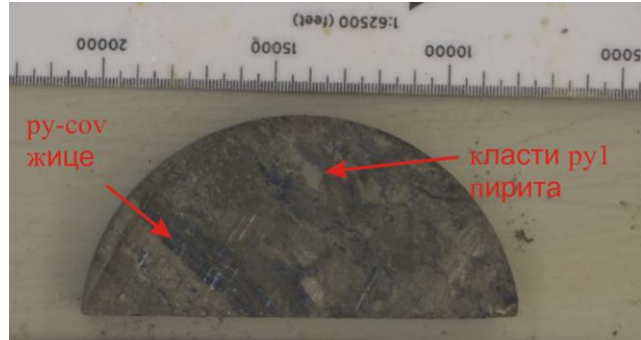
Пирит 30%

Ковелин 10%

Ретки минерали:

Енаргит

Рутил



Нерудни минерали: Кварц (вероватно депонован деловањем напредне аргилитске алтерације) је главни нерудни минерал у овом препарату.

Пирит: Јавља се у две форме:

- 1) Ру1 зрна пирита: Обично се јављају као мала еухедрална зрна у кварцу (ср012-3).
- 2) Колоформни пирит: Јавља се заједно са ковелином, запуњавајући пукотине око кварца (ср012-4).

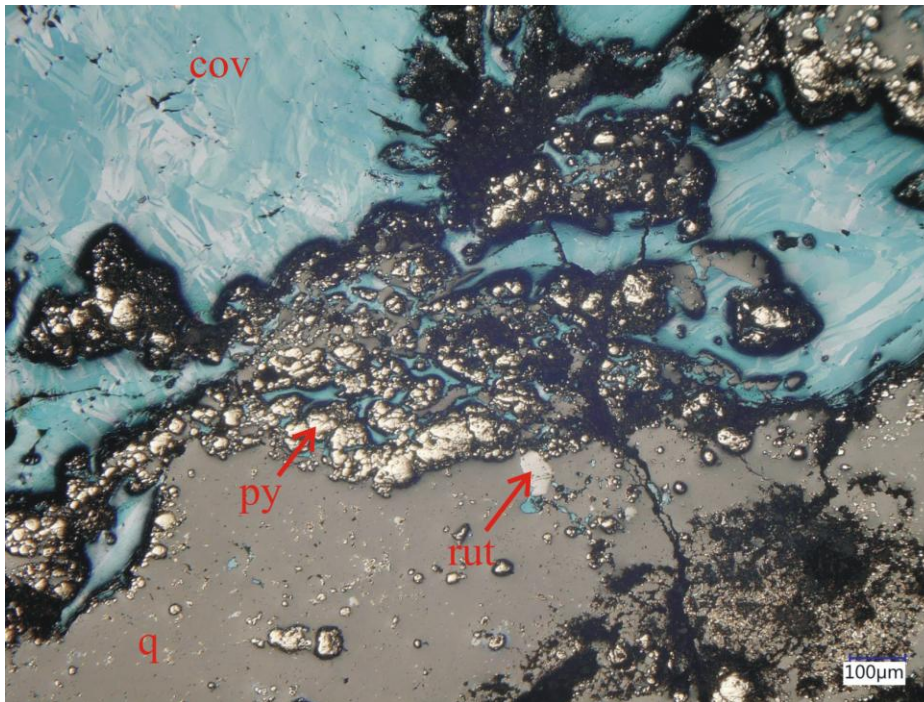
Ковелин: Велика издужена зрна у пукотинама око кварца и ру1 пирита (ср012-5).

Енаргит: Јавља се у виду издужених зрна, у виду трака у великим зрнима ковелина (ср012-5).

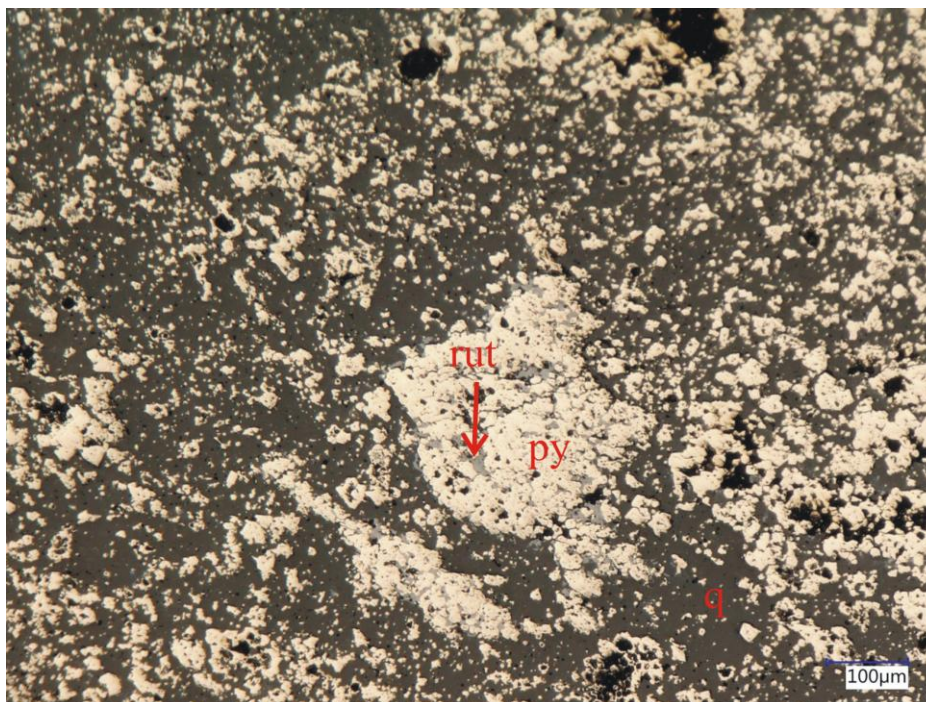
Рутил: Мала зрна, величине до 50 микрона. Увек се јављају заједно са ситнозрним пиритом (ру1) у кварцу (ср012-2, ср012-3).

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Узорак указује на 2 фазе депоновања:

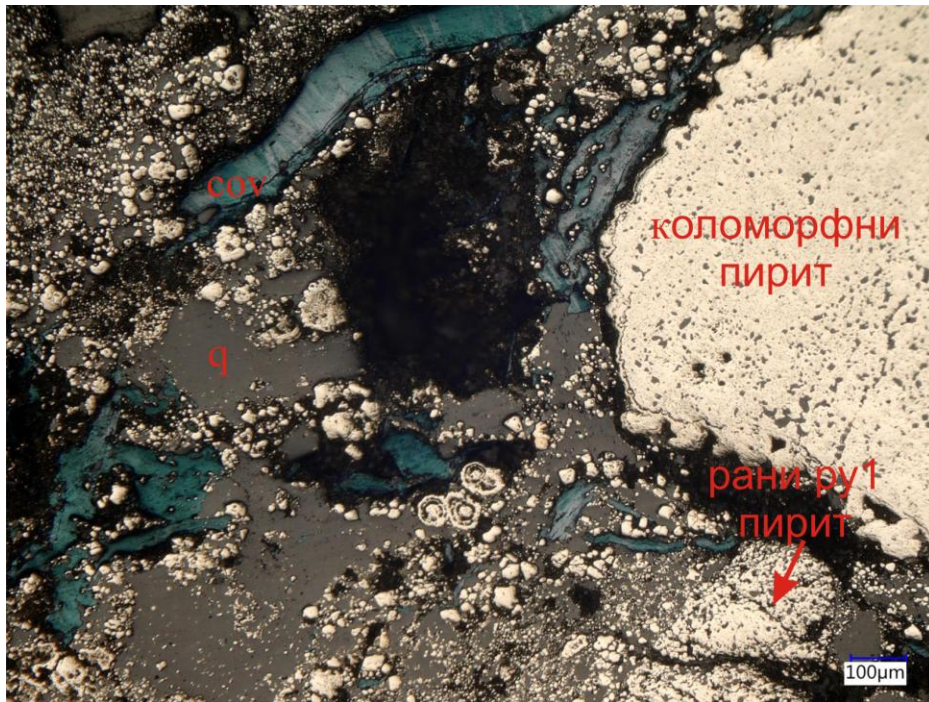
- 1) Кварц са ситнозрним пиритом и рутилом (ср012-2).
- 2) Ковелин са колоформним пиритом и ретким енаргитом (ср012-4, ср012-5).



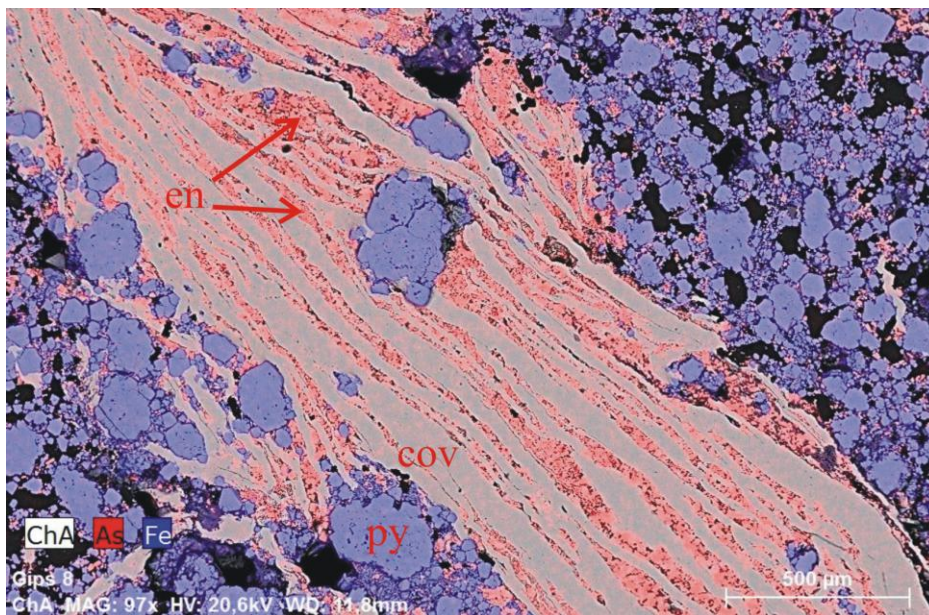
Слика ср012-2: Зрна рутила (rut) и пирита (py) у кварцу (q), ковелин (cov) у пукотинама око зрна кварца са пиритом, одбијена светлост.



Слика ср012-3: Рани пирит (py1) у кварцу (q) са рутилом (rut), одбијена светлост.



Слика ср012-4: Колоформни пирит (Pu) и ковелин (cov) око кварчне жице (q) са раним пиритом, одбијена светлост.



Слика ср012-5: Комбинована мапа елемената за арсен (As-црвено) и гвожђе (Fe- плаво), на којој се уочава жица са тракама ковелина (cov) и снаргита (en) која пролази кроз зрна раног пирита (пу), слика направљена на електронском микроскопу (SEM).

Препарат број: СР016

Бушотина: ТС150096 Дубина: 531,2m

Макроскопски опис: Узорак садржи жицу сивог кварца са ковелином у масивним сулфидима са ру1 пиритом око кварца. Ковелин запуњава ситне пукотине у кварцу. Узорак је узет ради проучавања минералног састава и испитивања флуидних инклузија у кварцу.



Састав узорка:

Ковелин 15%

Пирит 5%

Ретки:

Енаргит

Рутил

Нерудни минерали: Криптокристаласти кварц је најчешћи нерудни минерал, он је у целом препарату.

Пирит: Вероватно се јавља у две форме, али их је тешко јасно визуелно одвојити:

- 1) Ру1 зрна пирита: Обично се јављају у виду малих зрна у кварцу (ср016-7).
- 2) Пирит у облику кристала: Јавља се заједно са ковелином и енаргитом (ср016-2).

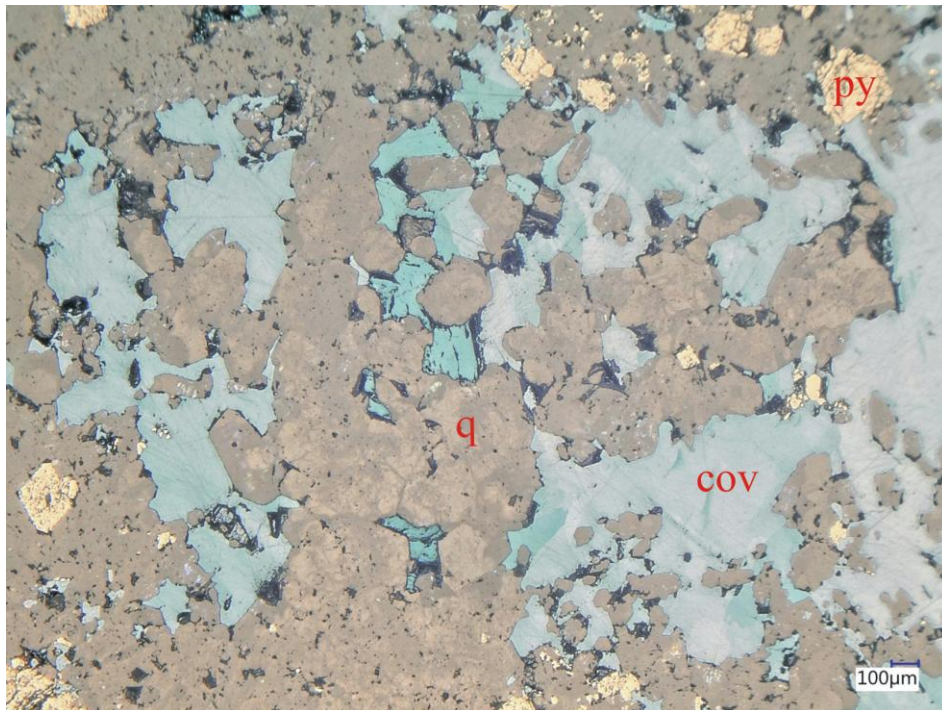
Ковелин: Велика повезана зрна запуњавају пукотине у кварцу (ср016-2).

Енаргит: Мала зрна у пириту или поред већих зрна ковелина.

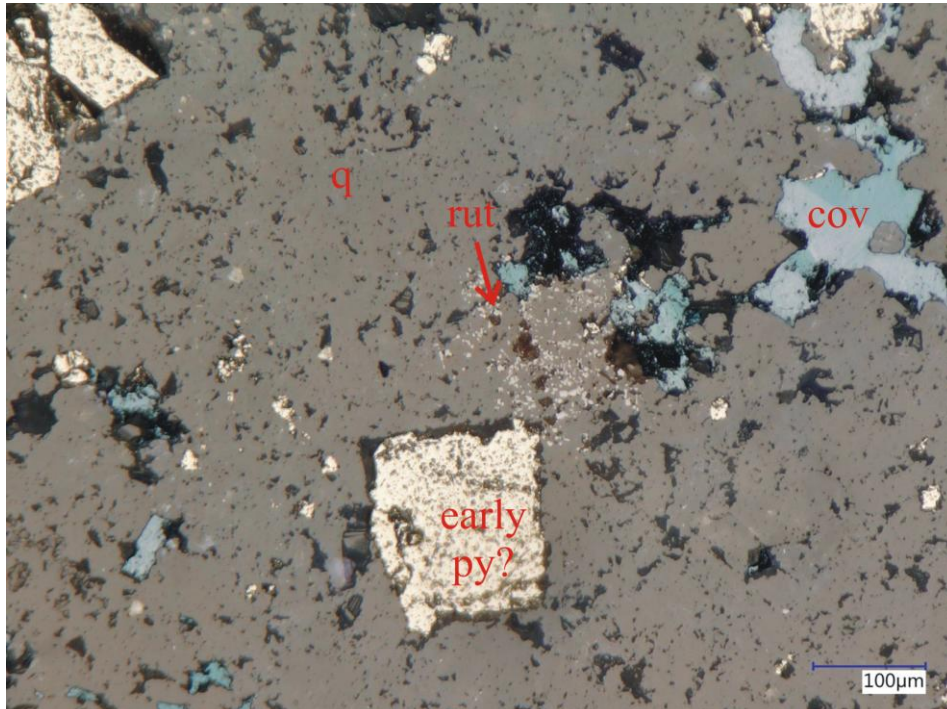
Рутил: Веома мала зрна налик иглицама у кварцу (ср016-7).

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Постоје две јасно уочљиве фазе у овом узорку:

- 1) Кварц са ситнозрним пиритом и рутилом (ср016-7).
- 2) Ковелин са пиритом и ретким енаргитом (ср016-2).



Слика ср016-2: Ковелин (cov) и пирит (py) запуњавају пукотине налик мрежи (штокверк) у кварцу (q), одбијена светлост.



Слика ср016-7: Рани пирит (early py) и рутил (rut) у кварцу (q), са каснијим ковелином (cov), који запуњава пукотине у кварцу, одбијена светлост.

Препарат број: СР018

Бушотина: ТС150096 Дубина: 553m

Макроскопски опис: Узорак садржи ру-еп жицу масивних сулфида. Узет је ради одређивања састава ру-еп жице и одређивања разлике у односу на ру-сов жице.

Састав узорка:

Пирит 10%

Енаргит 1%

Ретки:

Ковелин



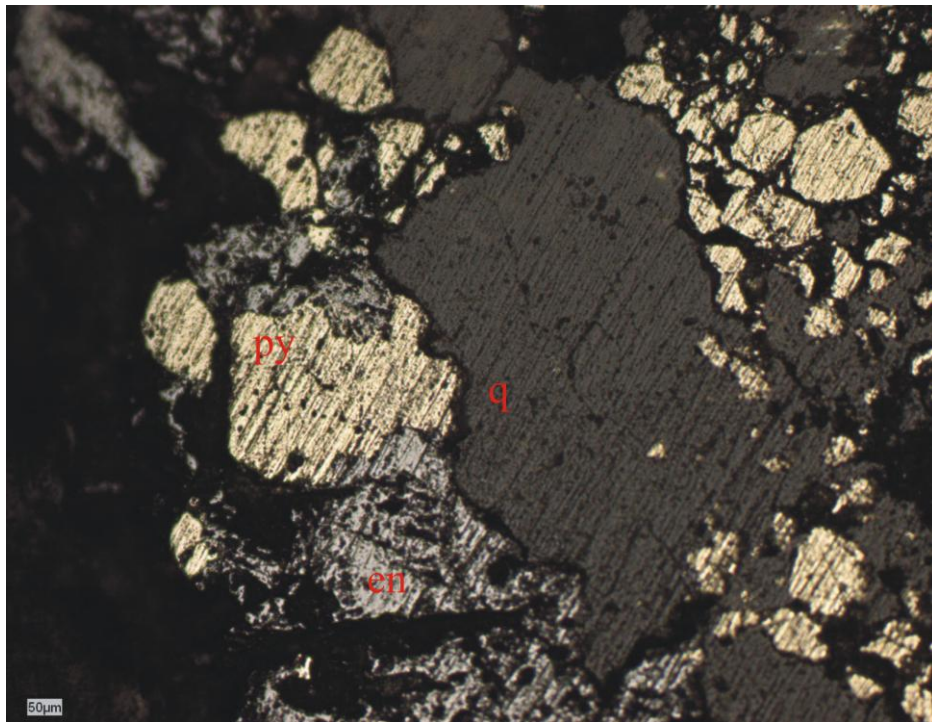
Нерудни минерали: Најчешћи нерудни минерал је кварц. Такође се примећује ситна жица каснијег гипса која не садржи рудне минерале на средини препарата.

Пирит: Јавља се углавном заједно са зрнима кварца. Величина зрна варира, али у најчешћем броју случајева је око 50-100 микрона (слика ср018-4).

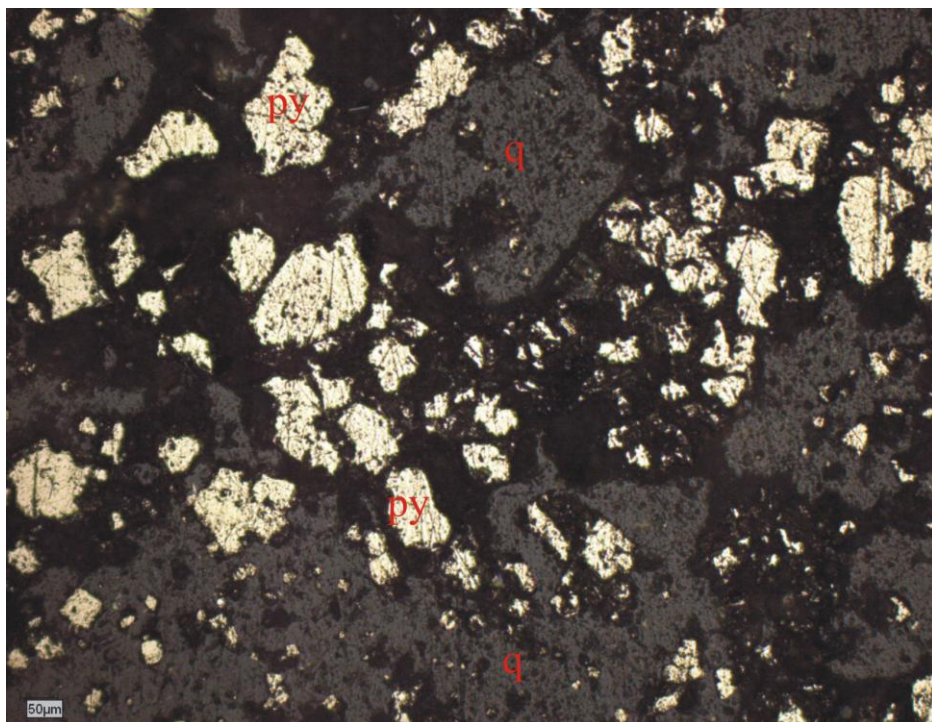
Енаргит: Углавном се јавља у виду великих зрна неправилног облика у пукотинама око зрна кварца (слика ср018-1). Такође се понегде могу наћи мала зрна енаргита унутар вечих зрна пирита.

Ковелин: У овом препарату се ретко јавља у виду веома малих зрна, која су вероватно део касније фазе.

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Вероватно су у овом узорку енаргит и пирит депоновани у истој фази (ру-еп жица) (слика ср018-1). Поједина зрна пирита запуњавају пукотине између зрна кварца (слика ср018-4), што може указати на то да су зрна кварца формирана у ранијој фази (током напредне аргилитске алтерације).



Слика ср018-1: Пирит (py) и енаргит (en) у пукотинама око ранијег зрна кварца (q), одбијена светлост.



Слика ср018-4: Пирит (py) око зрна ранијег кварца (q) из напредне аргилитске алтерације, одбијена светлост.

Препарат број: СР027

Бушотина: ТС150061 Дубина: 463,9m

Макроскопски опис: Узорак је жица белог калцита у горњим андезитима. Узет је ради одређивања присуства рудних минерала или флуидних инклузија у калцитним жицама.

Састав узорка:

Пирит 1%

Ретки:

Мали сиви минерал (рутил?)



Нерудни минерали: Жица се углавном састоји од еухедралног калцита. Остатак узорка чини алтерисана стена (андезит).

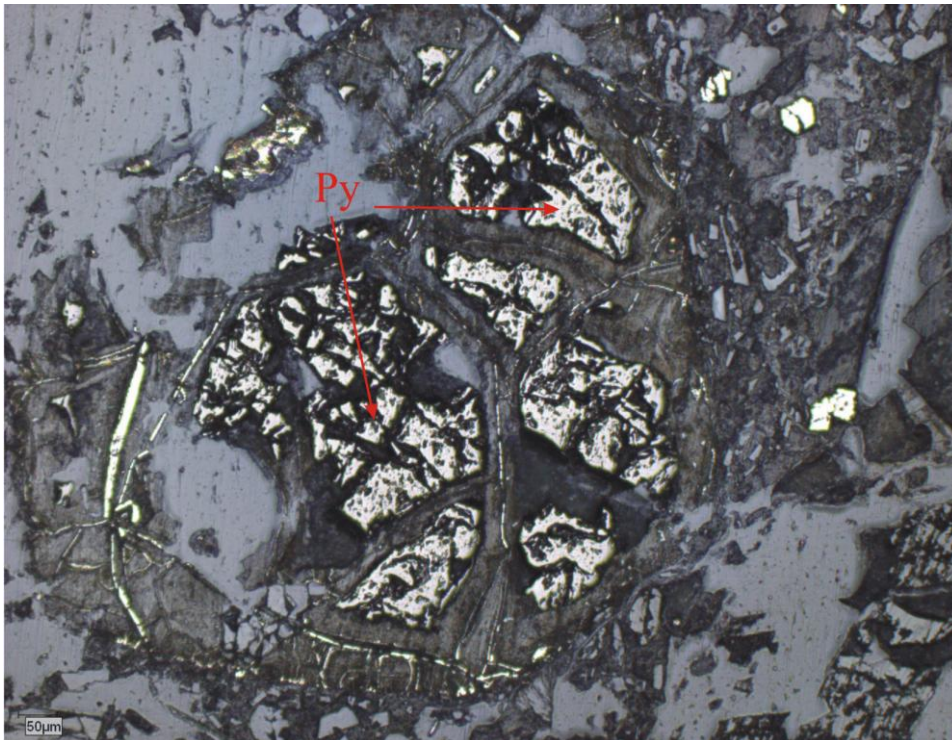
Пирит: Јавља се у виду ситних зрна, углавном у алтерисаним петрогеним минералима (биотит, хорнбленда итд.) (слика 27-2).

Рутил: Јавља се у виду веома малих зрна у алтерисаним петрогеним минералима.

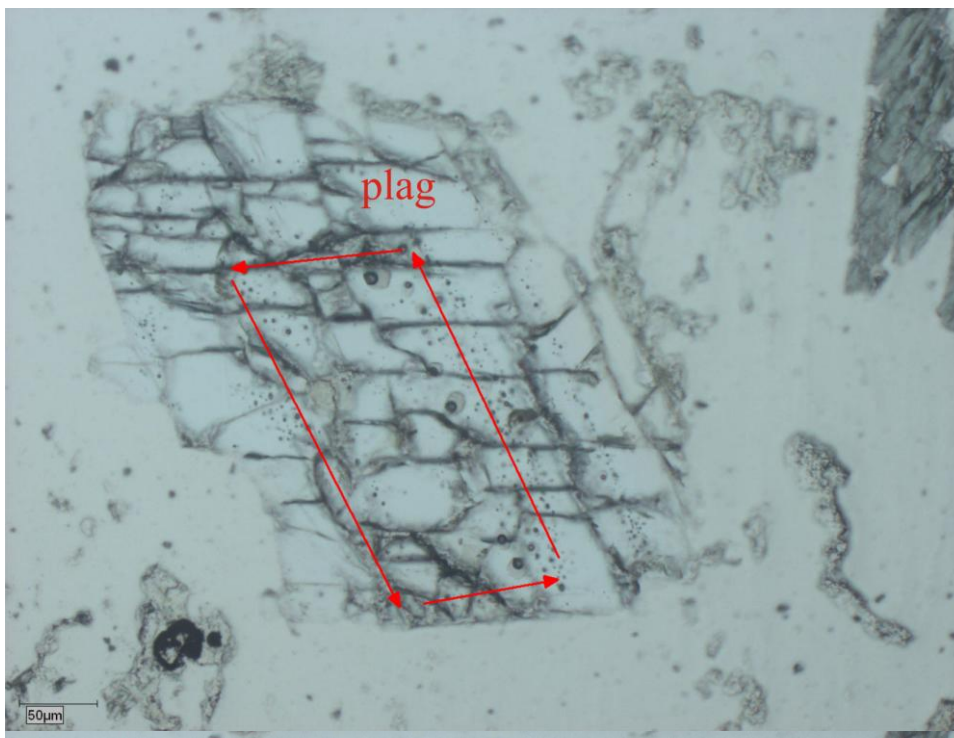
Минералне парагенезе и редослед депоновања: Калцитна жица не садржи минерализацију и вероватно је формирана након алтерације стене.

Проучавање флуидних инклузија:

Калцит у жицама не садржи флуидне инклузијем, међутим сачувани алтерисани плагиокласи садрже крупне примарне мелт инклузије, који би се могле користити за даља проучавања (слика 27-7).



Слика 27-2: Пирит (Py) запуњава простор у алтерисаној хорнбленди, одбијена светлост.



Слика 27-7: Примарне мелт инклузије у плагиоκласу (plag), облик групације инклузија који прати раст кристала је означен црвеном линијом, пропуштена светлост.

Препарат број: СР028

Бушотина: ТС150061 Дубина: 505,5m

Макроскопски опис: Узорак је део веће ру-сов жице са пиритом и ковелином. Могуће је да жица садржи бречизиране фрагменте ру1 пирита. Узорак је узет ради одређивања садржаја жице и присуства кварца у жици.

Састав узорка:

Пирит 20%

Ковелин 20%

Енаргит 5%



Нерудни минерали: Кварц није присутан у овој жици, простор око рудних минерала је алтерисани андезит (вероватно напредна аргилитска алтерација).

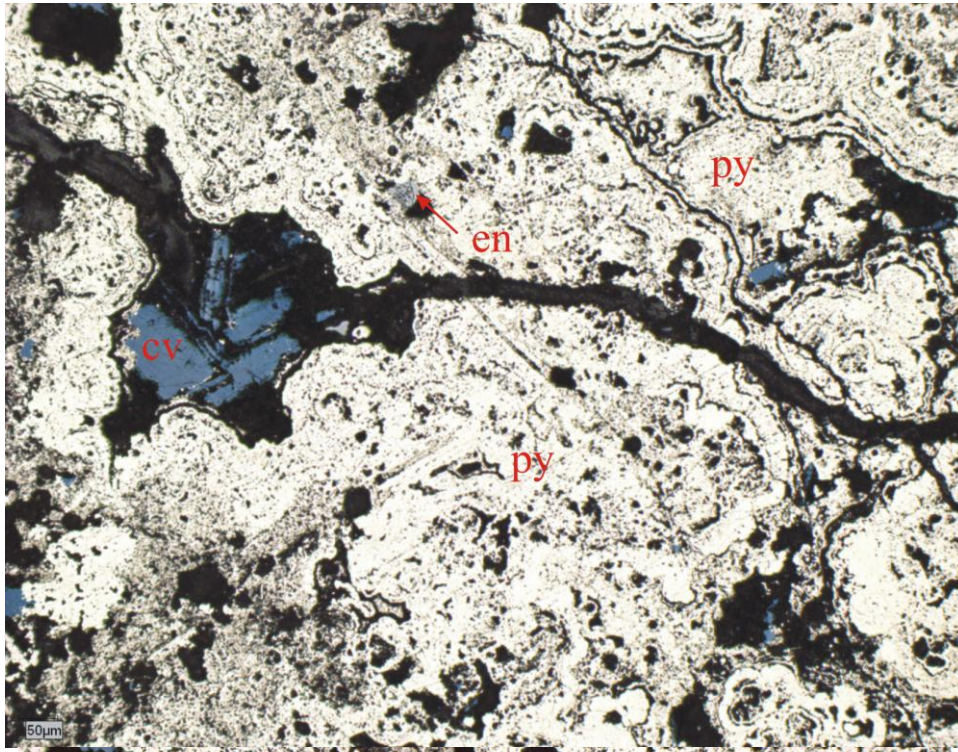
Пирит: Јавља се у две форме:

- 1) Велико зрно колоформног пирита у средини препарата, касније пукотине у овом зрну садрже ковелин и енаргит (слика 28-6).
- 2) Мањи кристали неправилног облика коју се јављају заједно са ковелином (слика 28-5).

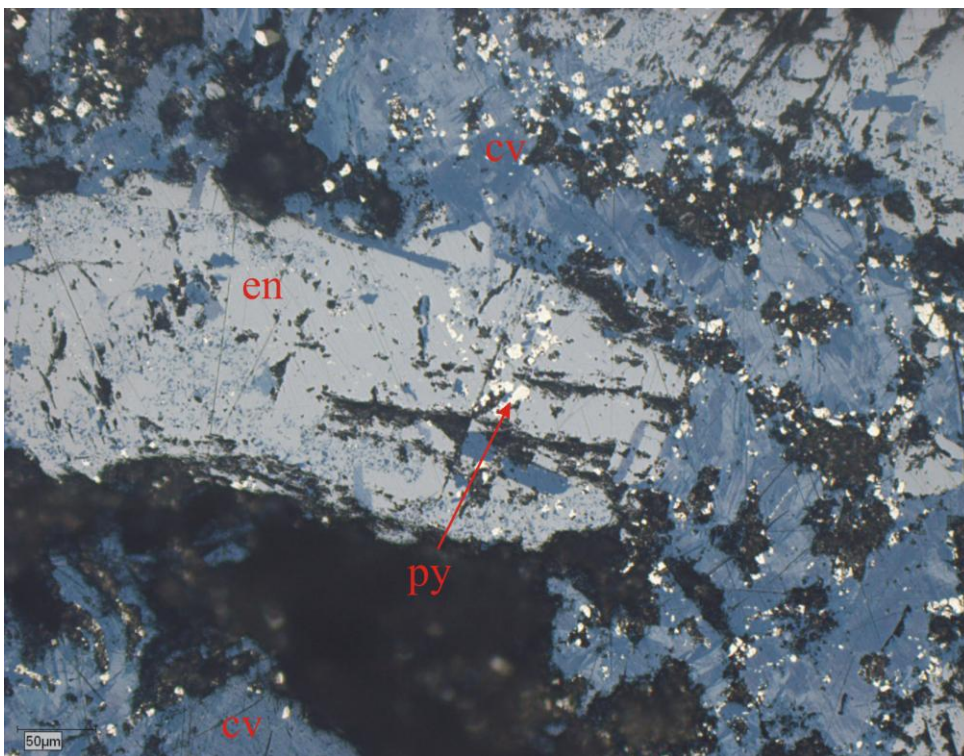
Ковелин: Велики издужени кристали, вероватно прате правац пружања малих жица.

Енаргит: Зрна неправилног облика, величине до 0,5 mm. У највећем броју случајева јавља се заједно са већим кристалима ковелина (слика 28-5).

Минералне парагенезе и редослед депоновања: На основу односа зрна, изгледа да су зрна колоформног пирита формирана прва и затим пресечена минералном асоцијацијом која садржи пирит, ковелин и енаргит. Међутим, пошто се мала зрна енаргита и ковелина налазе у колоформном пириту, могуће је да су она део исте фазе депоновања, али да је пирит први кристалисао.



Слика 28-6: Ковелин (cv) у пукотинама између великих зрна колоформног пирита (py) са малим зрнима енаргита (en), одбијена светлост.



Слика 28-5: Py-cov жица са ковелином (cv), енаргитом (en) и малим зрнима пирита (py), одбијена светлост.

Препарат број: CP031

Бушотина: TC150061 Дубина: 546,5m

Макроскопски опис: Узорак садржи гипсну жицу у масивним сулфидима са великим еухедралним кристалима гипса. Ово је вероватно млађа гипсна жица формирана након ру-сов жица. Узорак је узет ради одређивања присуства флуидних инклузија у касном гипсу.

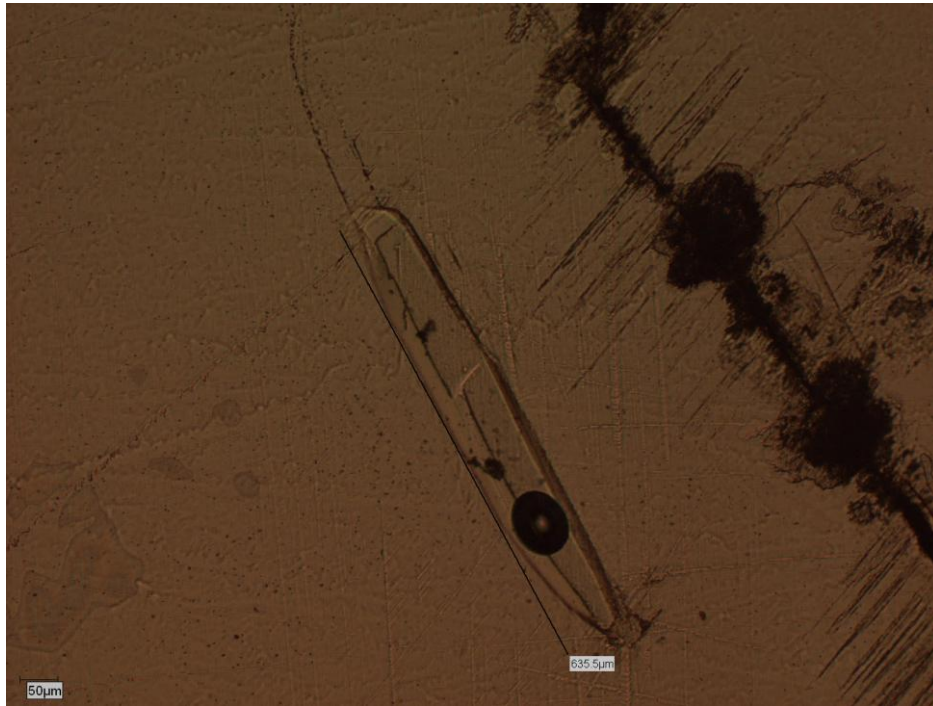


Састав узорка:

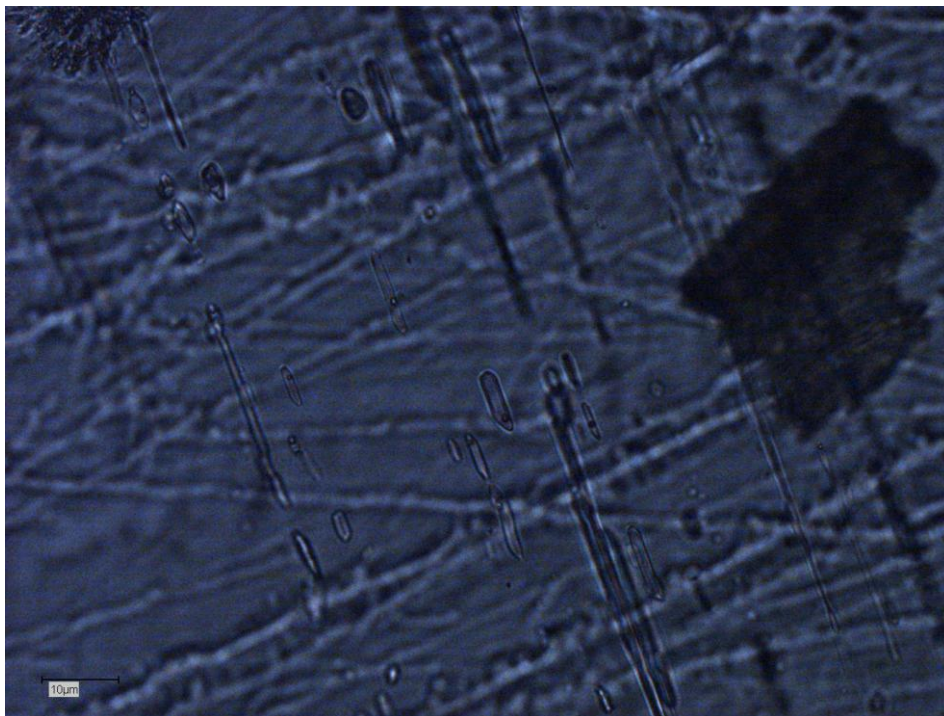
Цео узорак се састоји од гипса, са веома малим зрном кварца са пиритом.

Проучавање флуидних инклузија:

Овај узорак садржи инклузије близу пукотина – које су вероватно секундарне. Неке од њих су веома дуге и могу бити погодне за микротермометријска мерења. Међутим, због секундарне природе инклузија, оне нису коришћене за даље експерименте, пошто је могуће да су оне настале доста након депоновања гипса (слика 31-1, слика 31-3). Такође, због мекоће гипса, поступак припреме препарата за проучавање инклузија је тежи. Трећи проблем је то што гипс на око 150°C прелази у непровидну белу форму, тако да се не могу пратити температуре хомогенизације инклузија.



Слика 31-2: Огромна флуидна инклузија, дужине око 600 микрона у гипсу, пропуштена светлост.



Слика 31-3: Много малих паралелних флуидних инклузија у гипсу, пропуштена светлост.

Препарат број: СР032

Бушотина: ТС150061 Дубина: 642m

Макроскопски опис: Узорак садржи алтерисану стену, зону са колоформним пиритом и ру-сов жицу. Узет је ради испитивања колоформног пирита и одређивања да ли је жица другачија од других жица које садрже овај тип пирита.

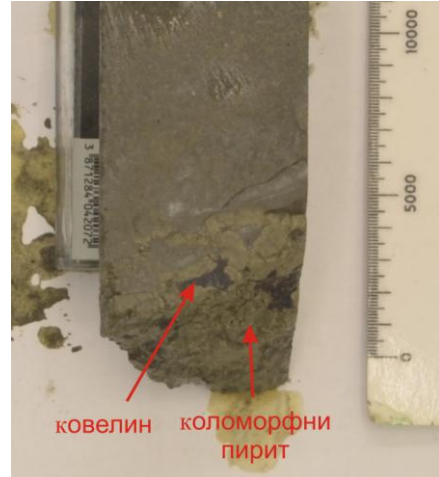
Састав узорка:

Пирит 10%

Ковелин 4%

Ретки:

Рутил



Нерудни минерали: У алтерисаној стени, кварц је чест (вероватно настао силификацијом). Ковелинска жица не садржи кварц, али садржи бели гипс у средини жице.

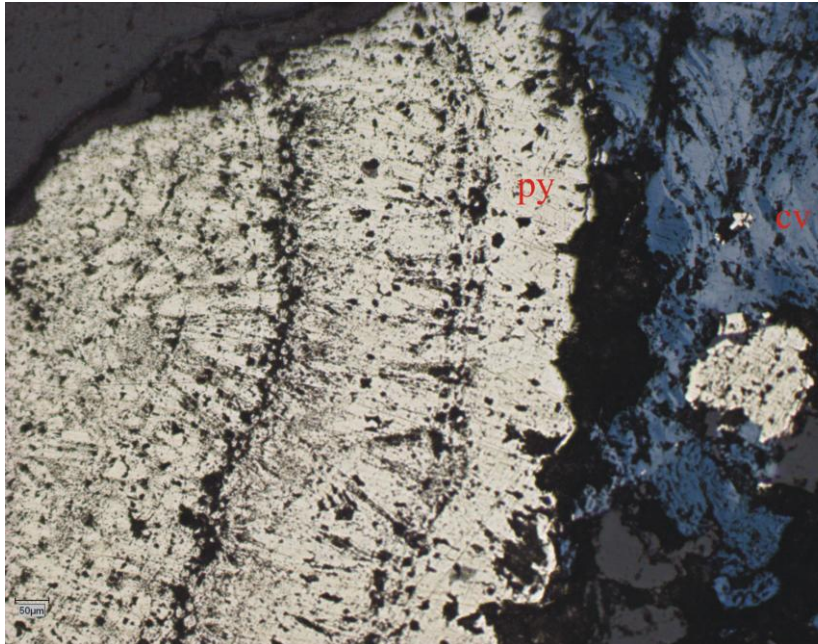
Пирит: Јавља се у две форме:

- 1) Велика зрна колоформног пирита, величине до неколико милиметара. Јављају се у делу препарата близу ковелинске жице (слика 32-3).
- 2) Мањи хипидиоморфни кристали, импрегнисани у алтерисаној стени са просечном величином зрна око 50-200 микрона.

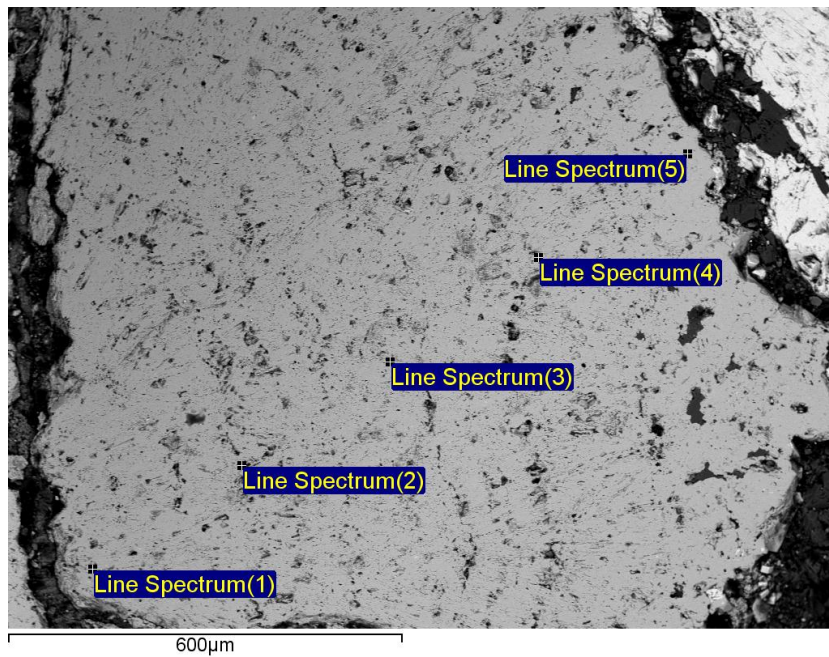
Ковелин: Велики издужени кристали у ковелинском делу жице. Такође у форми малих зрна у пукотинама у алтерисаној стени (слика 32-5).

Рутил: Мала зрна у алтерисаној стени, често се јављају заједно са зрнима пирита.

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Вероватно је редослед таложења минерала у овој жици: Силификација стене → формирање пирита и рутила у алтерисаној стени → таложење колоформног пирита → таложење ковелина са белим гипсом. Вероватно је колоформни пирит повезан са жицама ковелина, тако што је пирит прво кристалисао на рубу жице, док је ковелин кристалисао у унутрашњем делу жице.



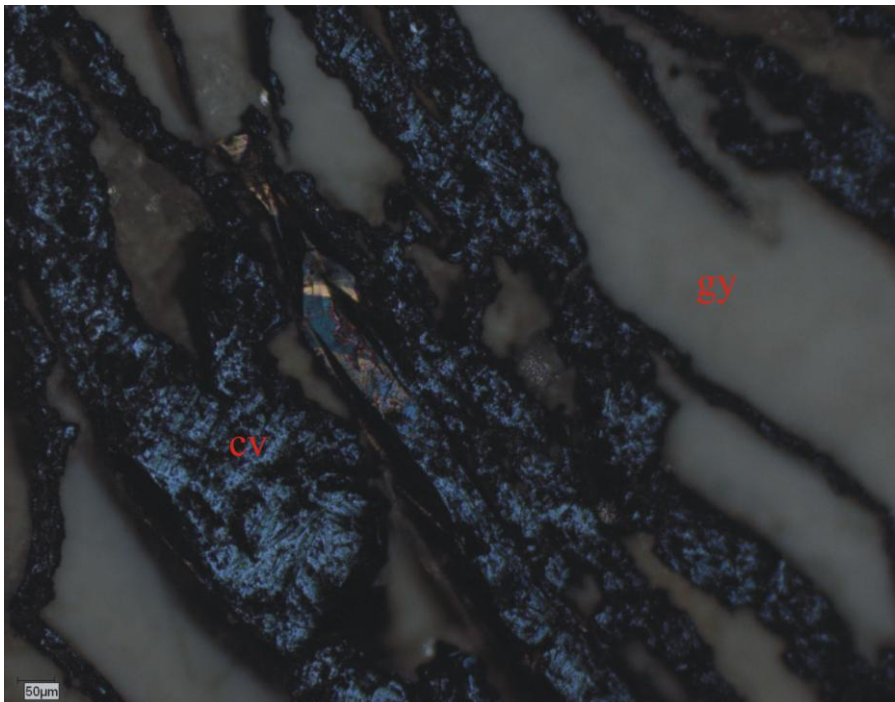
Слика 32-3: Велико зрно колоформног пирита (py) близу ковелинске (cv) жице, одбијена светлост.



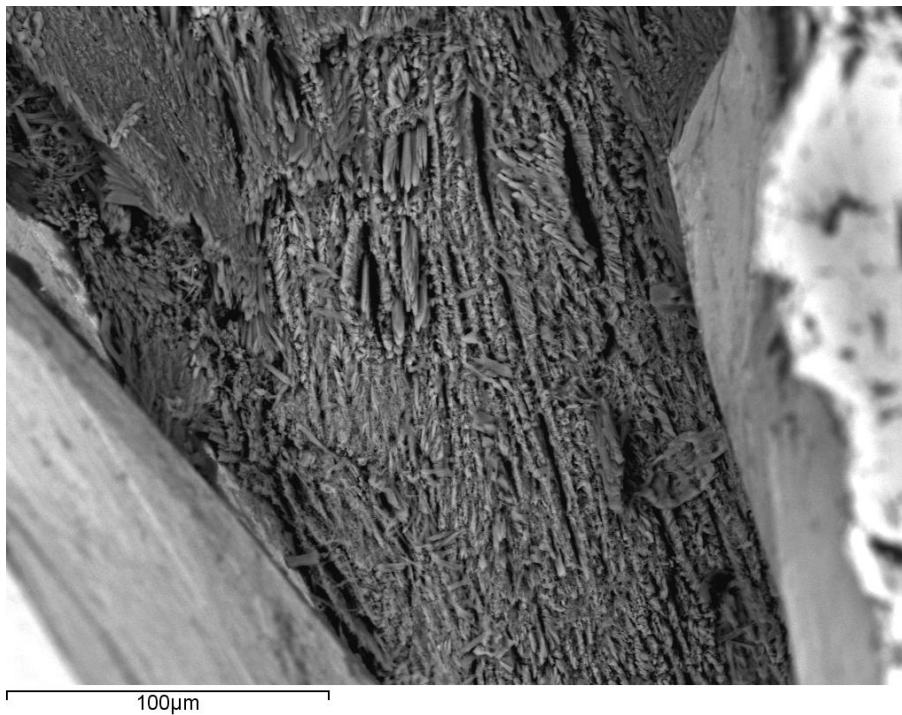
Слика 32-3s: Анализирана места на колоформном пириту на претходној слици показују промену садржаја Cu у зонама раста на пириту, слика са SEM уређаја.

Анализа зрна пирита на електронском микроскопу (SEM) приказана у масеним процентима:

	O	Na	Si	S	Ca	Fe	Cu	Укупно
Line Spectrum(1)			0,00	50,64	0,11	41,79	7,46	100,00
Line Spectrum(2)			0,09	52,78	0,00	46,88	0,24	100,00
Line Spectrum(3)	5,81	0,29	0,18	42,44	0,42	50,11	0,75	100,00
Line Spectrum(4)			0,22	53,64	0,00	45,84	0,30	100,00
Line Spectrum(5)			0,14	52,14	0,00	46,97	0,74	100,00



Слика 32-4: Ковелински део жице са издуженим ковелином (cv) и белим гипсом (gy), одбијена светлост.



Слика 32-4sem: Слика кристала белог гипса на средини жице ковелина, направљена на електронском микроскопу (SEM).

Препарат број: СР034

Бушотина: ТС150061 Дубина: 735,2m

Макроскопски опис: Узорак садржи део широке жице са ковелином, кварцом и алунитом. Узет је ради проучавања састава жице и флуидних инклузија у кварцу.

Састав узорка:

Пирит 5%

Ковелин 1%

Ретки:

Сиви минерал (вероватно рутил)



Нерудни минерали: Жица се састоји од кварца и алунита, у неким деловима се могу видети алтерисани петрогени минерали (слика 34-2).

Пирит: Мала зрна у кварцу и у алуниту, где се јавља заједно са ковелином (слика 34-3).

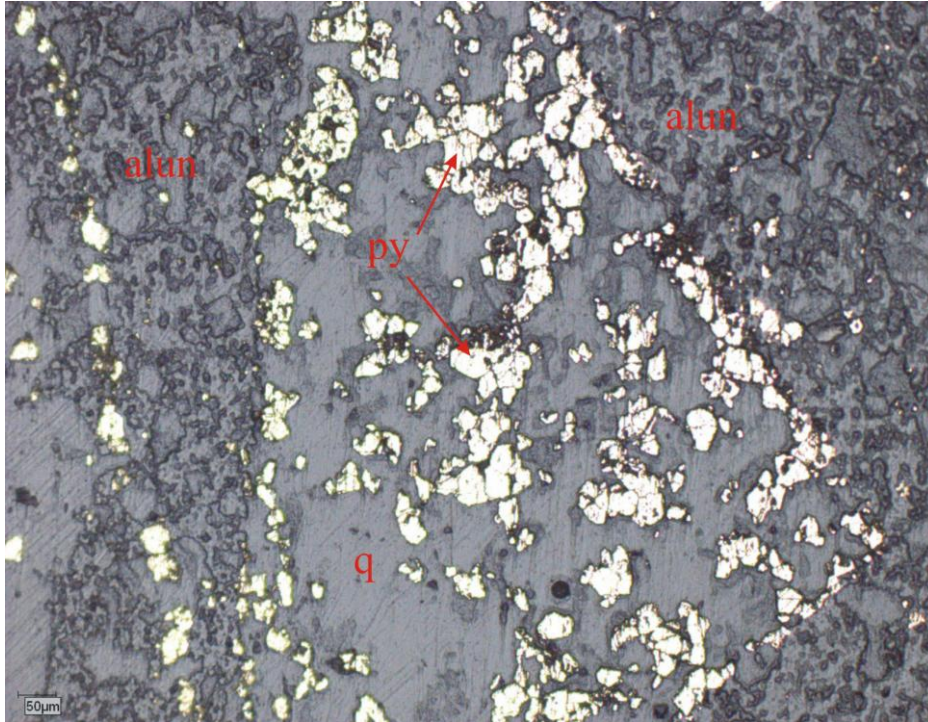
Ковелин: Велика издужена зрна у правцу пружања жице. Ширина зрна је између 0,2 и 2 mm. Зрна се углавном налазе у алуниту, око зрна раног кварца.

Сиви минерал: Јавља се у виду малих зрна у алтерисаним петрогеним зрнима, поред малих зрна пирита.

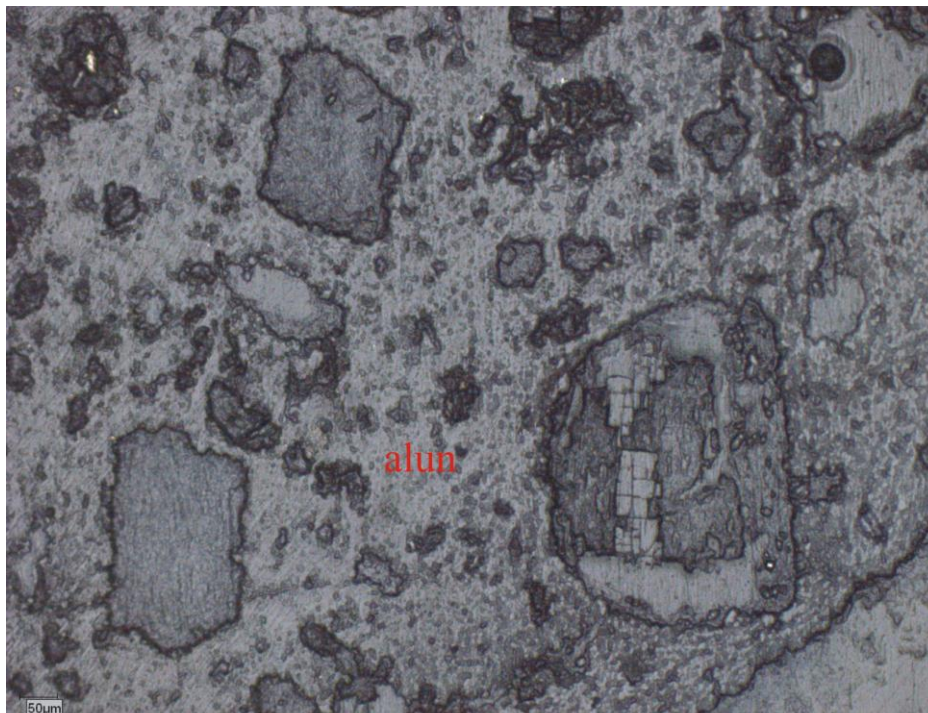
Минералне парагенезе и редослед депоновања: Пирит, ковелин и алунит су вероватно формирани у истој фази депоновања после кварца и пирита, пошто запуњавају пукотине у кварцу. Стога две различите фазе депоновања су:

- 1) Кварц са пиритом.
- 2) Алунит са пиритом и ковелином.

Проучавање флуидних инклузија: И алунит и кварц се састоје од веома малих непровидних кристала у којима је тешко приметити инклузије.



Слика 34-3: Пирит (py) у зрну кварца (q), са алунином (alun) око зрна кварца, одбијена светлост.



Слика 34-2: Петрогени минерали (вероватно хорнбленда и биотит) алтерисани киселим флуидима са алунином (alun), одбијена светлост.

Препарат број: CP035

Бушотина: TC150061 Дубина: 764m

Макроскопски опис: Узорак садржи жироку жицу са кварцом, алунитом и самородним сумпором. Узет је за проучавање састава жице и флуидних инклузија у кварцу.

Састав узорка:

Пирит 3%

Ковелин 1%

Ретки:

Рутил

Колузит (слика 35-2)



Нерудни минерали: Жица се састоји од криптокристаласог кварца и алунита.

Пирит: Мала неправилна зрна у алуниту око зрна раног кварца (слика 35-1).

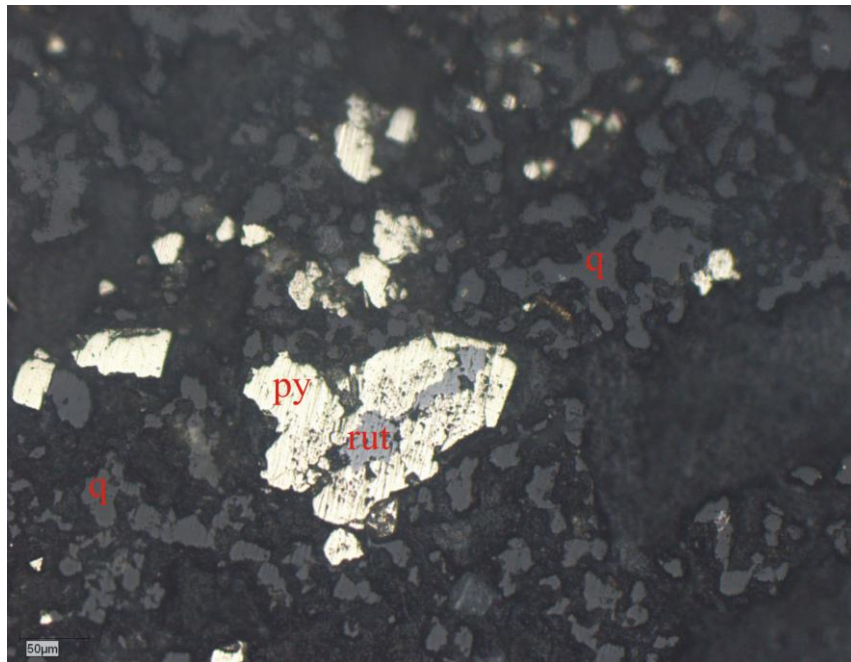
Ковелин: Мала издужена зрна зрна у алуниту око зрна раног кварца (слика 35-2).

Рутил: Јавља се у форми малих зрна (до 75 микрона) у истој фази као пиритска зрна у алуниту (слика 35-4, 35-1).

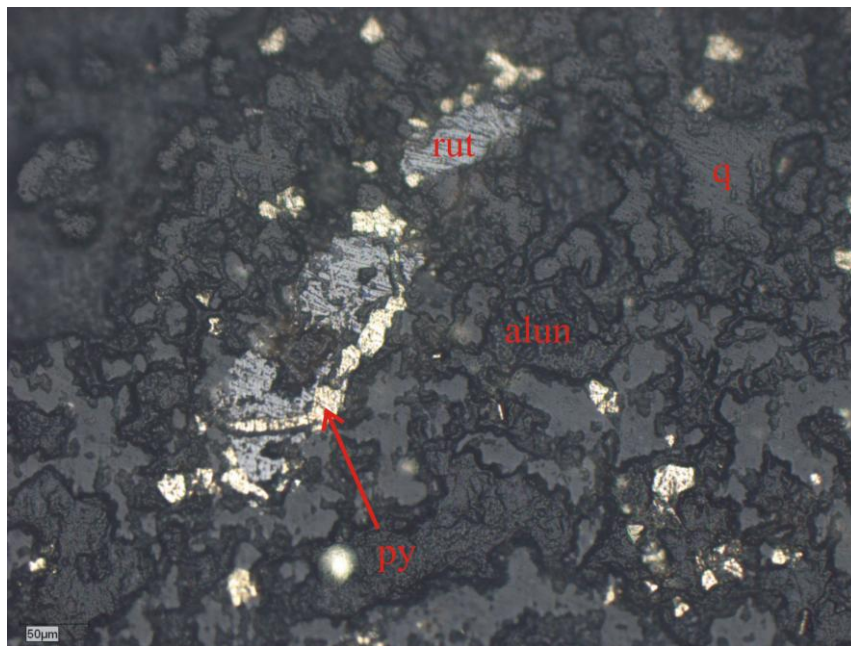
Колузит: Веома мала зрна обично заједно са зрнима ковелина (одређена SEM анализом) (слика 35-2).

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Пирит, ковелин и алунит су вероватно формирану у истој фази депоновања као зрна кварца, пошто запуњавају пукотине око зрна кварца.

Проучавање флуидних инклузија: Алунит и кварц се састоје од веома малих непровидних кристала и у њима је тешко уочити инклузије.



Слика 35-4: Сиви минерал - рутил (rut) у пириту (py) око малих зрна кварца (q), одбијена светлост.



Слика 35-1: Сиви минерал- рутил (rut) и пирит (py) у кварцу (q) и алунит (alun) који запуњава пукотина око зрна кварца, одбијена светлост.



Слика 35-2: Пирит (py) и ковелин (cv) са колузитом (col) у алуниту (alun) око малих зрна кварца (q), одбијена светлост.

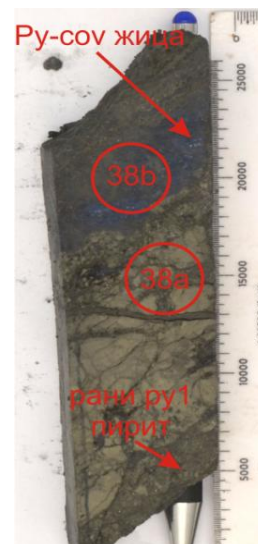
Састав зрна колузита, измерен на SEM уређају (електронском микроскопу):

Елемент	Масени проценат (%)	Атомски проценат (%)
O	1,73	0,88
Si	0,53	5,00
S	33,83	48,89
V	3,13	2,84
Cu	44,18	32,17
As	16,59	10,23
Укупно	100	100

Препарат број: СР038-а

Бушотина: ТС160117 Дубина: 535m

Макроскопски опис: Узорак садржи део велике ру-сов жице са ковелином, енаргитом и алтерисаном андезитском стеном са ру1 пиритом. Узорак је узет ради одређивања састава жице и дефинисања разлике између ру1 пирита и ру-сов жице.



Састав узорка:

Пирит 60%

Ковелин 20%

Енаргит 5%

Наранцасти минерал (можда лузонит) 1%

Нерудни минерали: У алтерисаној стени, кварц је доминантан нерудни минерал (вероватно настао силификацијом). Ковелинска жица не садржи кварц, али садржи белу глину.

Пирит: Јавља се у две форме:

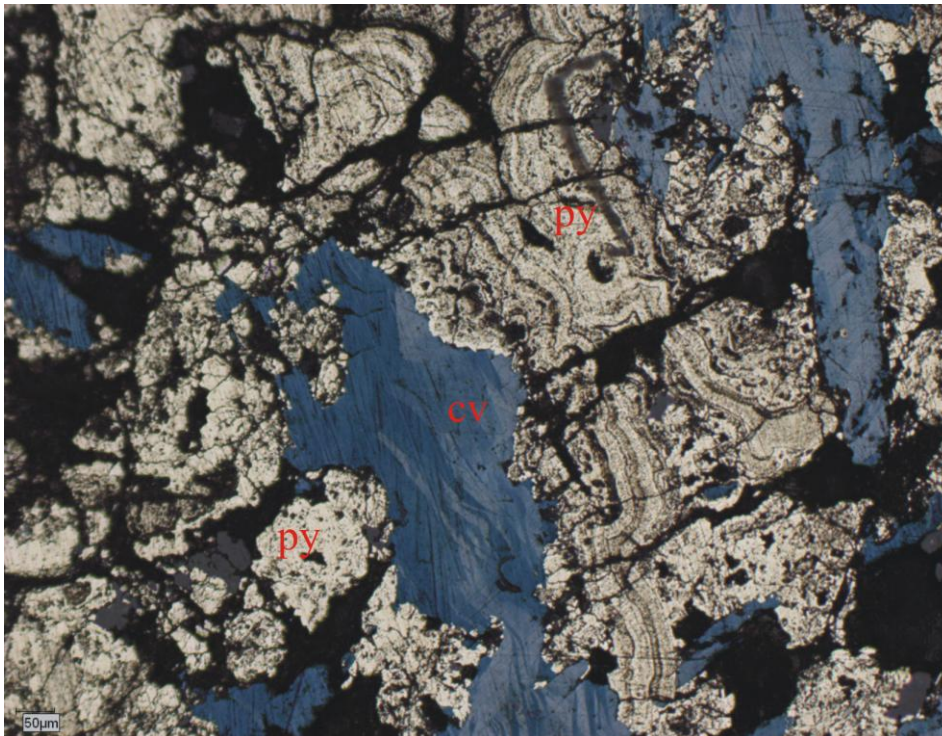
- 1) Мала зрна пирита са кварцом у алтерисаној стени (рана фаза) (слика 38а-1).
- 2) Колоформни пирит – велика зрна колоформног пирита која се налазе поред ковелинске жице и садрже мала зрна енаргита (слика 38а-3). Такође се унутар дела жице са ковелином налазе мала зрна пирита која вероватно припадају истој фази, али немају јасне колоформне текстуре.

Ковелин: Велики издужени кристали у ковелинској жици. Већина ковелина се налази у овој жици, мада се мала зрна ковелина јављају и у пукотинама у алтерисаној стени.

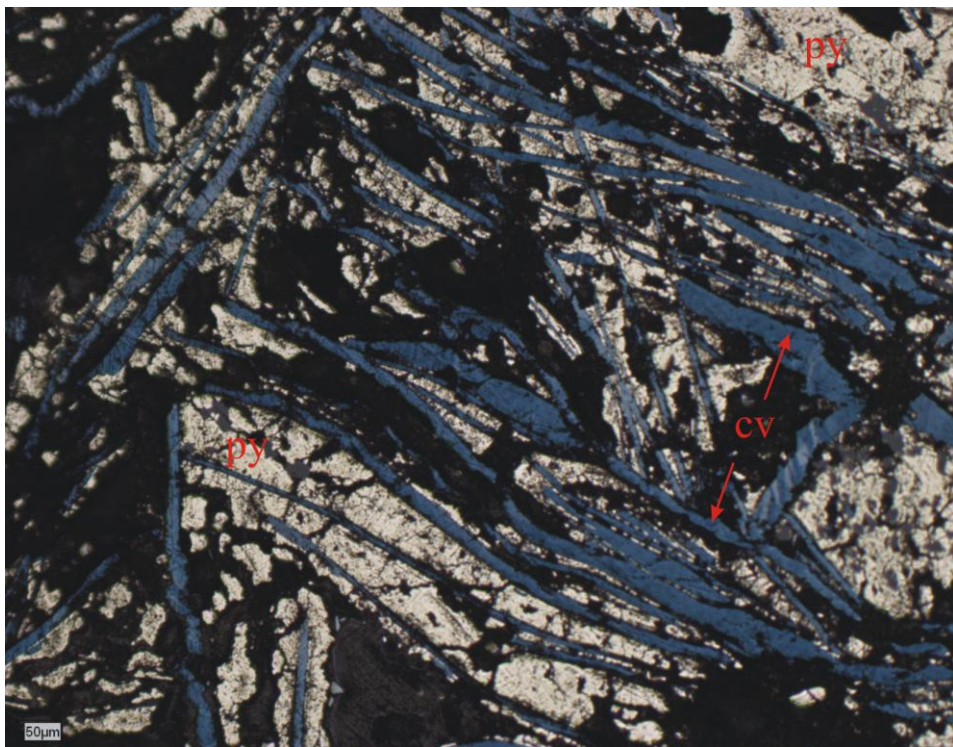
Енаргит: Мала изломљена еухедрална зрна, величине до 0,3 mm у пречнику. Већина енаргита је у ру-сов жици и обично има мале кристале пирита по ивици зрна (слика 38а-8).

Наранцасти минерал (лузонит): Наранцаста зрна неправилног облика у енаргиту и пириту. SEM анализа указује да је овај минерал вероватно енаргит или лузонит са антимоном (слика 38а-8).

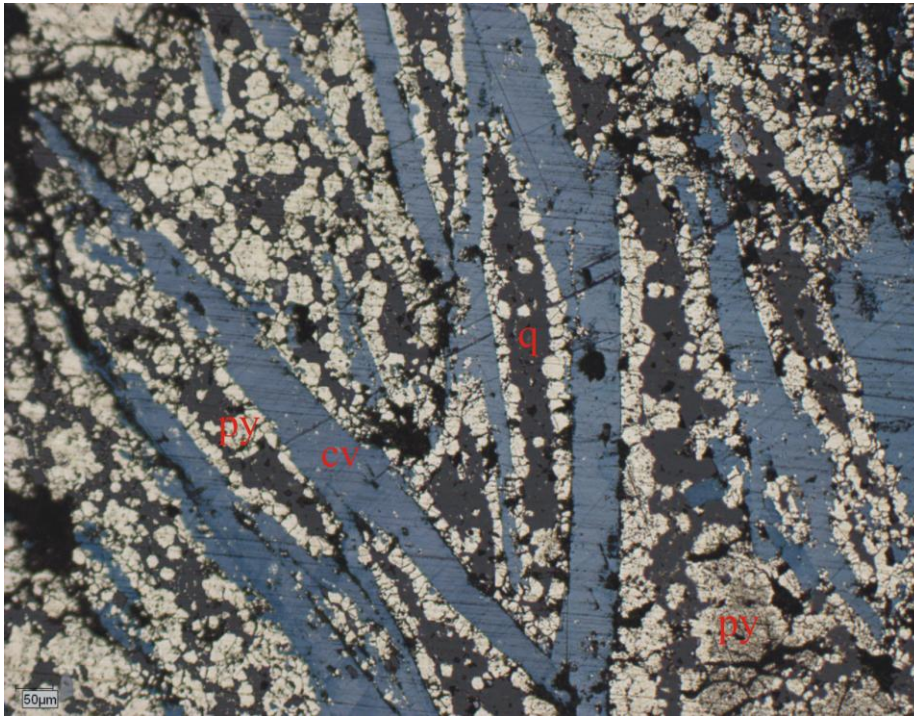
Минералне парагенезе и редослед депоновања: Вероватан редослед депоновања минерала је: Силификација стене → формирање пирита (ру1) → депоновање ковелинске жице са пиритом и енаргитом. Могуће је да је колоформни пирит везан за ковелинске жице, тако што је прво пирит кристалисао на ивици жице, док је ковелин кристалисао касније у унутрашњем делу жице (слика 38а-4, слика 38а-5).



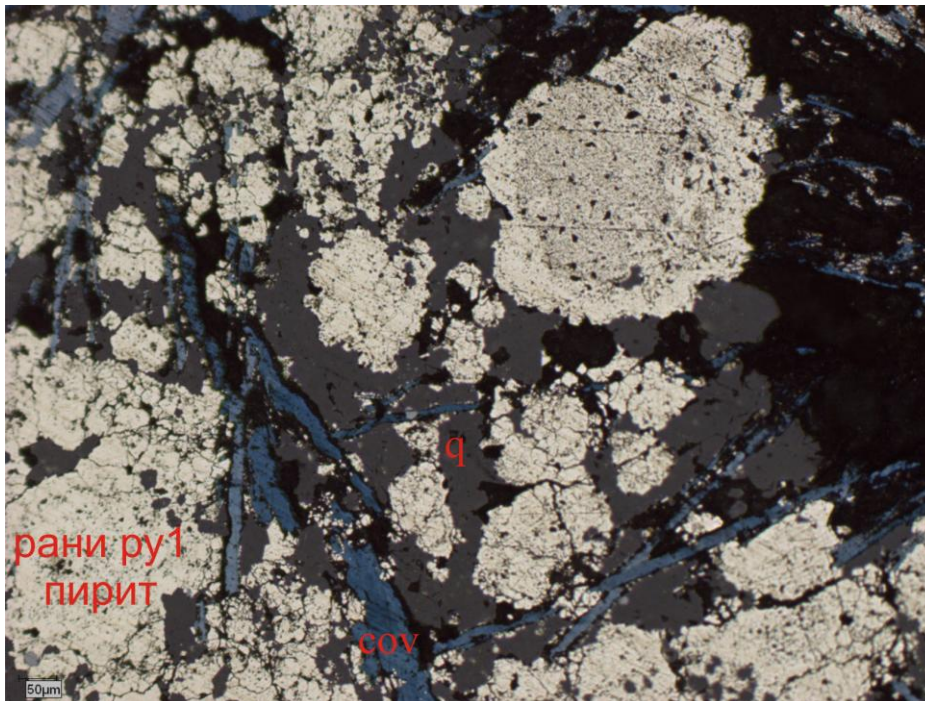
Слика 38a-3: Ковелин (cv) у средини жице са колоформним пиритом (py) око њега, одбијена светлост.



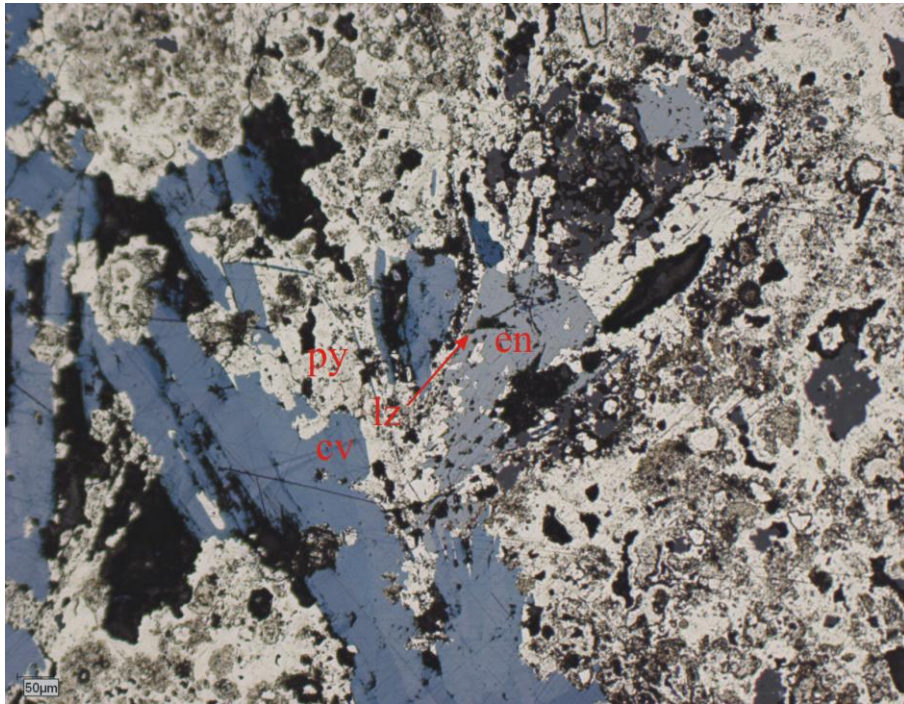
Слика 38a-4: Py-cov жице са ковелином (cv) у средини и пиритом (py) око ковелина, одбијена светлост.



Слика 38a-5: Танке жице са ковелином (cv) у средини и пиритом (py) око ковелина које пролазе кроз рани кварц (q), одбијена светлост.



Слика 38a-1: Танке ковелинске жице (cov) пролазе кроз кварц (q) који садржи зрна раног пирита (py1), одбијена светлост.



Слика 38а-8: Енаргит (en), ковелин (cv) и лузонит ? (lz) у пириту (py), одбијена светлост.

Састав наранцастог минерала (лузонит са антимоном?) одређен на SEM уређају (електронски микроскоп):

Елемент	Масени проценат (%)	Атомски проценат (%)
S	31,13	49,42
Fe	0,36	0,33
Cu	45,77	36,61
As	16,01	10,84
Sb	6,73	2,80
Укупно	100	100

Препарат број: СР038-б

Бушотина: ТС160117 Дубина: 535m

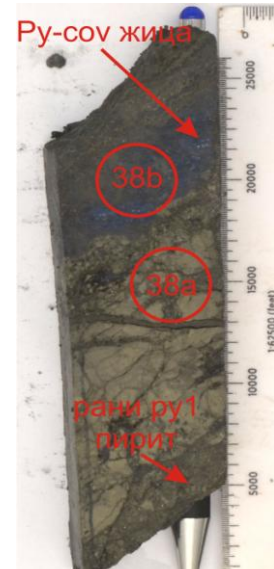
Макроскопски опис: Узорак садржи део велике ру-сов жице са ковелином и енаргитом. Узет је ради одређивања састава жице и разлике између унутрашњих и спољних делова жице (претходни узорак).

Састав узорка:

Ковелин 70%

Пирит 10%

Енаргит 5%



Нерудни минерали: Кварц није присутан у овој жици, мали сиви минерали налик глини се јављају између зрна сулфида.

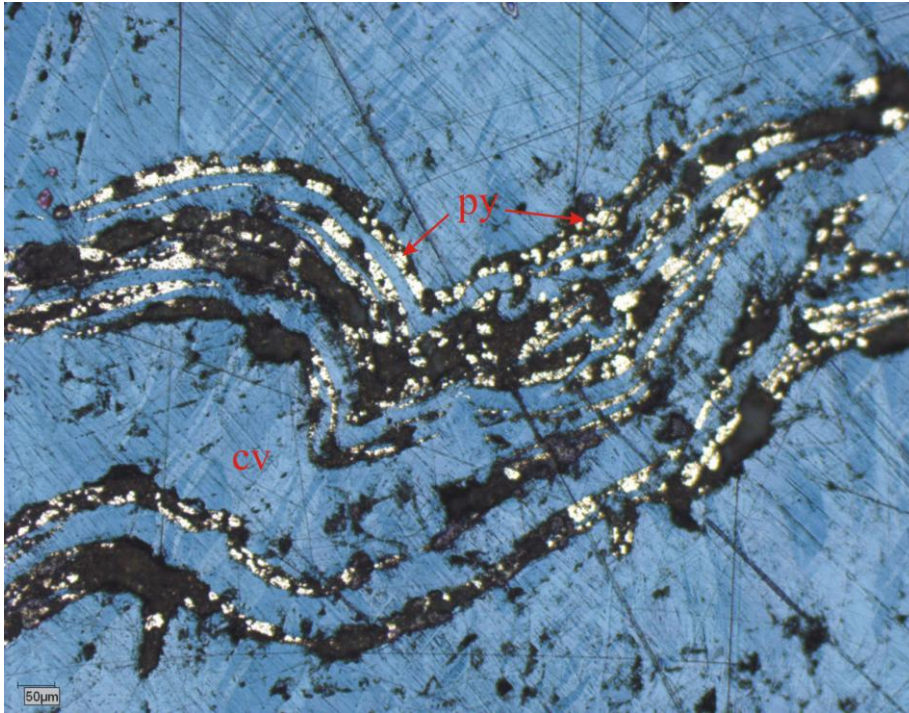
Ковелин: Скоро цео препарат је покривен ковелином, на неким местима издужени кристали су јасно уочљиви (слика 38b-1).

Пирит: Јавља се у два облика:

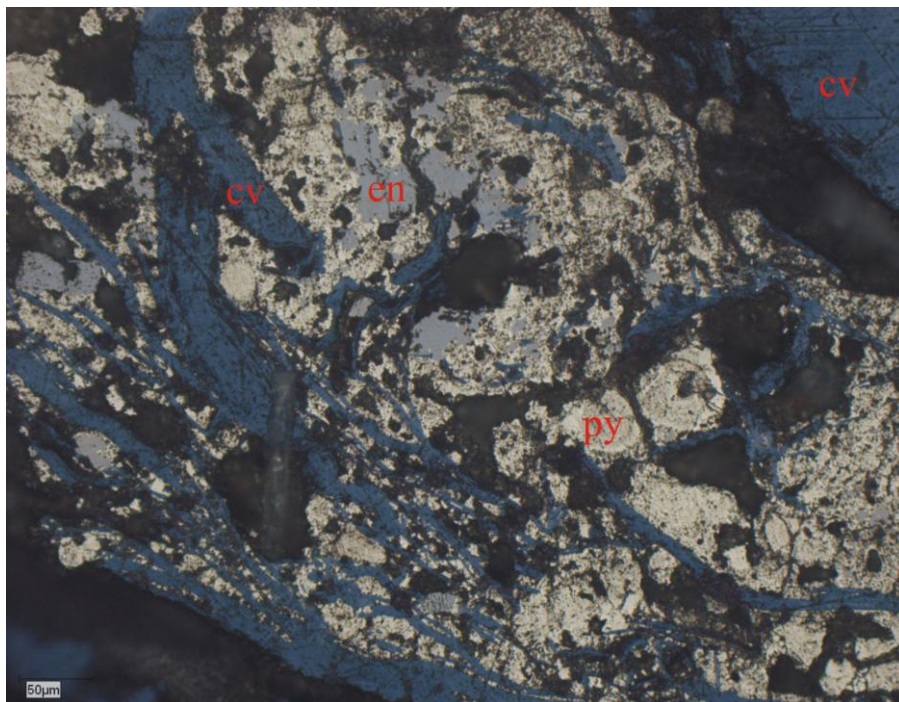
- 1) Мала зрна пирита у пукотинама око зрна ковелина, изгледа као да прате депоновање кристала ковелина.
- 2) Колоформни пирит са зрнима енаргита се налази у периферном делу препарата (слика 38b-6).

Енаргит: Јавља се у пукотинама између великих зрна ковелина и у колоформном пириту. Могуће је да је формиран у истој фази депоновања са зрнима пирита (слика 38b-6).

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Вероватно су сви минерали у овом препарату формиран у истој фази. Могуће је да је колоформни пирит са енаргитом депонован пре унутрашњег дела жице са ковелином.



Слика 38b-1: Ситна зрна пирита (py) у пукотини између великих кристала ковелина (cv), одбијена светлост.



Слика 38b-6: Колоформни пирит (py) и енаргит (en) око танких ковелинских жица (cv) у периферном делу препарата, одбијена светлост.

Препарат број: СР039

Бушотина: ТС160117 Дубина: 557,2m

Макроскопски опис: Узорак је узет из масивних сулфида и садржи бречизирану и силификовану стену са ковелином. Депонување силиције се десило пре формирања ковелинских жица, јер празнине у шупљикавој силицији садрже ситне кристале ковелина. Узорак је узет ради испитивања флуидних инклузија у силификованој зони.

Састав узорка:

Ковелин 30%

Пирит 5%

Енаргит 2%



Нерудни минерали: Кварц је главни нерудни минерал, на неким местима је криптокристална, док се на неким местима јавља у виду ситних кристала величине од 50 микрона.

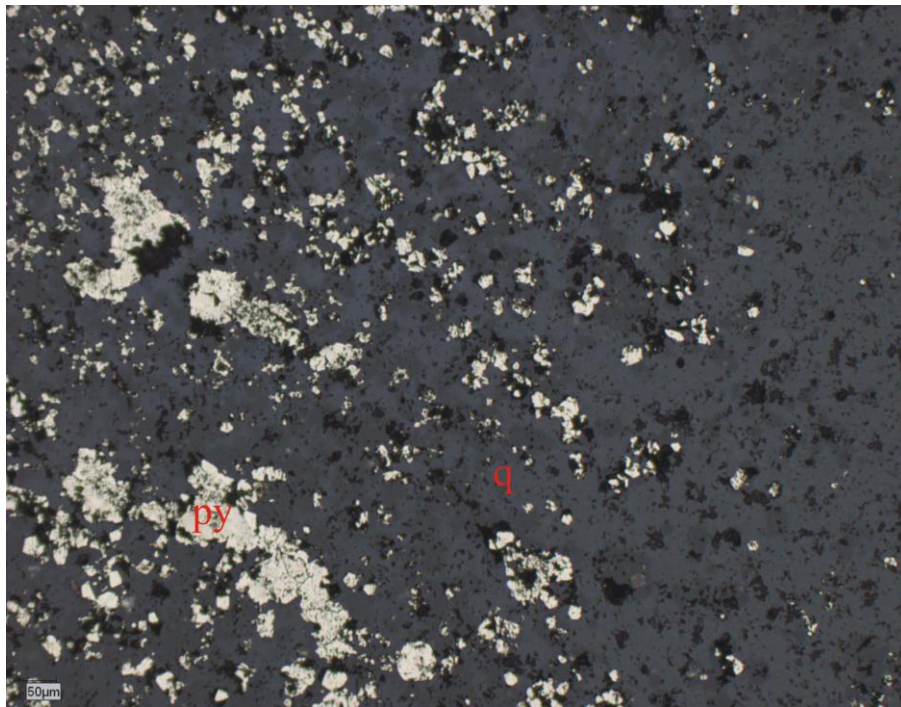
Ковелин: Велики издужени кристали у пукотинама кварца (слика 39-3).

Пирит: Јавља се у виду малих зрна, обично везаних са ковелинским зрнима или у виду импрегнација у кварцу. За разлику од претходних, у овом препарату пирит нема колоформне текстуре.

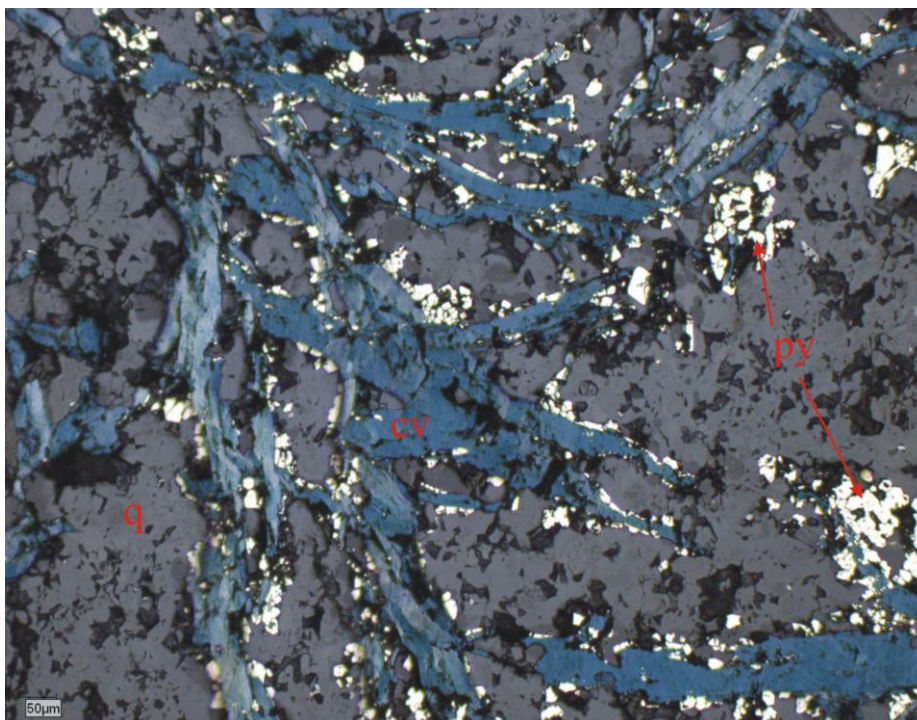
Енаргит: Јавља се у виду изломљених еухедралних кристала. Обично се ова зрна јављају заједно са великим зрнима ковелина. Величина зрна је до 150 микрона.

Минералне парагенезе и редослед депонувања: Ру-сов жица са ковелином, пиритом и енаргитом је формирана након силификације стене и вероватно је депонување ове жице довело до хидрауличног фрактурисања и бречизирања кристала кварца (слика 39-3).

Проучавање флуидних инклузија: Кристали кварца су веома ситни (криптокристална), тако да не садрже адекватне флуидне инклузије.



Слика 39-4: Мали кристали пирита (py) у кварцу (q), вероватно импрегнације ру1 пирита, одбијена светлост.



Слика 39-3: Ковелин (cv) и пирит (py) у пукотинама у кварцу (q), изгледа као да су ковелинске жице довеле до формирања пукотина, одбијена светлост.

Препарат број: СР041

Бушотина: ТС160117 Дубина: 608,2m

Макроскопски опис: Узорак садржи жицу са колоформним пиритом у ободној зони масивних сулфиде. Око жице, стена (андезит) је измењена аргилитском алтерацијом. Узет је ради анализирања колоформног пирита.

Састав узорка:

Маркасит 60%

Сфалерит 1%

Ретки:

Пирит

Ковелин



Нерудни минерали: Маркасит покрива највећи део препарата. Барит је најчешћи минерал у пукотинама око зрна колоформног маркасита (утврђено анализом на SEM уређају). У алтерисаном делу стене се јавља кварц и алтерационе глине.

Маркасит: Јавља се у виду великих спојених колоформних кристала, изломљених каснијим пукотинама (слика 41-5).

Сфалерит: Мала округла зрна у маркаситу. У већини случајева овај минерал има колоформну текстуру (слика 41-4).

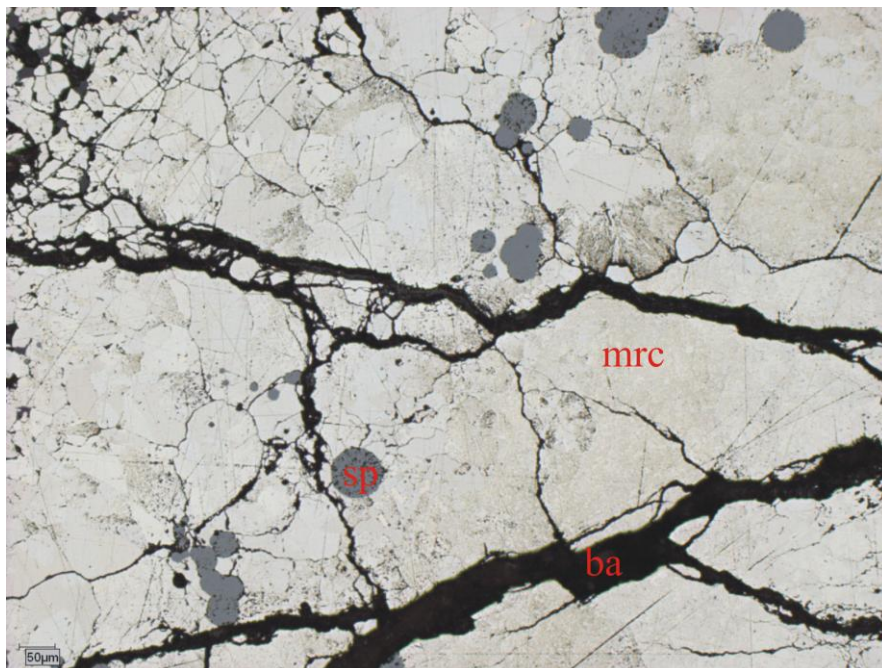
Ковелин: Веома мала зрна ковелина у пукотинама између зрна кварца.

Пирит: Јавља се у виду малих зрна у алтерисаним петрогеним минералима.

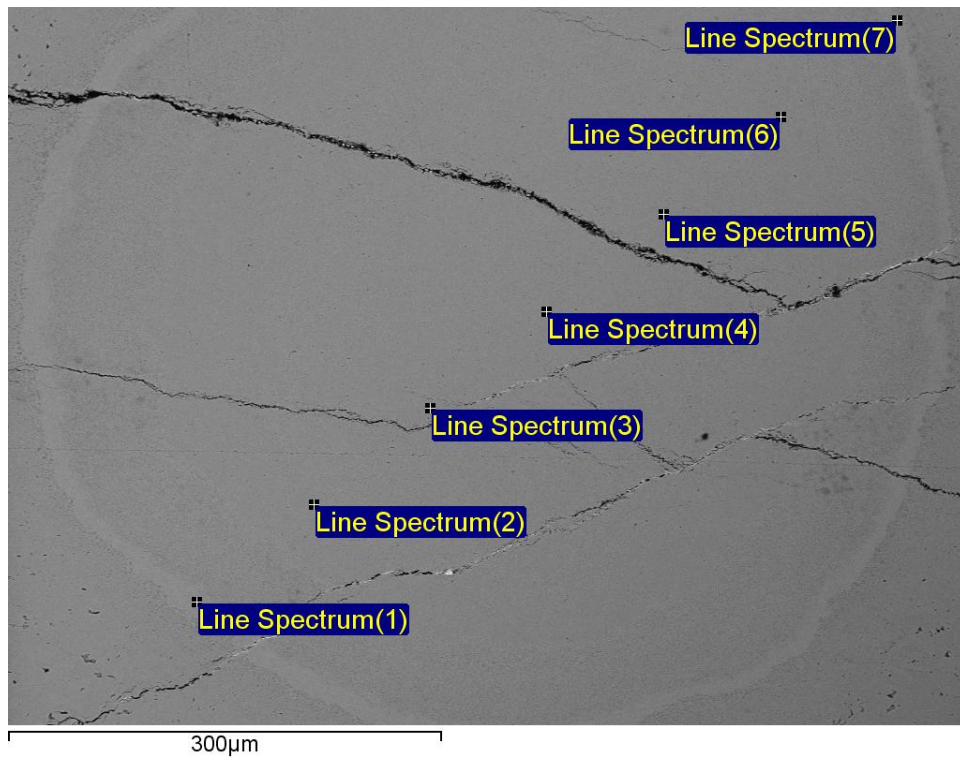
Минералне парагенезе и редослед депоновања: Вероватно је у овом препарату прво депонован пирит који замењује алтерисане петрогене минерале. Затим је депонован ковелин у пукотина кварца и на крају маркаситска жица са сфалеритом.



Слика 41-5: Зонарни раст колоформног маркасита, одбијена светлост.



Слика 41-4: Сива округла колоформна зрна сфалерита (sp) у маркаситу (mrc), барит (ba) је депонован у пукотинама, одбијена светлост.



Слика 41-2sem: Зона раста са различитом саставом у колоформном маркаситу, мерења на спектру 1 и 7 су указала да зона раста (светли круг) садржи више мангана, сликано на SEM уређају.

Резултати линијске анализе на SEM уређају у масеним процентима на спектру 1-7:

	Si (%)	S (%)	Mn (%)	Fe (%)	Укупно (%)
Line spectrum(1)	0,00	53,71	0,41	45,88	100
Line spectrum(2)	0,08	52,86	0,00	47,05	100
Line spectrum (3)	0,12	53,17	0,00	46,71	100
Line spectrum (4)	0,08	53,31	0,00	46,61	100
Line spectrum (5)	0,15	53,17	0,00	46,69	100
Line spectrum (6)	0,09	53,27	0,00	46,64	100
Line spectrum (7)	0,00	53,67	0,43	45,90	100

Препарат број: СР044

Бушотина: ТС160117 Дубина: 697m

Макроскопски опис: Овај узорак садржи кварцно-калцитску жицу са пиритом. Узет је ради проучавања састава жице и флуидних инклузија.

Састав узорка:

Пирит 5 %

Ретки:

Халкопирит



Нерудни минерали: Ова жица садржи кварц у виду малих зрна и касни калцит у виду већих еухедралних кристала (слика 44-2).

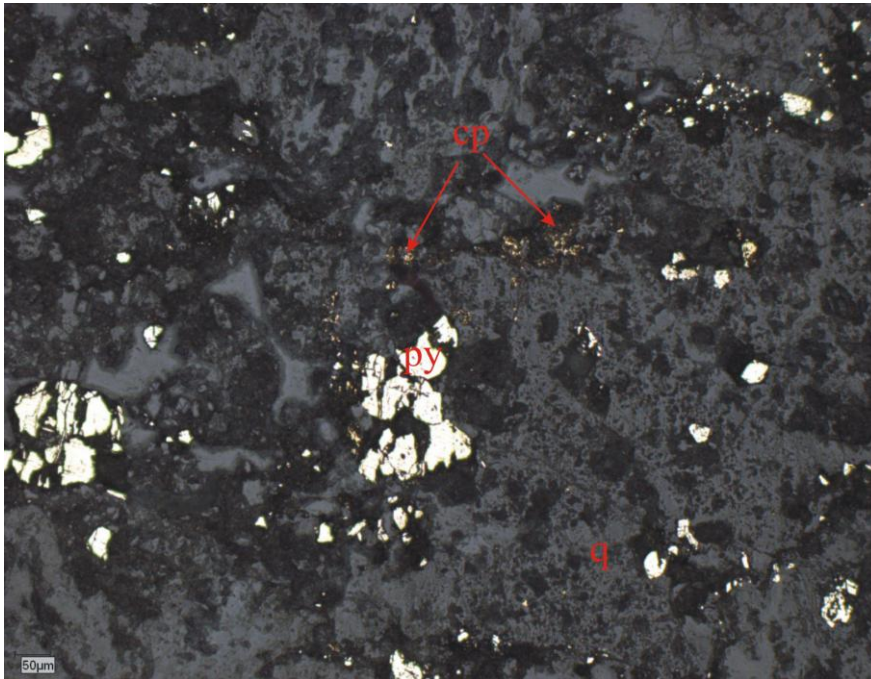
Пирит: Јавља се у виду малих зрна у свим деловима препарата, мада највише пирита има дуж кварцно-калцитне жице (слика 44-2).

Халкопирит: Јавља се у виду малих зрна неправилног облика, величине до 50 микрона (слика 44-1).

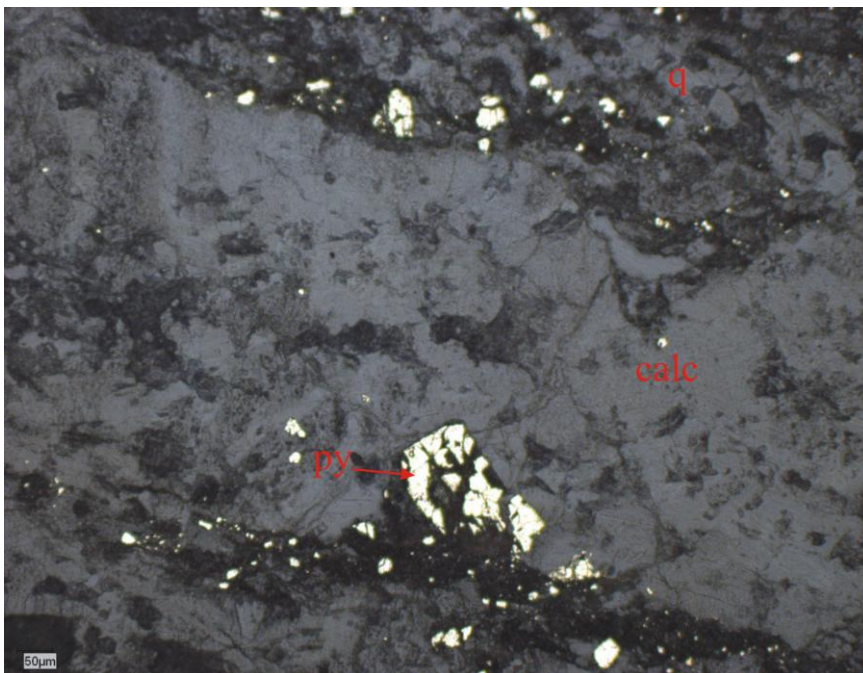
Минералне парагенезе и редослед депоновања: Вероватно је кварц са зрнима пирита формиран пре еухедралног калцита.

Проучавање флуидних инклузија:

Кварц је криптокристаласт, тако да не садржи адекватне инклузије. Калцит садржи мале исцуреле инклузије дуж равни цепљивости, које нису погодне за мерења.



Слика 44-1: Пирит (py) и ситна зрна халкопирита (cp) у кварцу (q), одбијена светлост.



Слика 44-2: Пирит (py) у контактної зони између кварцних зрна (q) и калцитне жице (calc), одбијена светлост.

Препарат број: СР045

Бушотина: ТС160117 Дубина: 698m

Макроскопски опис: Узорак садржи широку кварцно-калцитску жицу са пиритом. Узет је ради проучавања састава жице и флуидних инклузија.

Састав узорка:

Пирит 10%

Ретки:

Халкопирит



Нерудни минерали: Жица садржи кварц у виду малих зрна и млађи калцит у виду великих еухедралних кристала (слика 45-1).

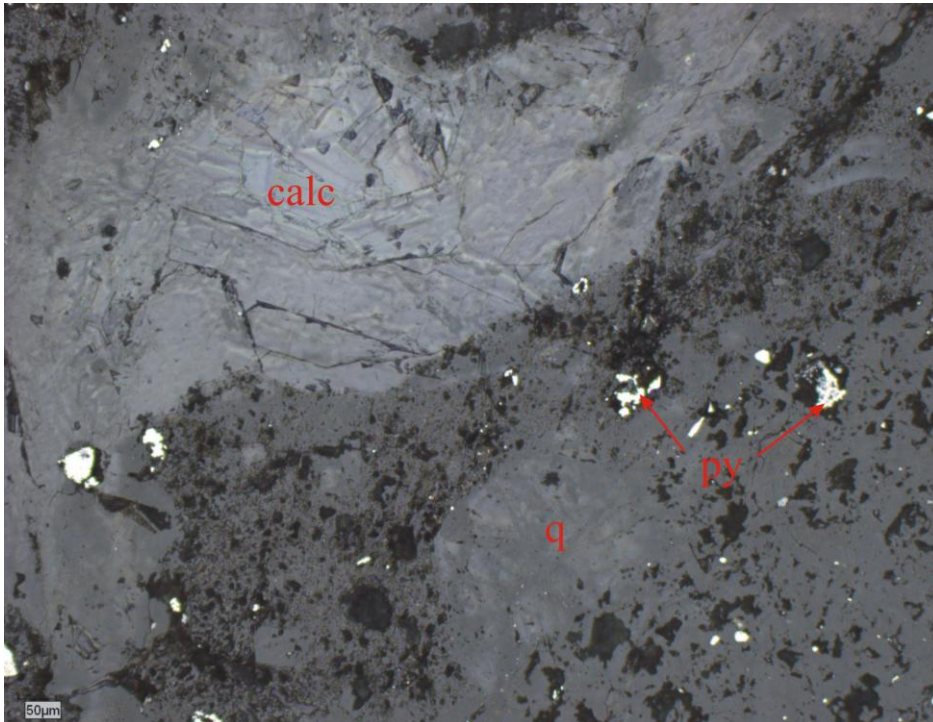
Пирит: Јавља се у виду малих кристала, око 50 микрона, већином у кварцном делу жице.

Халкопирит: Јавља се у виду веома малих зрна, око 10 микрона.

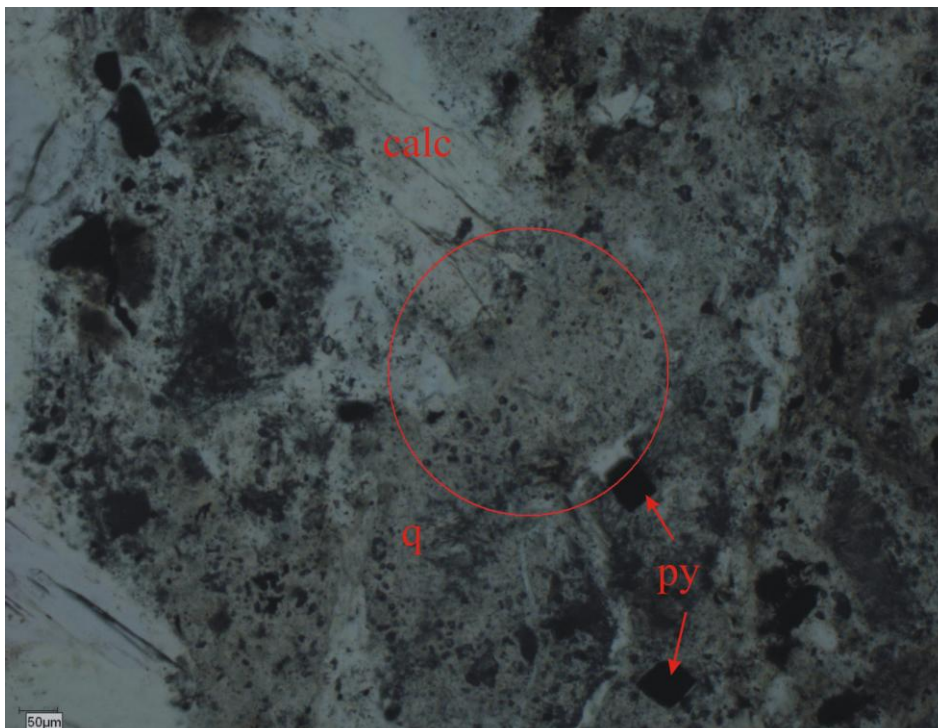
Минералне парагенезе и редослед депоновања: Кварц са пиритом и халкопиритом је формиран пре еухедралног калцита (слика 45-1).

Проучавање флуидних инклузија:

Кварц садржи мале гасовите инклузије, око 5-6 микрона, што врло могуће указује на вишу температуру при формирању кварца, међутим због мале величине је тешко вршити мерења на овим инклузијама (слика. 45-2). Калцит садржи мале исцуреле инклузије дуж равни цепљивости, које нису довољно велике за мерења.



Слика 45-1: Пирит (py) у кварцу (q), зрна еухедралног калцита (calc) не садрже минерализацију, одбијена светлост.

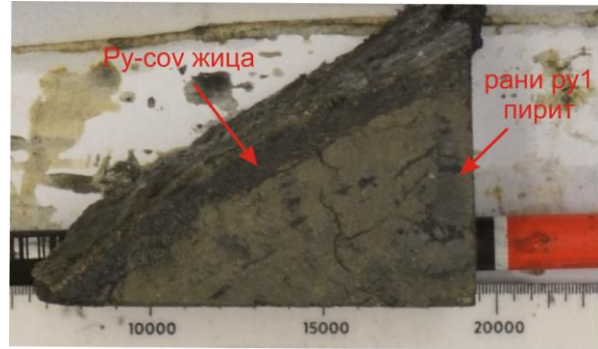


Слика 45-2: Део зрна кварца (q) са пиритом (py) и са ситним гасовитим флуидним инклузијама (око 10 микрона) је означен црвеним кругом, зрна калцита (calc) су у пукотинама око кварца, пропуштена светлост.

Препарат број: СР048

Бушотина: ТС150062 Дубина: 508,4m

Макроскопски опис: Узорак садржи ру-сов жицу са гипсом која пресеца пресеца ру1 пирит са кластима андезита алтерисаног напредном аргилитском алтерацијом. Узет је ради утврђивања разлика између ру1 пирита и ру-сов жице.



Састав узорка:

Пирит 30%

Ковелин 10 %

Енаргит 2%

Нерудни минерали: Најчешћи нерудни минерали су зрна кварца. Препарат такође садржи пуно гипса који се јавља по ивици ру-сов жице.

Пирит: Јавља се у две форме:

- 1) Импрегнације по целом препарату у виду веома малих зрна око 10-50 микрона (ру1 фаза). Ова зрна запуњавају пукотине између зрна раног кварца (ср048-3).
- 2) Већа зрна пирита близу жице са ковелином (ру-сов фаза).

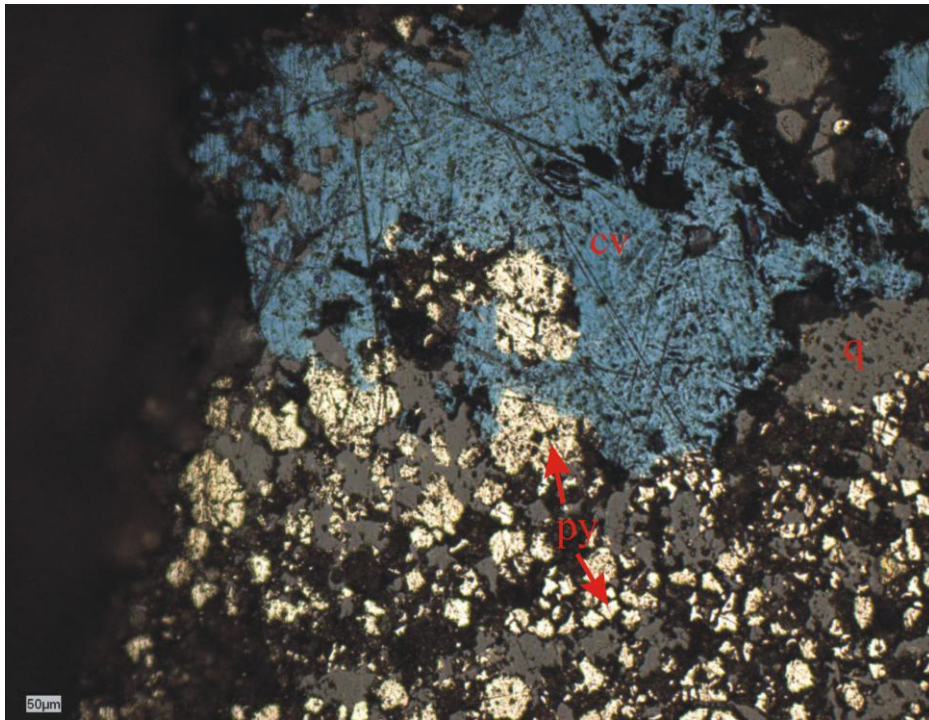
Ковелин: Издужена зрна у виду линија које се пружају по средини ру-сов жице. Такође се јавља у виду одвојених великих зрна која запуњавају пукотине између зрна раног кварца (ср048-3).

Енаргит: Мање заступљен него ковелин или пирит. Јавља се у виду малих зрна неправилног облика, увек заједно са зрнима пирита близу ковелинске жице (ср048-4).

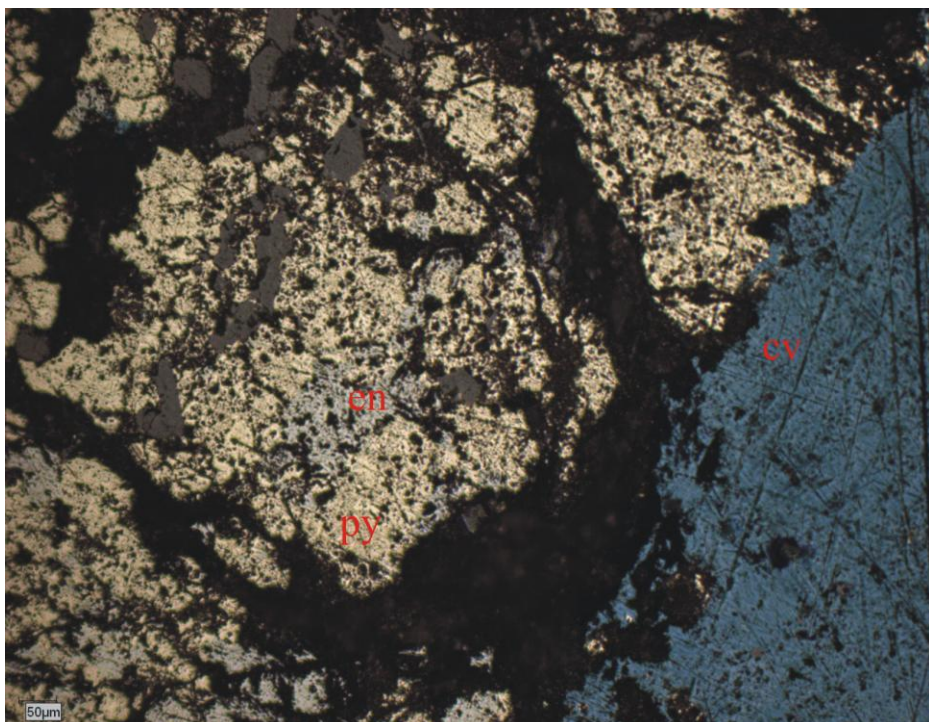
Минералне парагенезе и редослед депоновања: Могуће је издвојити четири фазе:

- 1) Напредна аргилитска алтерација стене (која је вероватно депоновала кварц)
- 2) Ру1 фаза са ситнозрним пиритом (ср048-3).
- 3) Главна ру-сов фаза минерализације са ковелином, пиритом и енаргитом. Код ових жица се ковелин обично јавља у средини, а енаргит на ободним деловима (ср048-4).
- 4) Млађи гипс депонован каснијим хладним флуидима

Анализа флуидних инклузија: Гипс садржи веома мале инклузије које нису подесне за анализу.



Слика ср048-3: Ковелин (cov) запуњава пукотине између раног кварца (q) и пирита (py), одбијена светлост.



Слика ср048-4: Ковелинска (cov) жица у пукотини између пирита (py) са енарцитом (en), одбијена светлост.

Препарат број: СР049

Бушотина: ТС150062 Дубина: 518,5m

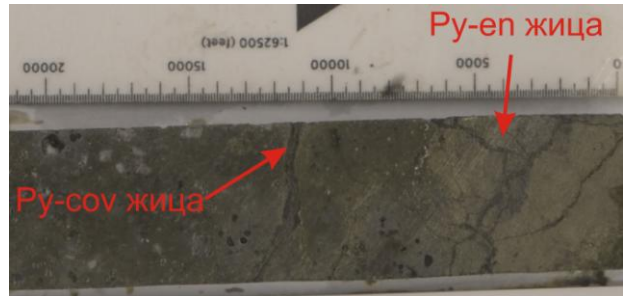
Макроскопски опис: Узорак садржи широку ру-еп жицу коју пресеца танка ру -сов жица. Узет је ради упоређивања ове две врсте жица.

Састав узорка:

Пирит 70%

Енаргит 10%

Ковелин 6 %



Нерудни минерали: Већи део стене је покривен ситнозрним пиритом. Понегде се примећују зрна кварца, али већина нерудних минерала су ситнозрни алтерисани петрогени минерали.

Пирит: Пирит покрива највећи део препарата. Могу се издвојити две форме:

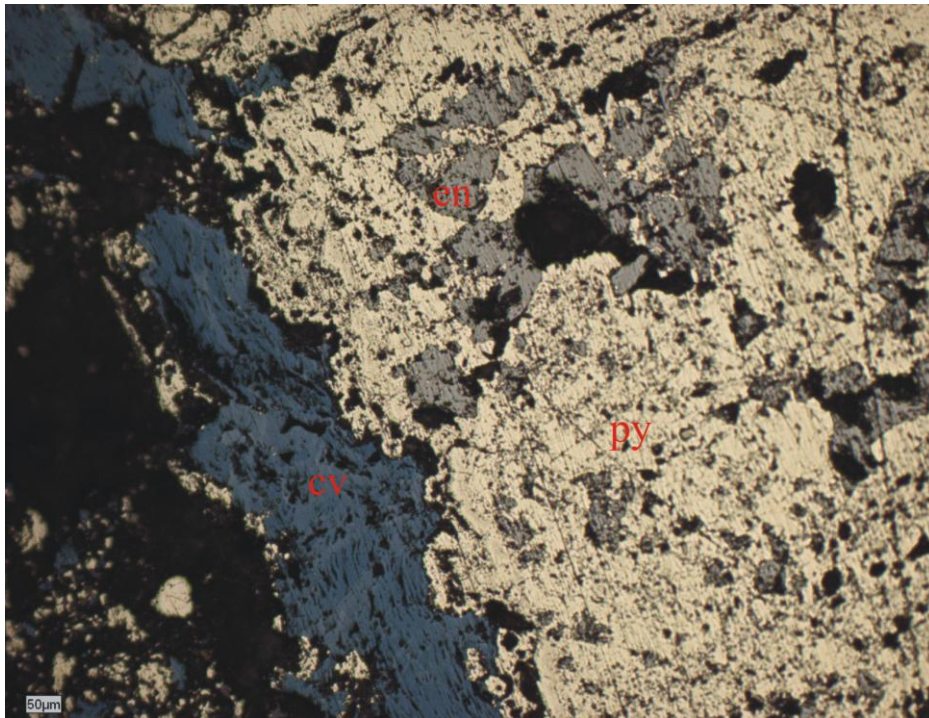
- 1) Ситнозрни пирит који се јавља заједно са зрнима кварца (ру1 фаза) (ср049-3).
- 2) Већина великих зрна пирита су помешана са енаргитом у ру-еп жици. На неким местима, овај пирит има колоформну текстуру (ср049-4).

Енаргит: Увек се јавља заједно са зрнима пирита (ср049-1, ср049-2). Обично је у виду неправилних зрна, мада су понека зрна еухедрална.

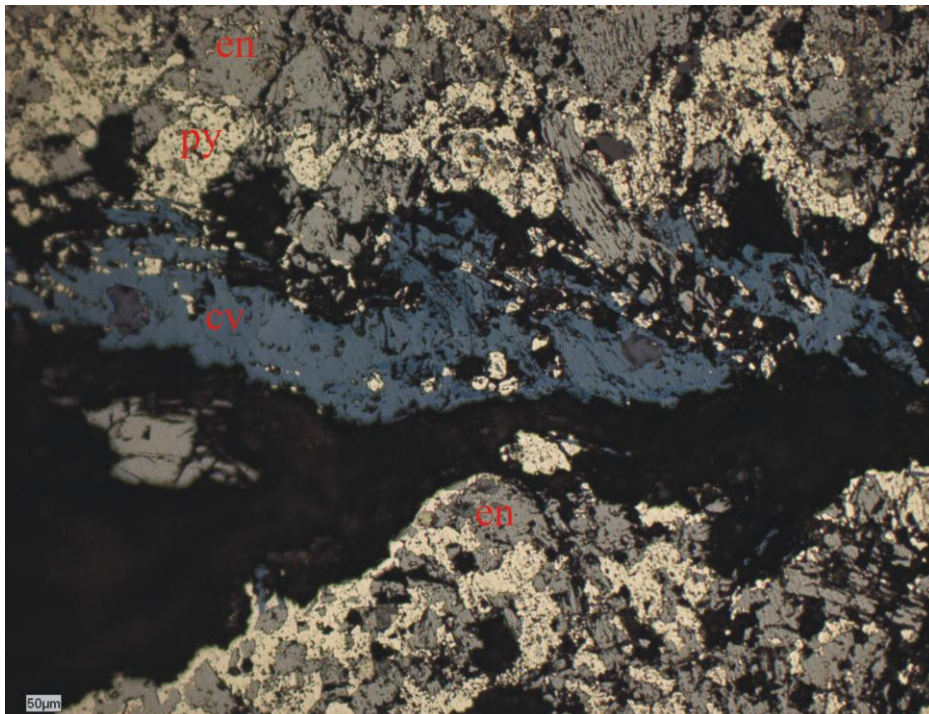
Ковелин: Велики издужени кристали у пукотинама између великих зрна пирита (ср049-1, ср049-2). Назубљена текстура се често јавља. Понекад се јављају и мала зрна ковелина у већим зрнима пирита.

Минералне парагенезе и редослед депоновања: У овом узорку се могу издвојити 4 фазе депоновања:

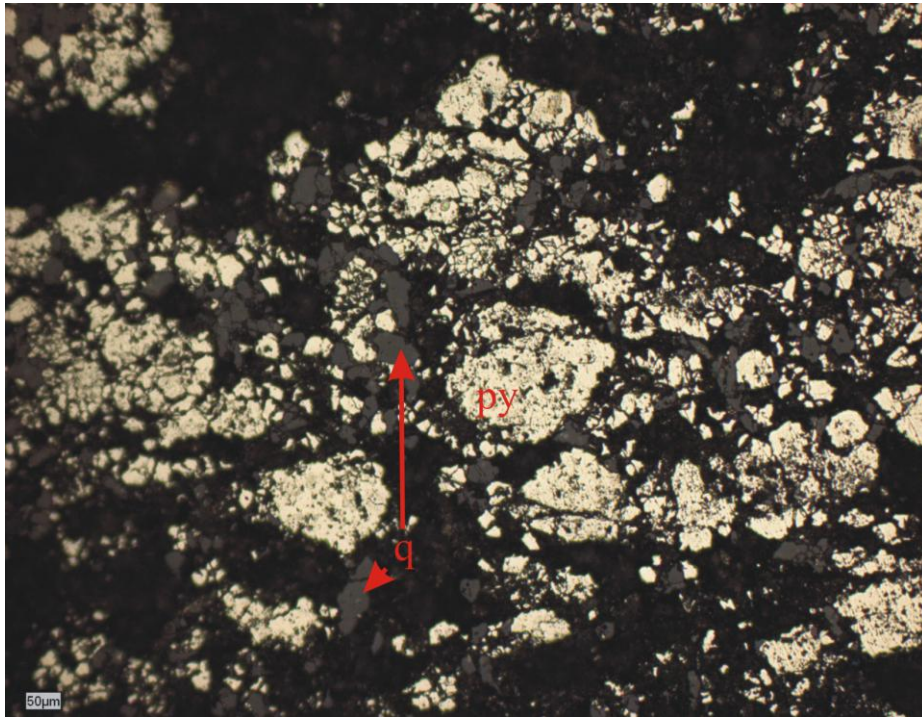
- 1) Напредна аргилитска алтерација стене (која је вероватно депоновала кварц).
- 2) Ру1 фаза са ситнозрним пиритом (ср049-3).
- 3) Главна ру-еп фаза минерализације са пуно енаргита.
- 4) Вероватно засебна фаза у којој се јавља само ковелин у пукотинама између пирита и енаргита (ср049-2).



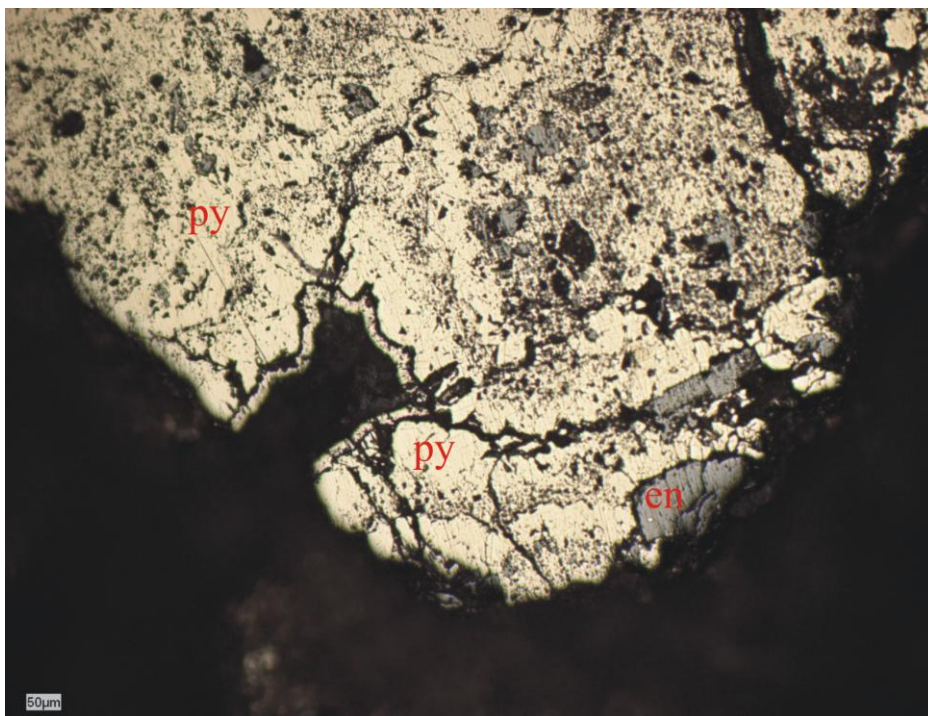
Слика ср049-1: Ковелинска (cov) жица која запуњава пукотине око великих зрна пирита (py) са енаргитом (en), одбијена светлост.



Слика ср049-2: Ковелинска (cov) жица у пукотини између зрна енаргита (en) и пирита (py), одбијена светлост.



Слика ср049-3: Py1 фаза са кварцом (q) и ситнозрним пиритом (py), одбијена светлост.



Слика ср049-4: Део py-en жице са енергитом (en) и колоформним пиритом (py), одбијена светлост.

Препарат број: СР050

Бушотина: ТС150062 Дубина: 547,5m

Макроскопски опис: Узорак садржи широку ру-сов жицу са гипсом. Узет је ради проучавања састава жице и флуидних инклузија у гипсу.

Састав узорка:

Ковелин 20%

Пирит 15%

Енаргит 3%



Нерудни минерали: Најчешћи нерудни минерал је ситнозрни кварц, који је вероватно депонован силификацијом стене. Такође се примећује гипс по ободу ру-сов жице.

Ковелин: Издужена зрна у виду линија које се пружају по средишњем делу ру-сов жице. Зрна ковелина су обично са назубљеном текстуром или у облику издужених зрна у облику линија који се савијају (ср050-1, ср050-2).

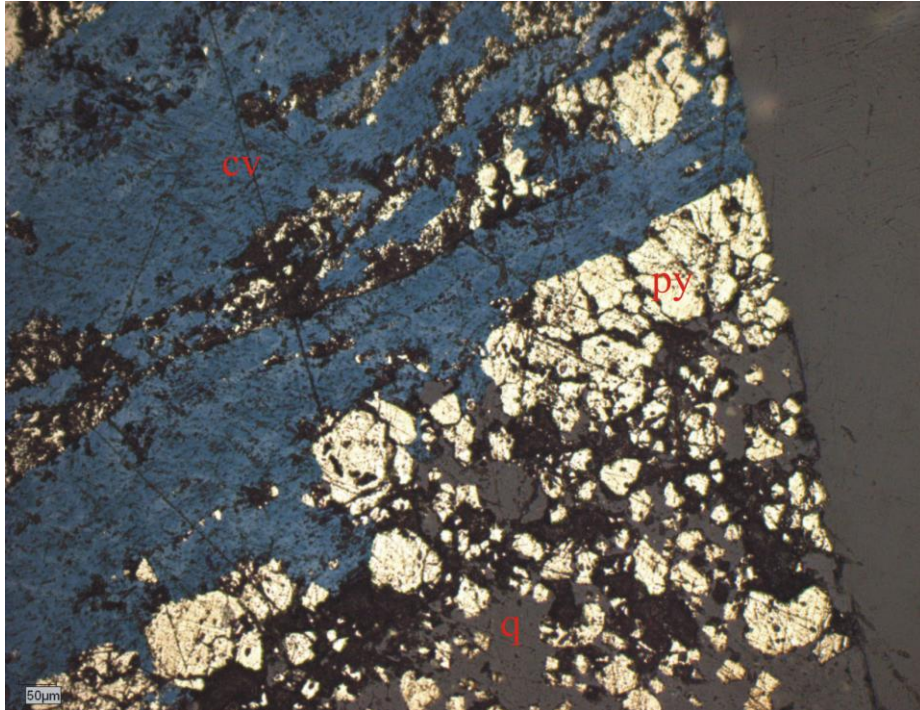
Пирит: Углавном се јавља у виду малих зрна по целом препарату, запуњавајући простор око зрна раног кварца (ру1 фаза). Већа зрна пирита се јављају у ру-сов жицама, заједно са енаргитом (ру-сов фаза) (ср050-1).

Енаргит: Чест минерал у ру-сов жицама (ср050-2). Такође се јавља у виду малих зрна неправилног облика поред малих зрна пирита око зрна раног кварца.

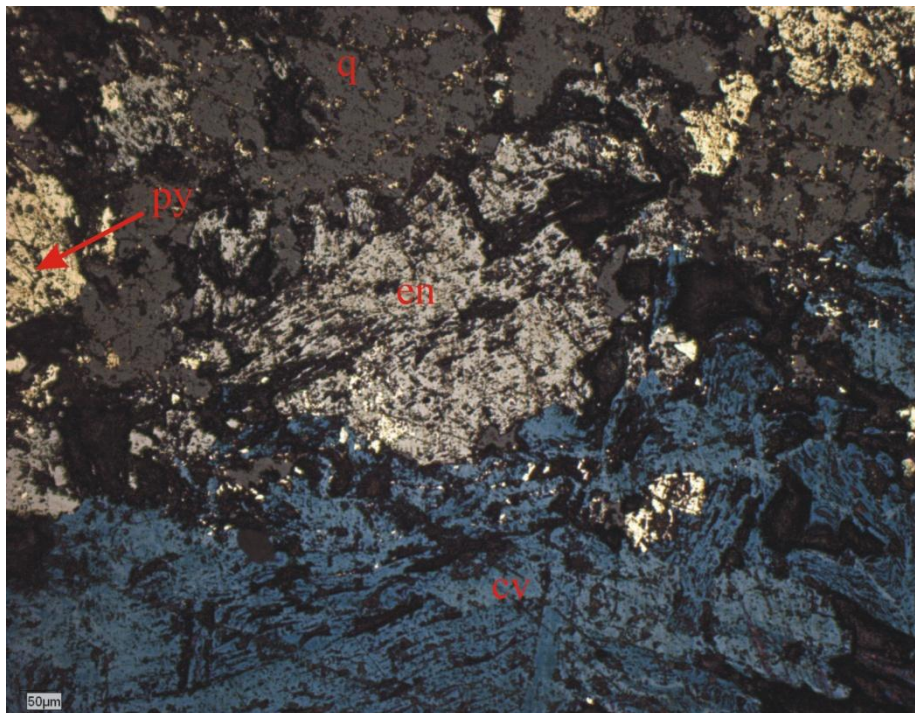
Минералне парагенезе и редослед депоновања: Могу се издвојити четири фазе:

- 1) Напредна аргилитска алтерација стене (која је вероватно депоновала кварц).
- 2) Ру1 фаза са ситнозрним пиритом (можда и енаргитом?).
- 3) Главна ру-сов фаза минерализације са пунопирита, ковелина и енаргита (ср050-2).
- 4) Млађи гипс коју запуњава преостале пукотине.

Анализа флуидних инклузија: Кристали кварца у овом препарату су веома мали, тако да је тешко уочити инклузије. Гипс садржи веома мале инклузије које нису адекватне за анализу.



Слика ср050-1: Ковелинска (cov) жица запуњава пукотине око зрна раног кварца (q) са пиритом (py), одбијена светлост.



Слика ср050-2: Ковелинска (cov) жица са енарцитом (en) запуњава пукотине у раном кварцу (q) са пиритом (py), одбијена светлост.

Препарат број: СР051

Бушотина: ТС150062 Дубина: 570,3м

Макроскопски опис: Узорак се састоји од ру-ен жице која пресеца жилице кварца са енаргитом. Узет је ради одређивања разлике између кварцних жилица и ру-ен жица.

Састав узорка:

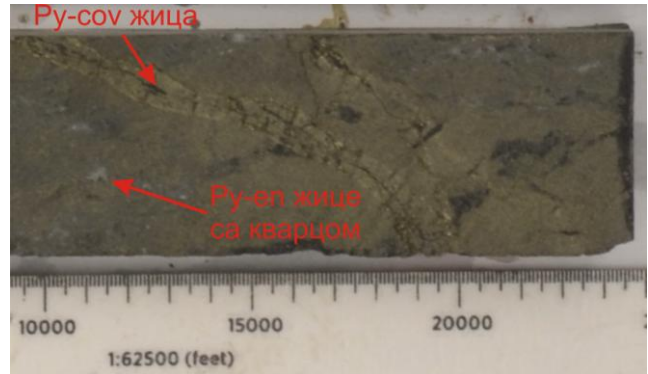
Пирит 15%

Енаргит 3%

Ковелин 1%

Ретки:

Рутил



Нерудни минерали: Кварц је најчешћи нерудни минерал и покрива скоро цео препарат.

Пирит: Јавља се у две форме:

- 1) Импрегнације по целом препарату у виду малих зрна, величине око 50-100 микрона. Углавном запуњава простор око зрна раног кварца (ср0051-5).
- 2) Велика зрна у жицама са енаргитом и ковелином (ср0051-3, ср0051-4).

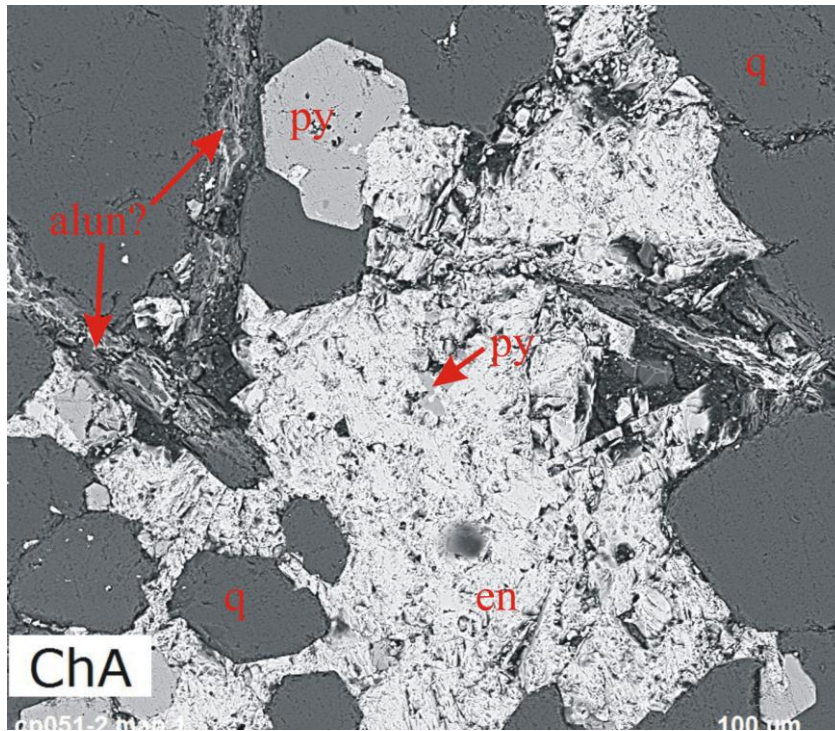
Енаргит: Обично се јавља у виду малих зрна неправилног облика заједно са пиритом, између зрна раног кварца. Већа зрна се јављају у ру-ен жицама које запуњавају велике пукотине у кварцу (ср0051-2, ср0051-5).

Ковелин: Присутан једино у малој жици на ивици препарата, заједно са пиритом (ср0051-3). Јавља се у виду издужених зрна и запуњава пукотине у зрнима раног пирита.

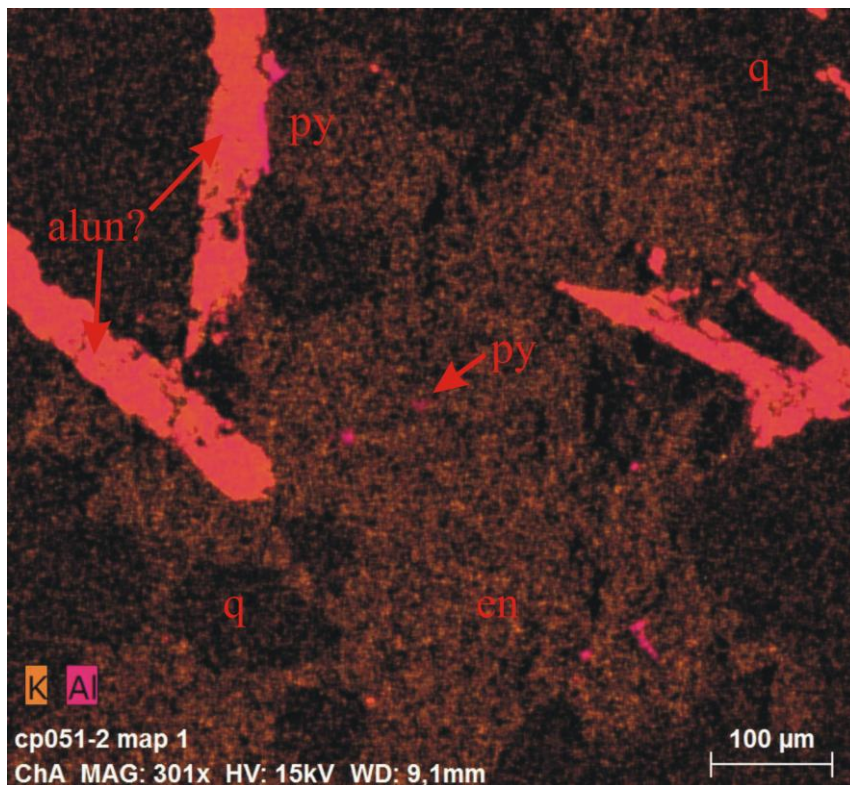
Рутил: Мала компактна зрна у близини ру1 пиритских зрна.

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Могу се издвојити 4 фазе депоновања:

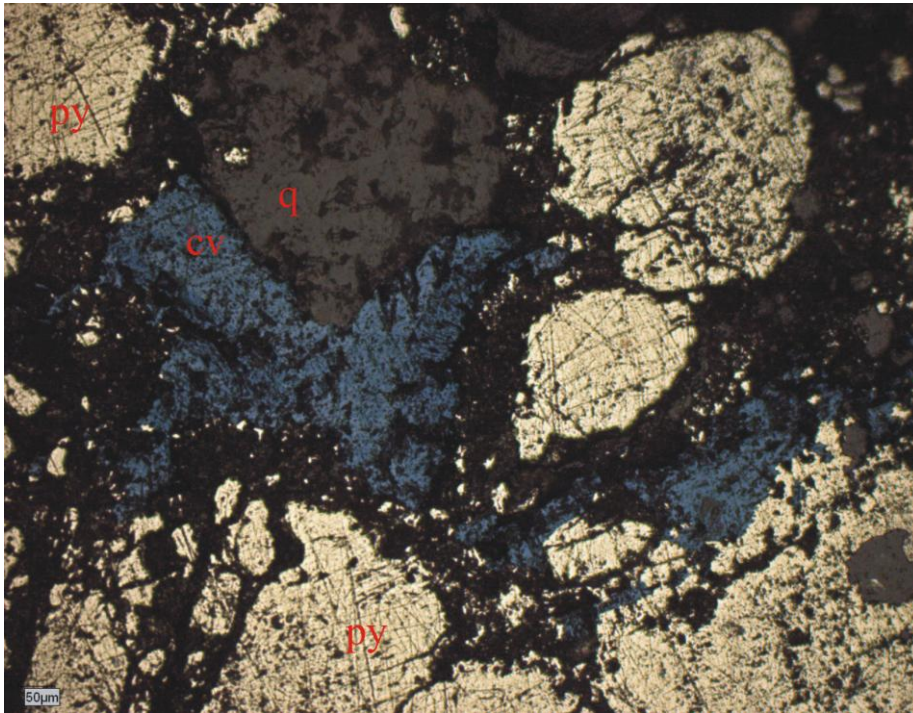
- 1) Напредна аргилитска алтерација стене (која је вероватно депоновала кварц).
- 2) Ру1 фаза са ситнозрним пиритом у кварцу (можда је пирит део ру-ен фазе?).
- 3) Ру-ен фаза са пуно енаргита, запуњава пукотине и кварцу (ср0051-2, ср0051-5).
- 4) Ковелинска жица запуњава пукотине између ру1 раног пирита (ср0051-3).



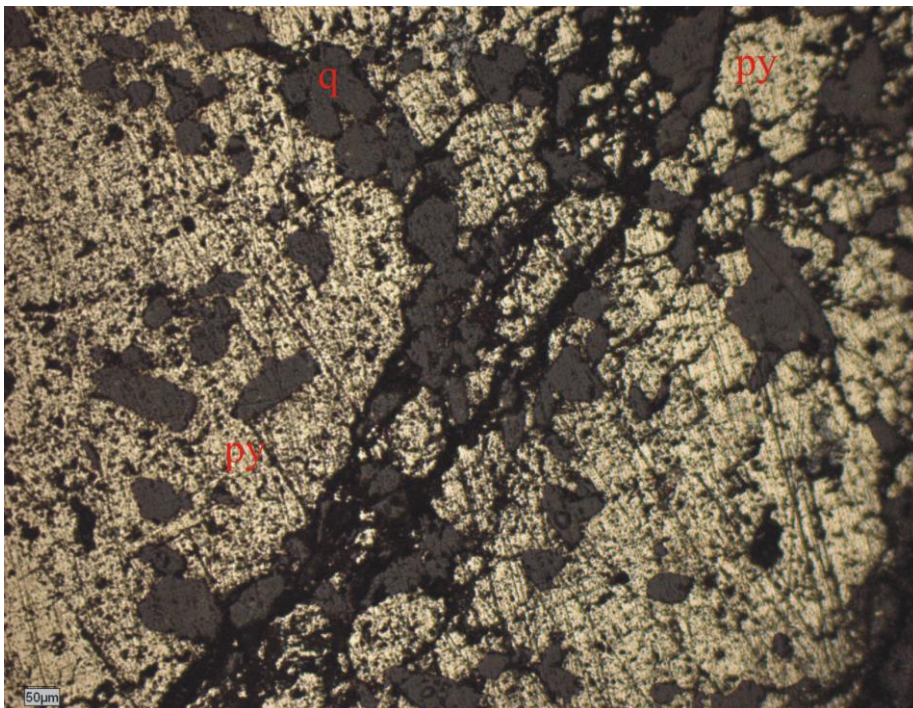
Слика ср051-2: Py-en жица са енаргитом (en), пиритом (py) и алунином (alun) запуњава пукотине између зрна раног кварца (q), BSE слика направљена на SEM уређају.



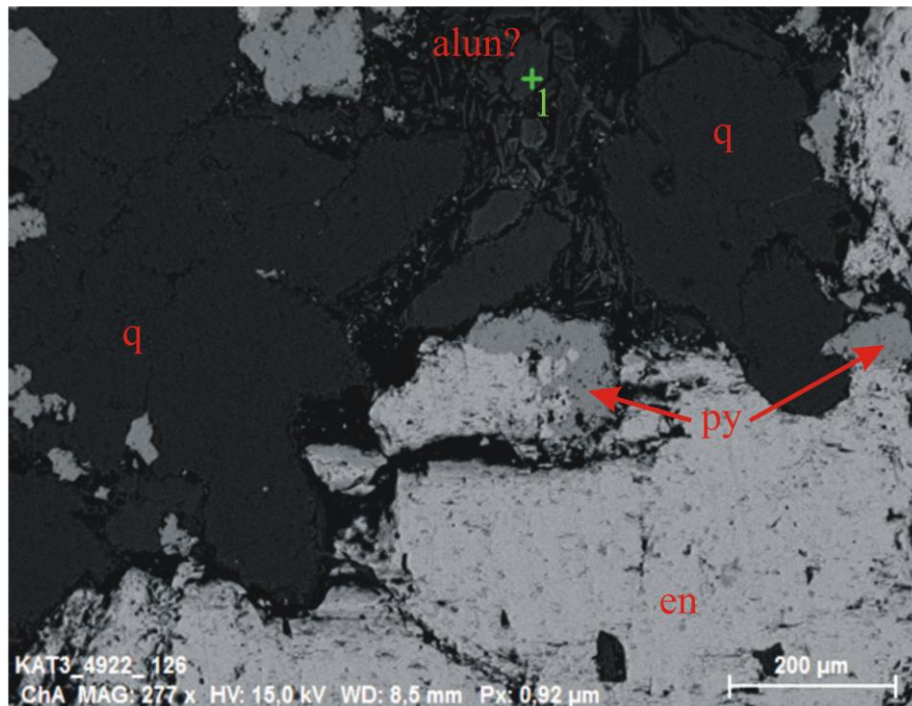
Слика ср051-2: Детаљ са претходне слике, комбинована мапа елемената за K и Al направљена на SEM уређају, на слици се јасно види облик кристала алуниита у пукотинама између зрна кварца.



Слика ср051-3: Ковелин (cv) запуњава простор између зрна раног кварца (q) и пирита (py) из py-ep фазе, одбијена светлост.



Слика ср051-4: Пирит (py) из py-ep фазе запуњава простор око зрна раног кварца (q), одбијена светлост.



Слика ср051-5: Py-en жица са енаргитом (en), пиритом (py) и алунитом (alun) запуњава пукотине између зрна раног кварца (q), BSE слика направљена на SEM уређају.

Хемијски састав алунита означеног као тачка 1 је дат у табели испод.

SEM мерење састава тачке 1 (алунит):

Елемент	Масени проценат	Атомски проценат
O	52,56	66,90
F	1,09	1,17
Na	2,95	2,61
Al	19,92	15,04
S	17,92	11,38
K	5,56	2,89
Укупно	100%	100%

Препарат број: СР056

Бушотина: ТС150062 Дубина: 759m

Макроскопски опис: Узорак садржи кварцно-алунитску жицу са пиритом и самородним сумпором. Узет је ради одређивања састава жице и проучавања флуидних инклузија у кварцу.

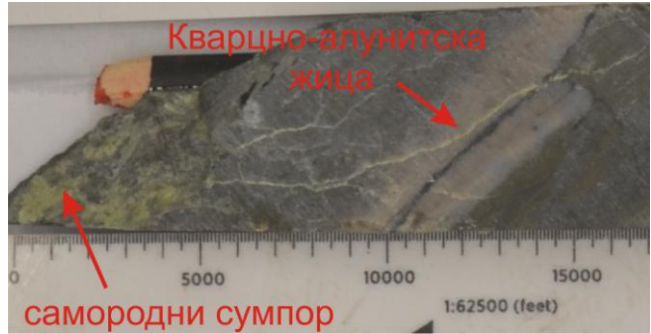
Састав узорка:

Пирит 10%

Самородни сумпор 2%

Ретки:

Сиви минерал (рутил)



Нерудни минерали: Анхидрит је најчешћи нерудни минерал у препарату, такође су прустни кварц и алунит у алтерисаној стени.

Пирит: Присутан у анхидритској жици у виду малих зрна, углавном неправилног облика. Величина зрна је око 50-80 микрона (ср0056-1, ср0056-5).

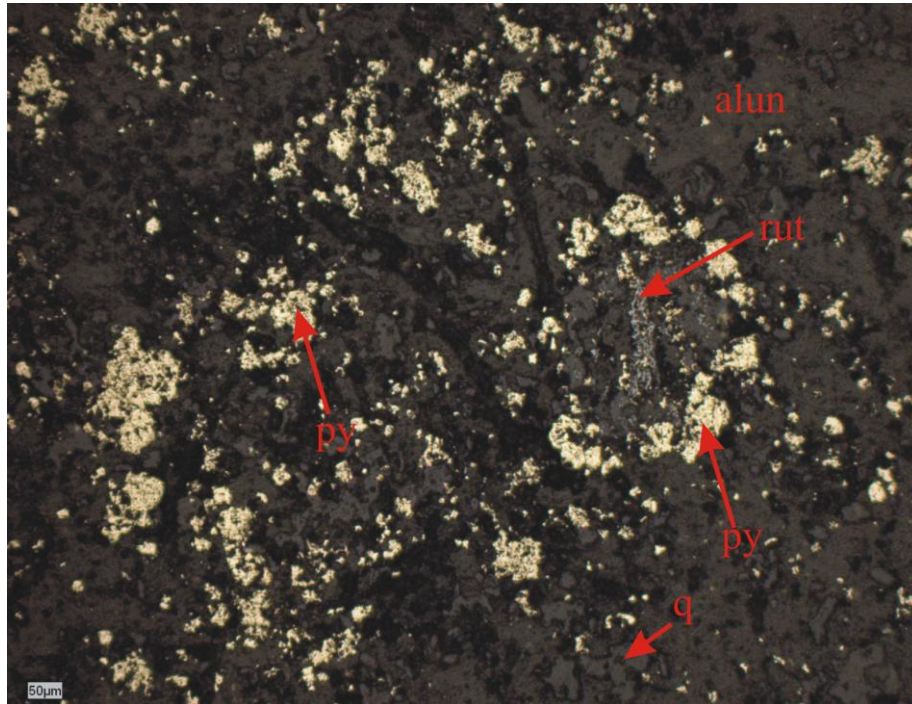
Самородни сумпор: Јавља се у виду великих провидних жутих еухедралних зрна у каснијим жицама (ср0056-5, ср0056-7, ср0056-8).

Рутил: Мала зрна у алтерисаним зрнима петрогених минерала и унутар већих зрна пирита (ср0056-1).

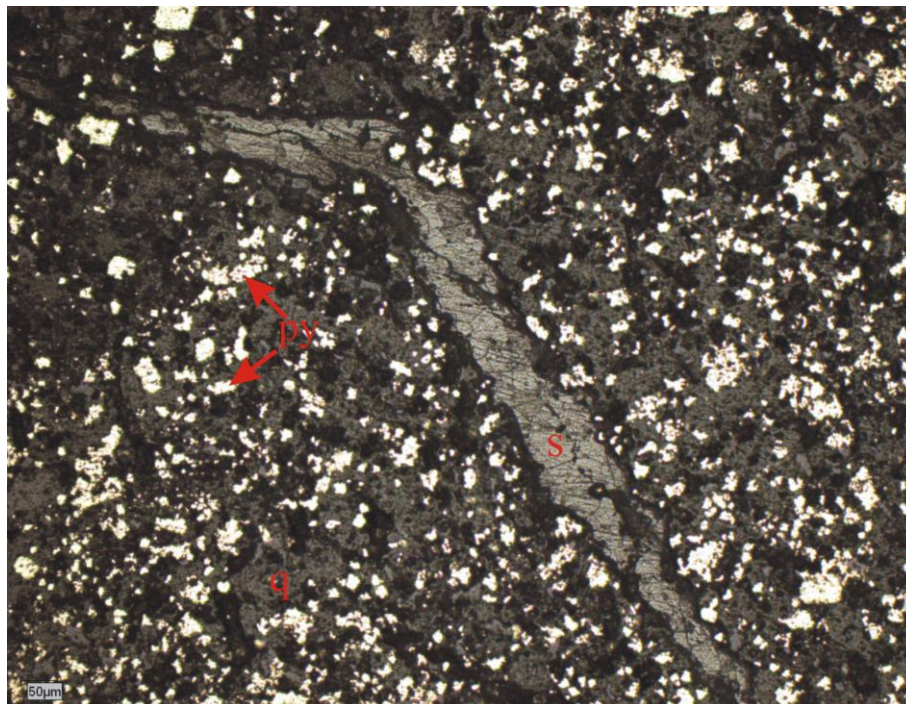
Минералне парагенезе и редослед депоновања: Могу се издвојити три фазе депоновања:

- 1) Алтерација стене кварцом и алунитом (вероватно напредна аргилитска алтерација) (ср0056-1).
- 2) Жица са ситнозрним пиритом (вероватно кварцно-алунитска жица или су жица).
- 3) Млађи самородни сумпор.

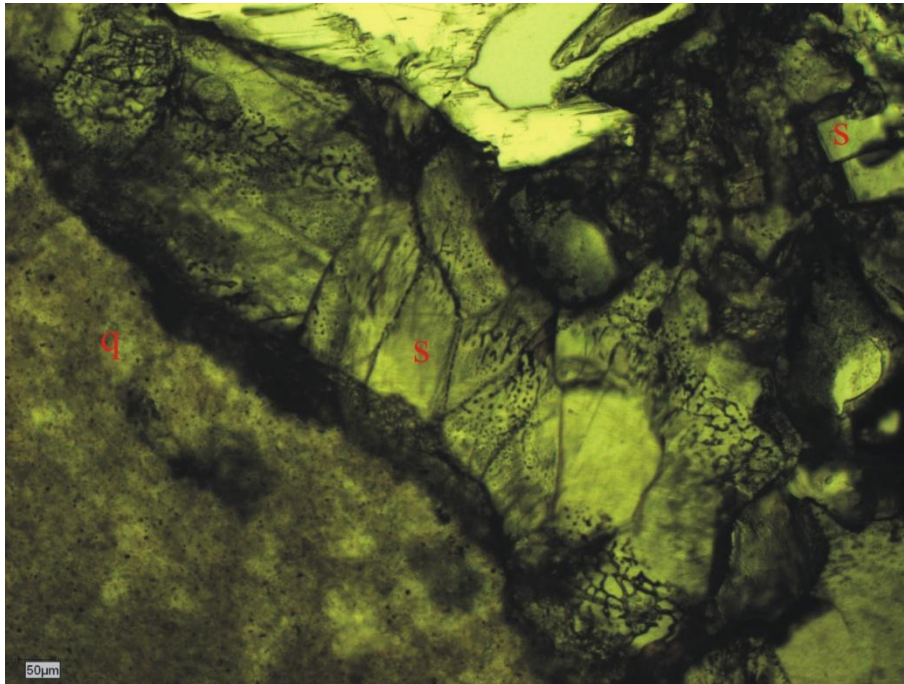
Анализа флуидних инклузија: Кварц и алунит не садрже инклузије. Самородни сумпор садржи мале флуидне инклузије, које су углавном исцуреле, тако да се не могу користити за мерења (ср0057-6, ср0056-8).



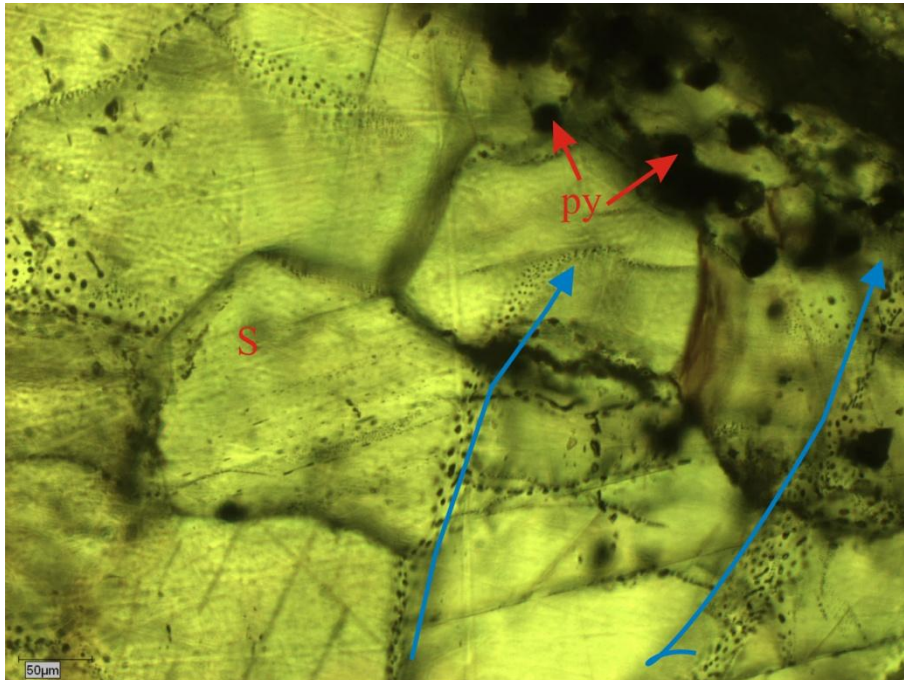
Слика ср056-1: Зрна пирита (py) и рутила (rut) у жици са алунином (alun) и кварцом (q), одбијена светлост.



Слика ср056-5: Пукотина запуњена самородним сумпором (S) пролази кроз рани кварц (q) са ситнозрним пиритом (py), одбијена светлост.



Слика ср056-7: Исцуреле флуидне инклузије у самородном сумпору (S) поред кварцно-алунитске жице са кварцом (q), пропуштена светлост.



Слика ср056-8: Мале флуидне инклузије у самородном сумпору (S) поред кварцно-алунитске жице са пиритом (py), плаве стрелице показују правац раста кристала сумпора, пропуштена светлост.

Препарат број: СР061

Бушотина: FMTC1330 Дубина: 738,2m

Макроскопски опис: Узорак садржи оксидисали андезит са малим жицама пирита и касном калцитско-зеолит жицом. Узет је ради проучавања флуидних инклузија.

Састав узорка:

Лимонит 10%

Пирит 2%



Нерудни минерали: Већи део узорка представља алтерисани и оксидисали андезит са очуваним фенокристалима кварца, плагиокласа и хорнбленде. Узорак такође садржи калцитско-зеолитску (calc-zeo) жицу.

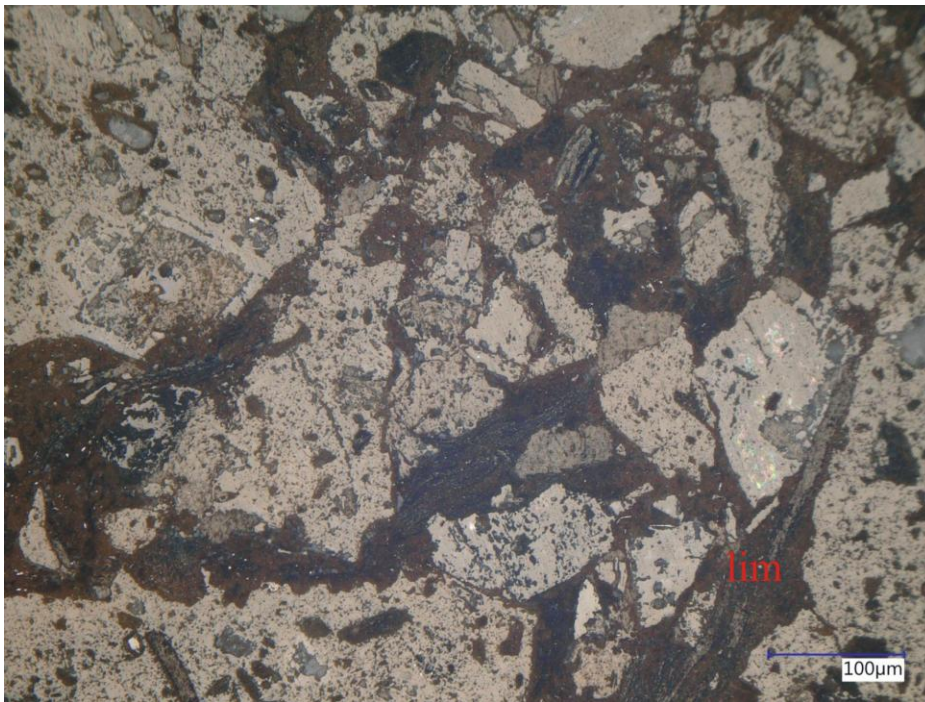
Лимонит: Запуњава пукотине у алтерисаној стени. Вероватно је формиран оксидацијом пирита (ср061-5).

Пирит: Местимично се јавља неоксидисали пирит у пукотинама, заједно са лимонитом. Пирит углавном има колоформну текстуру и понегде плаве линије што може указивати на то да је пре оксидације ово била ру-сов жице (ср061-6).

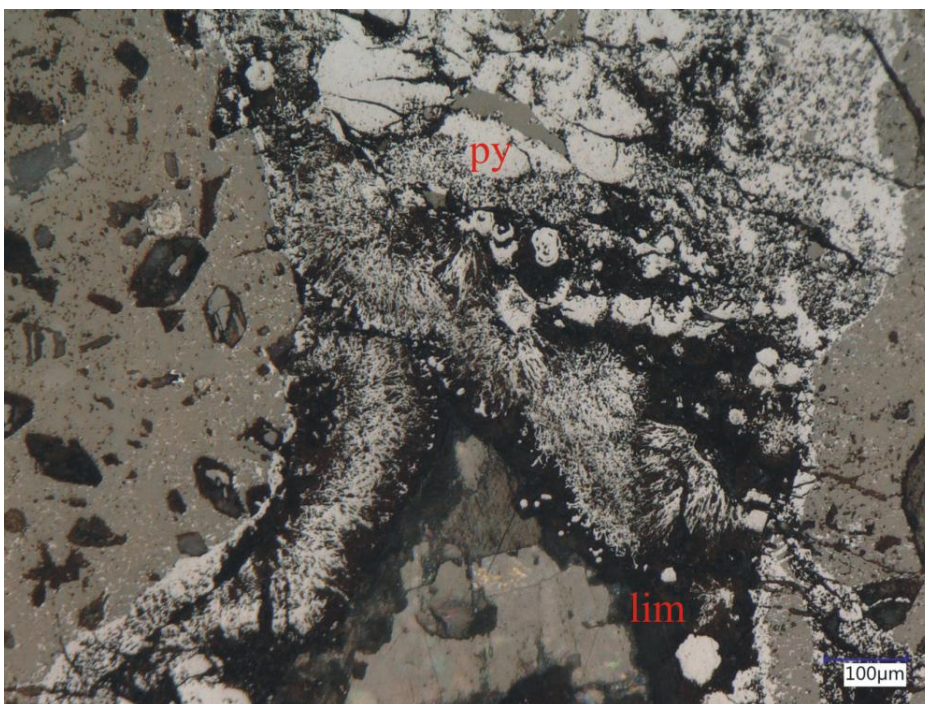
Минералне парагенезе и редослед депоновања: Овај узорак указује на две фазе депоновања:

- 1) Пиритска жица (вероватно ру-сов жица), касније оксидисала у лимонит (ср061-5).
- 2) Млађа калцитско-зеолитска жица (ср061-3).

Анализа флуидних инклузија: Калцитско-зеолитске жице не садрже инклузије. Фенокристали плагиокласа у андезиту садрже мелт инклузије. Ове инклузије су довољно велике да могу да се анализирају (ср061-2).



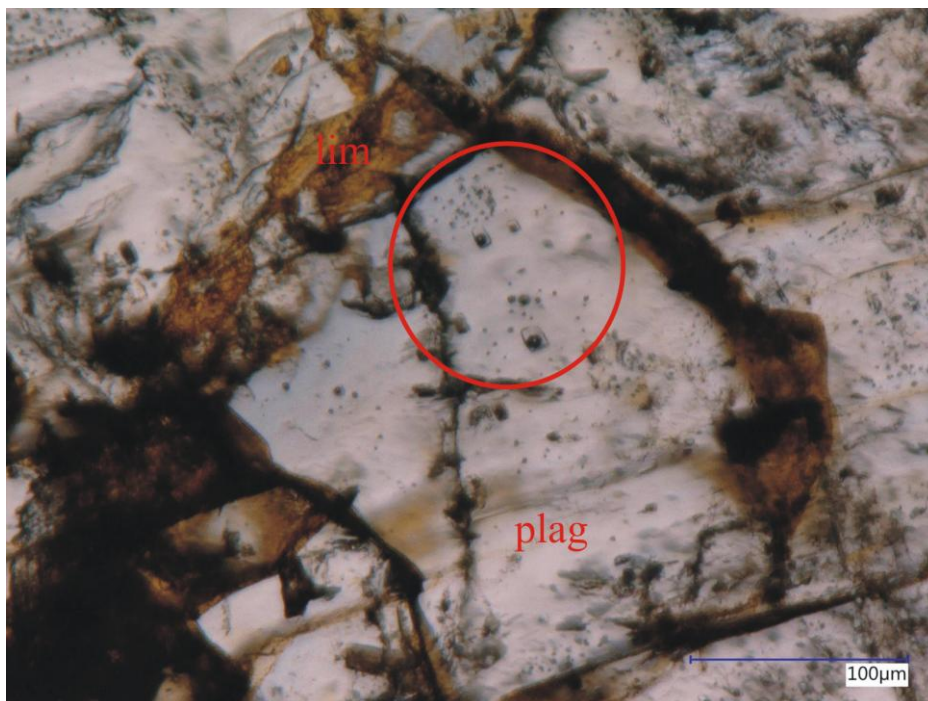
Слика ср061-5: Лимонит (lim) запуњава пукотине са плавим линијама око алтерисаних силикатних минерала, одбијена светлост.



Слика ср061-6: Колоформни пирит (py) и лимонит (lim) у пукотинама у алтерисаном андезиту, одбијена светлост.



Слика ср061-3: Кристали калцитско-зеолитске жице (calc) и алтерисани андезит, одбијена светлост.



Слика ср061-2: Мелт инклузије у плагиокласу (plag) са наранџастим лимонитом (lim) и пукотинама, пропуштена светлост.

Препарат број: СР063

Бушотина: FMTC1330 Дубина: 877,5m

Макроскопски опис: Узорак садржи широку кварцно-алунитску жицу са пиритом и енаргитом. Узет је ради одређивања састава жице и анализу флуидних инклузија.



Састав узорка:

Енаргит 5%

Ретки:

Пирит

Рутил

Галенит

Сулфосо олова (бурнонит)

Нерудни минерали: Кварц и алунит прекривају цео препарат.

Енаргит: Светли субхедрални кристали са пукотинама и траговима полирања (слика ср063-3).

Пирит: Еухедрална зрна величине од 300- 500 микрона. Сва зрна пирита имају видљиве зоне раста запуњене кварцом и алунитом (слика ср063-5m).

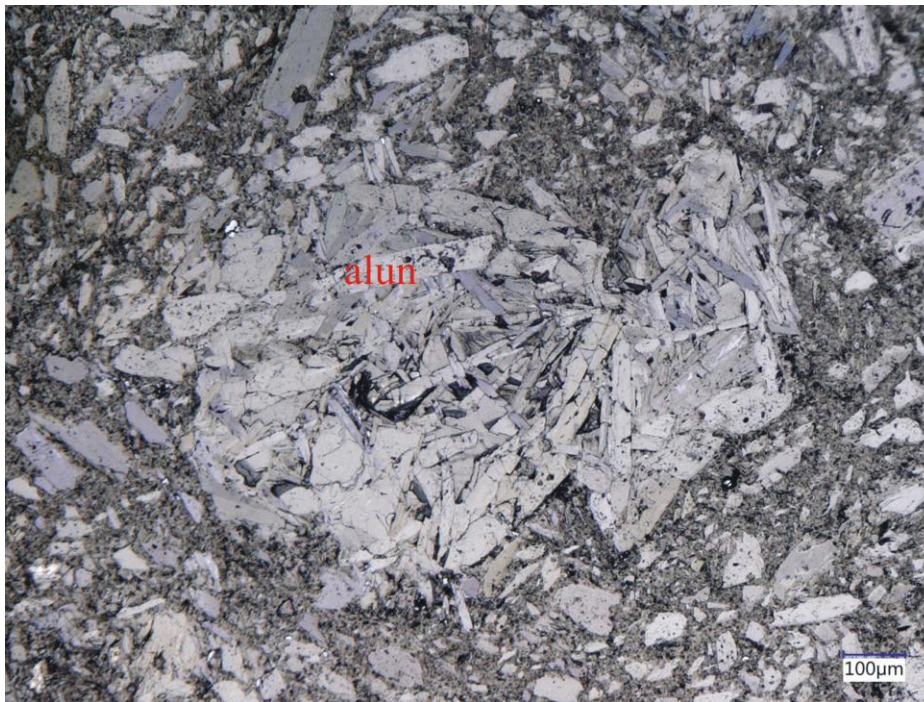
Рутил: Мала сива зрна разбацана свуда по кварцно-алунитској жици.

Галенит: Мала зрна, обично по ивицама великих зрна енаргита (детектовано на SEM уређају).

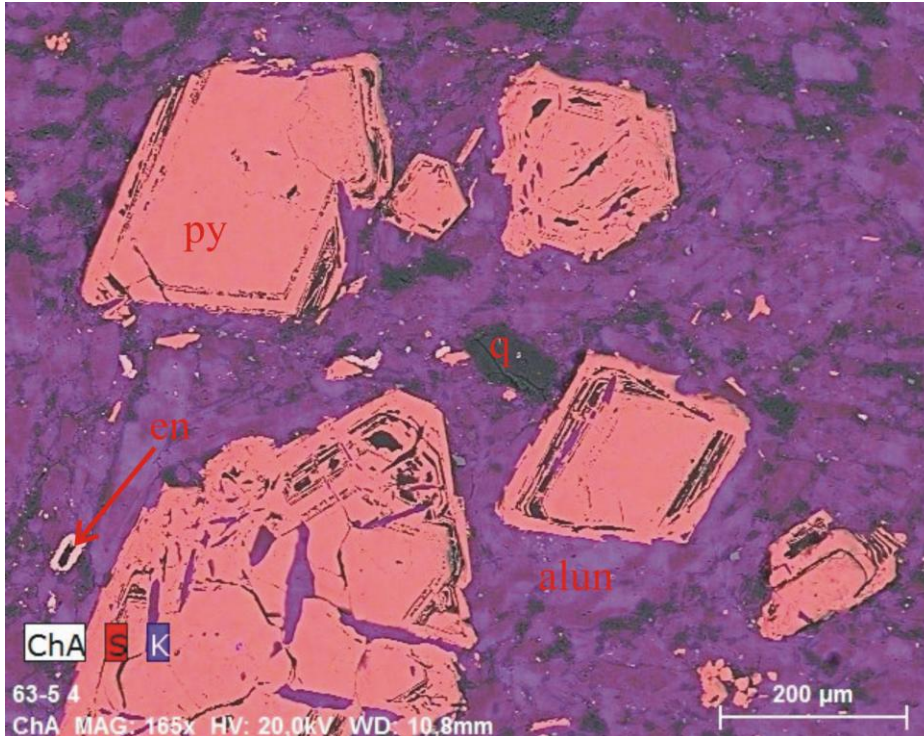
Сулфосо олова (бурнонит): Мала зрна, величине око 10 микрона обично по ивицама великих зрна енаргита (детектовано на SEM уређају) (слика ср063-3а).

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Сви рудни минерали су вероватно депоновани у истој фази као кварцно-алунитска жица.

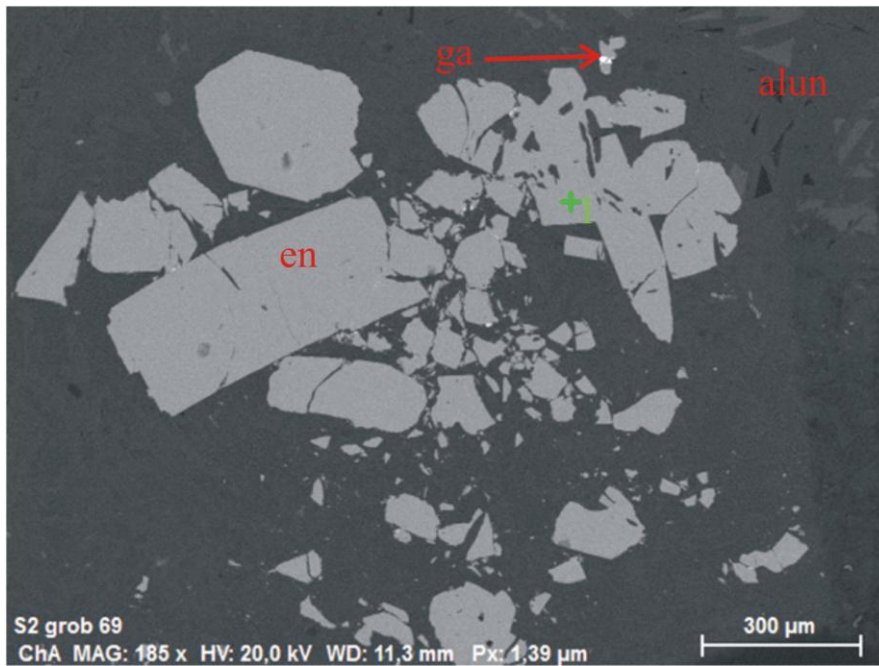
Проучавање флуидних инклузија: Овај узорак на садржи адекватне инклузије за проучавање.



Слика ср063-2: Кристали алуниита (alun) замењују алтерисане петрогене минерале, вероватно плагиоклас, пропуштена светлост.



Слика ср063-5m: Комбинована мапа елемената за сумпор (S-црвено) и калијум (K- плаво), на којој се примећују кварц и алуниит у зонама раста зрна пирита (py), мапа елемената направљена на SEM уређају.

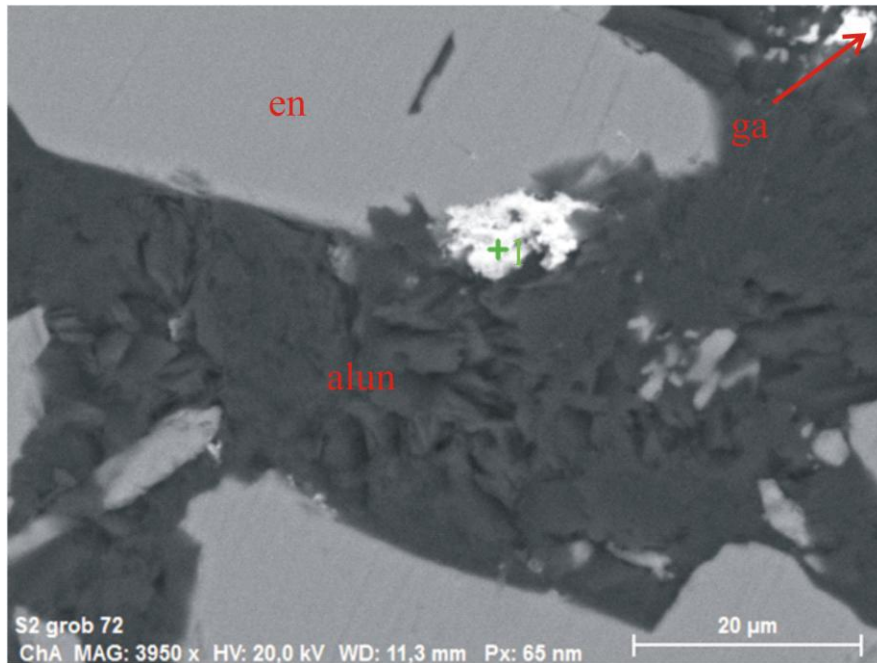


Слика ср063-3: Енарцит (en) са повећаном концентрацијом германијума и малим зрнима галенита (ga) у кварцно-алунитској (alun) жици, BSE слика направљена на SEM уређају.

Састав енаргита је приказан у следећој табели:

Састав тачке 1 (енарцит):

Елемент	Масени проценат	Атомски проценат
O	0,91	2,68
S	35,79	52,31
Cu	48,35	35,66
Ge	0,50	0,32
As	14,45	9,04
Укупно	100,00	100,00



Слика ср063-3а: Сулфосо олова (вероватно бурнонит) на ободу зрна енаргита (en) у кварц-алунитској (alun) жици, BSE слика направљена на SEM уређају.

Састав бурнонита је приказан у следећој табели:

Елемент	Масени проценат	Атомски проценат
O	8,04	31,39
Al	2,15	4,99
S	15,73	30,65
Cu	7,93	7,80
As	2,81	2,34
Sb	17,59	9,03
Pb	45,76	13,80
Укупно	100,00	100,00

Препарат број: СР065

Бушотина: FMTC1330 Дубина: 921,4m

Макроскопски опис: Узорак садржи доњи андезит са аргилитском алтерацијом и неколико танких калцитских (анхидритских?) жица са пиритом. Узет је ради одређивања састава жице.

Састав узорка:

Пирит 8%

Халкопирит 1%

Ретки:

Рутил

Халкопирит

Халкозин

Ковелин

Сфалерит

Апатит

Целестин



Нерудни минерали: Већину узорка чини алтерисани андезит са сачуваним обликом фенокрстала плагиокласа и хорнбленде (ср0065-5). Главни нерудни минерал у жици је калцит, док се анхидрит јавља у разбацаним зрнима (ср0065-2).

Пирит: Присутан у виду малих зрна у алтерисаним петрогеним минералима (ср0065-5) и у калцитској жици (ср0065-1а). Величина зрна је око 100-200 микрона.

Халкопирит: Ретка мала зрна у калцитској жици, често заједно са зрнима пирита (ср0065-4).

Рутил: Мала еухедрална сива зрна унутар зрна пирита (ср0065-2).

Халкозин: Јавља се у виду малих плавих зрна унутар великих зрна пирита (ср0065-4).

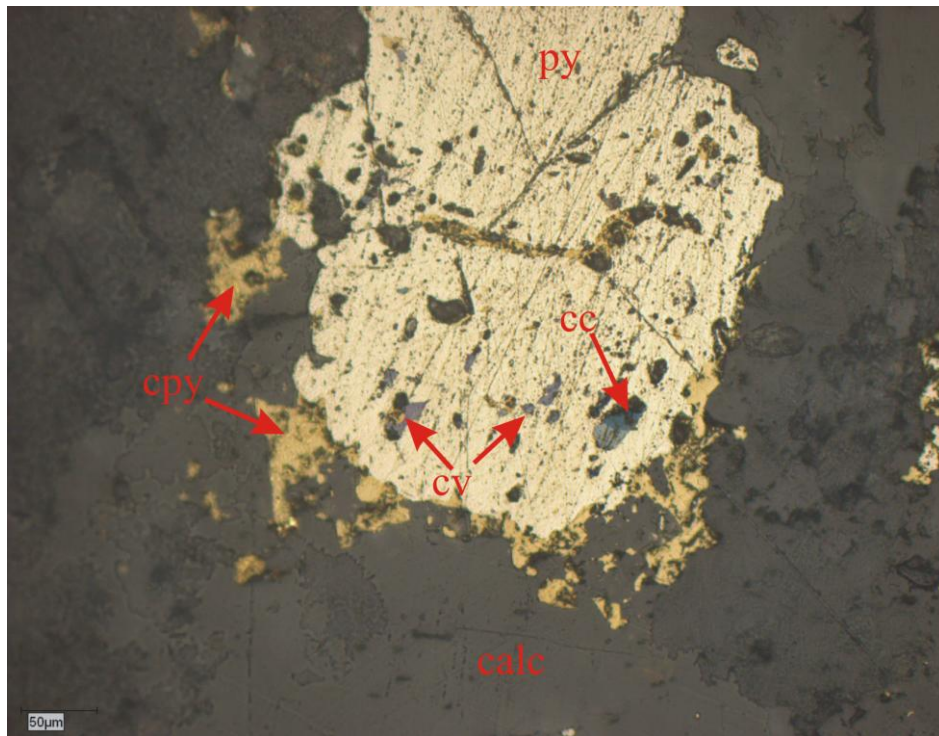
Ковелин: Јавља се у виду малих љубичастих зрна унутар великих зрна пирита (ср0065-4).

Сфалерит: Јавља се у зрнима пирита у виду малих сивих зрна, слично рутилу.

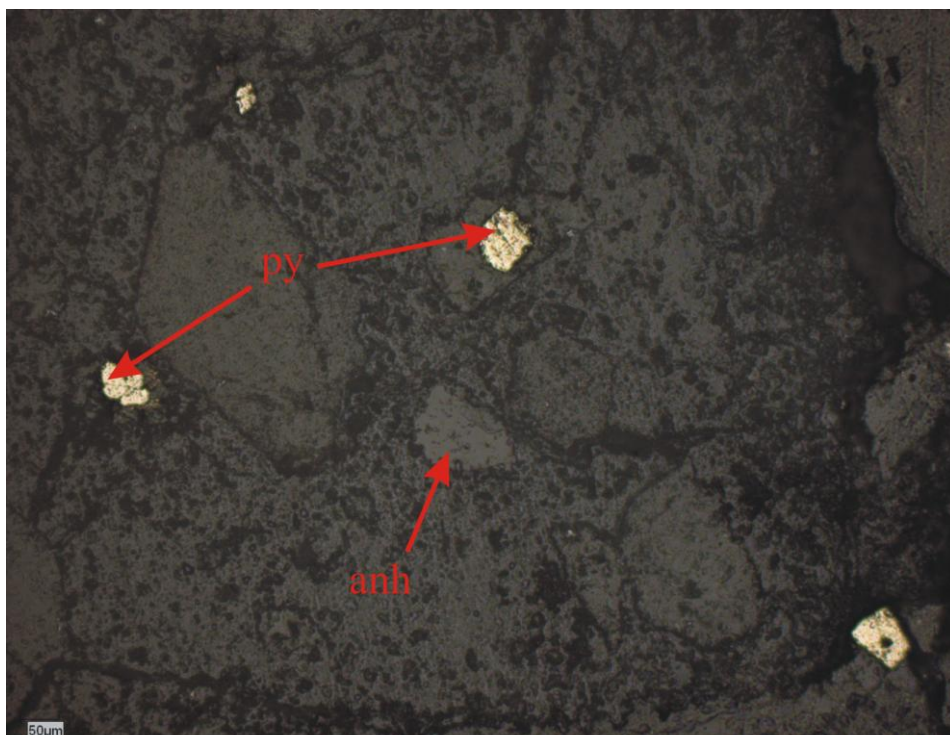
Апатит: Изолована зрна у алтерисаној стени (не у жици), обично у близини зрна пирита или целестина (ср0065-1а).

Целестин (стронцијум-сулфат): Изолована зрна у алтерисаној стени (не у жици), близу зрна пирита или апатита (идентификовано на SEM уређају) (ср0065-1а).

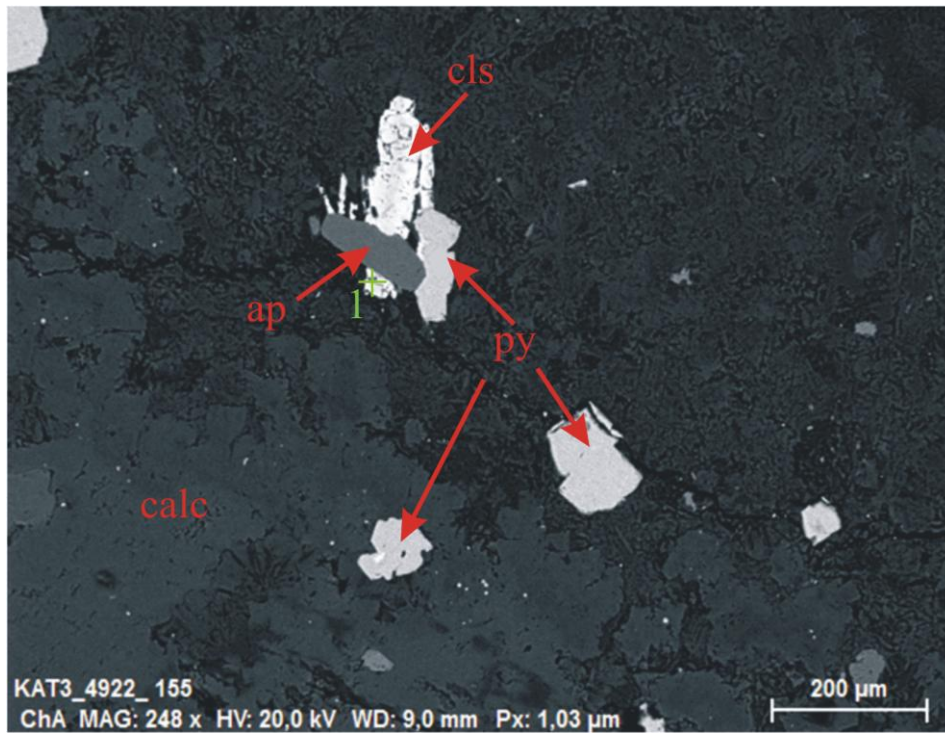
Минералне парагенезе и редослед депоновања: Сви минерали у калцитској жици су депоновани у истој парагенези. Није јасно одређено да ли је алтерација стене настала у исто време као и жица, али на основу односа зрна у жици, вероватно је настала раније.



Слика ср065-4: Ковелин (cv) и халкозин (cc) као ситна зрна у пириту (py) са халкопиритом (cru), одбијена светлост.



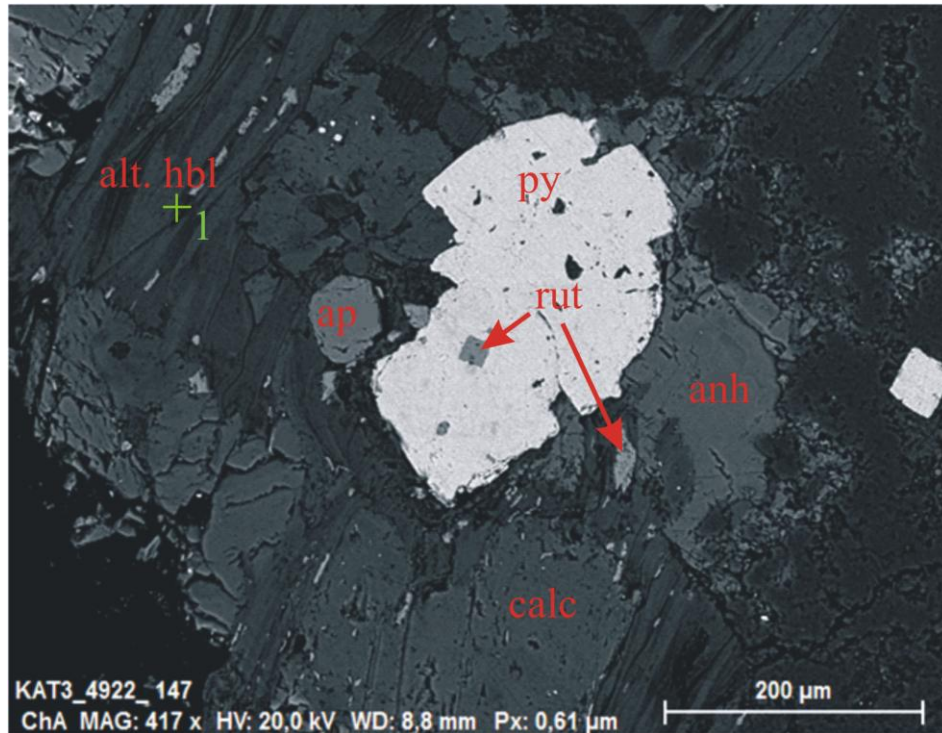
Слика ср065-5: Зрна пирита (py) и анхидрита (anh) у алтерисаној стени са очуваним обликом фенокристала плагиокласа и хорнбленде, одбијена светлост.



Слика ср065-1а: Пирит (py), апатит (ap) и целестин (cls) на ободу калцитске жице (calc), BSE слика направљена на SEM уређају. Хемијска анализа зрна целестина означеног бројем 1 је приказана у табели испод:

Анализа тачке 1 (целестин) на SEM уређају:

Елемент	Масени проценат	Атомски проценат	Оксиди	Масени проценат оксида	Атомски проценат оксида
O	33,23	66,60			
S	16,60	16,60	SO ₃	41,44	42,97
Sr	38,39	14,05	SrO	45,40	47,08
Ba	11,79	2,75	BaO	13,16	13,65
УКУПНО	100%	100%		100%	100%



Слика ср065-2: Пирит (py), рутил (rut), апатит (ap) и анхидрит (anh) у калцитској жици (calc), BSE слика направљена на SEM уређају. Хемијска анализа кристала алтерисане хорнблендае (alt.hbl) означеног бројем 1 је приказана у табели испод:

Анализа тачке 1 (алтерисана хорнбленда) на SEM уређају:

Елемент	Масени проценат	Атомски проценат	Оксиди	Масени проценат оксида	Атомски проценат оксида
O	41,38	58,60			
Mg	11,57	10,79	MgO	19,18	14,03
Al	13,20	11,08	Al ₂ O ₃	24,94	18,24
Si	14,45	11,66	SiO ₂	30,91	22,61
Fe	19,41	7,87	FeO	24,97	18,26
УКУПНО	100%	100%		100%	100%

Препарат број: СР073

Бушотина: ТС150043 Дубина: 591,4m

Макроскопски опис: Узорак садржи бречизирани масивни сулфид са кварцом и енаргитом у матриксу и кластима ру1 пирита. Узорак је узет за проучавање састава ру-еп бреча и за анализу флуидних инклузија у енаргиту.

Састав узорка:

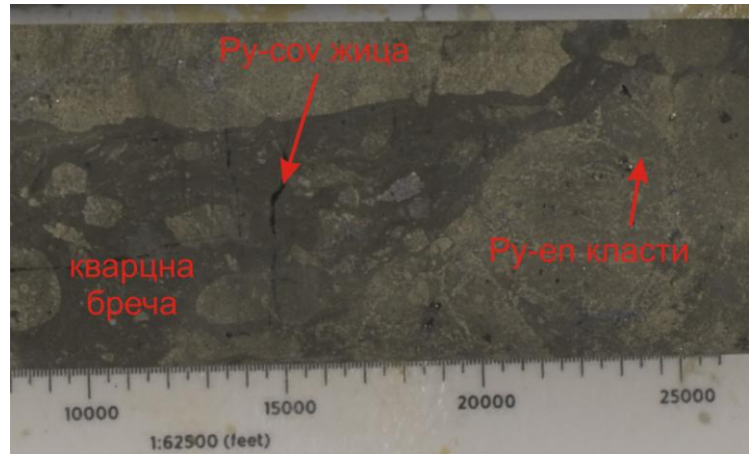
Пирит 15%

Енаргит 10%

Ковелин 4%

Ретки:

Рутил



Нерудни минерали: Ситнозрни кварц који представља матрикс брече је главни нерудни минерал који прекрива цео препарат.

Пирит: Јавља се у 2 форме:

- 1) Мала зрна пирита која су груписана са зрнима рутила или разбацана у кварцном матриксу (ср073-4).
- 2) Велики еухедрални кристали депоновани заједно са енаргитом (ср073-2).

Енаргит: Јавља се у виду веома великих повезаних кристала, увек заједно са зрнима пирита (ср073-3). Вероватно је депонован заједно са кварцним матриксом.

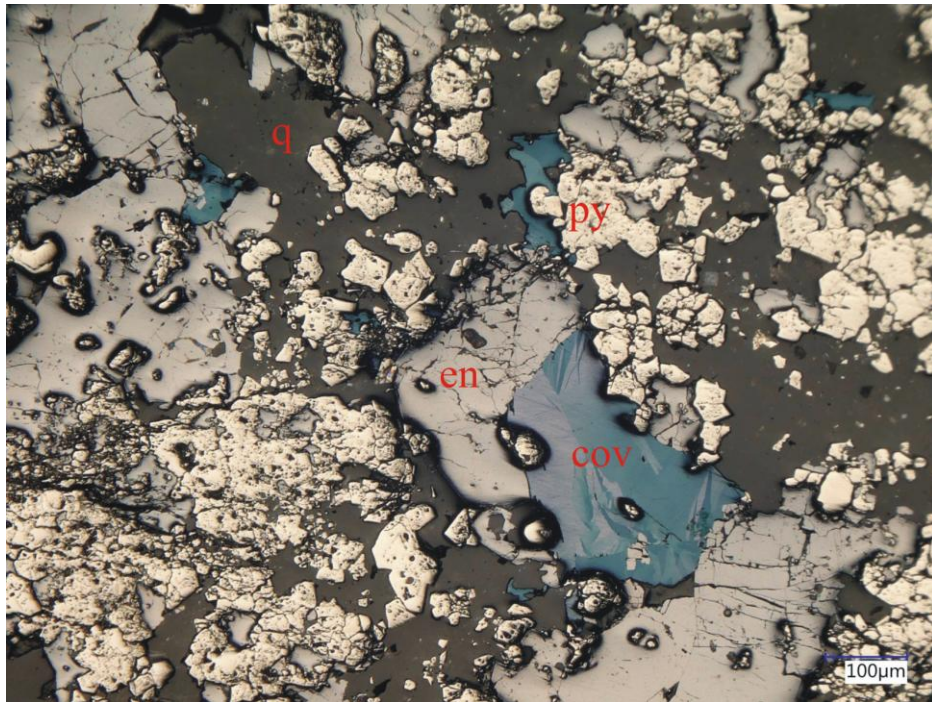
Ковелин: Јавља се у 2 форме:

- 1) Велика правилна зрна депонована заједно са кристалима енаргита (ср073-2).
- 2) Танка ковелинска жица која пресеца пирит и енаргит (ср073-3).

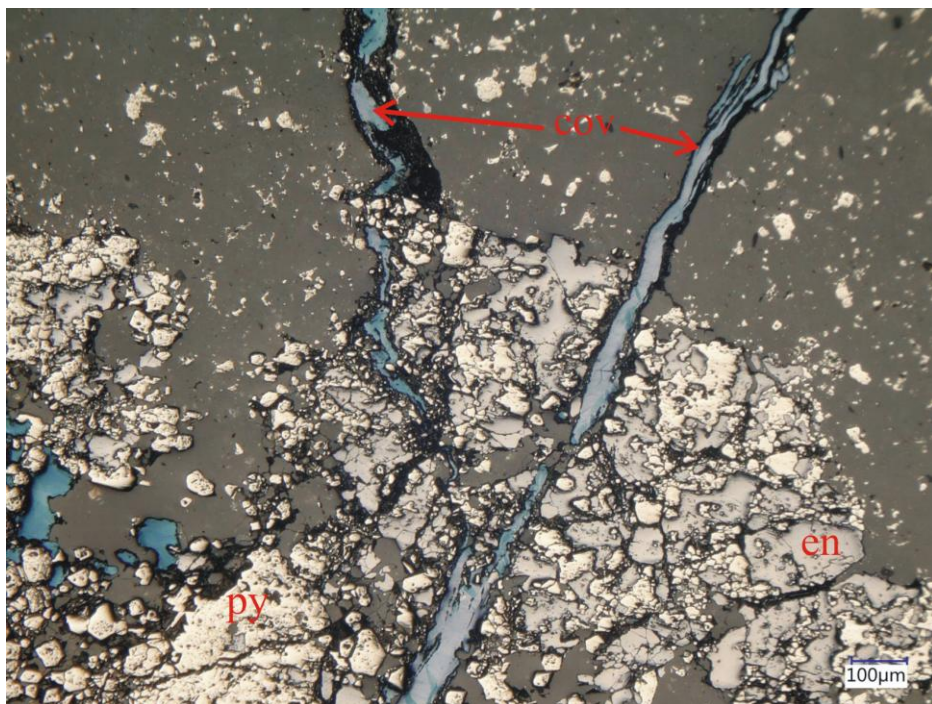
Рутил: Мала зрна у кварцу који се јављају заједно са ру1 пиритом (ср073-4, ср073-7).

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Могу се издвојити 3 фазе депоновања:

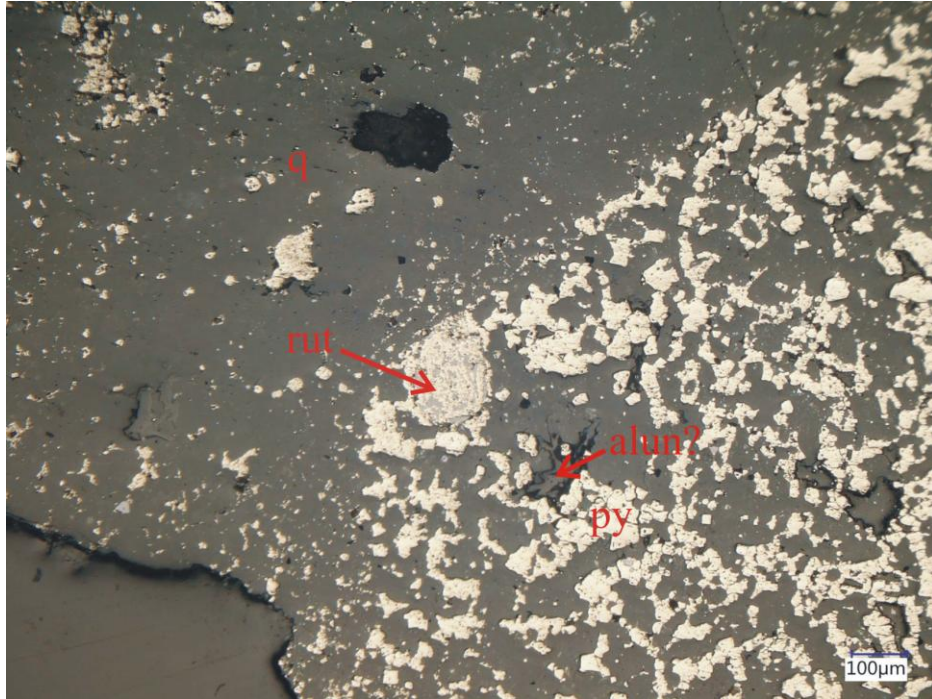
- 1) Ру1 пирит са рутилом у кластима (ср073-4).
- 2) Кварцни матрикс са енаргитом, пиритом и ковелином (вероватно ру-еп фаза) (ср073-2).
- 3) Млађа ковелинска жица која пресеца енаргит и пирит (ср073-3).



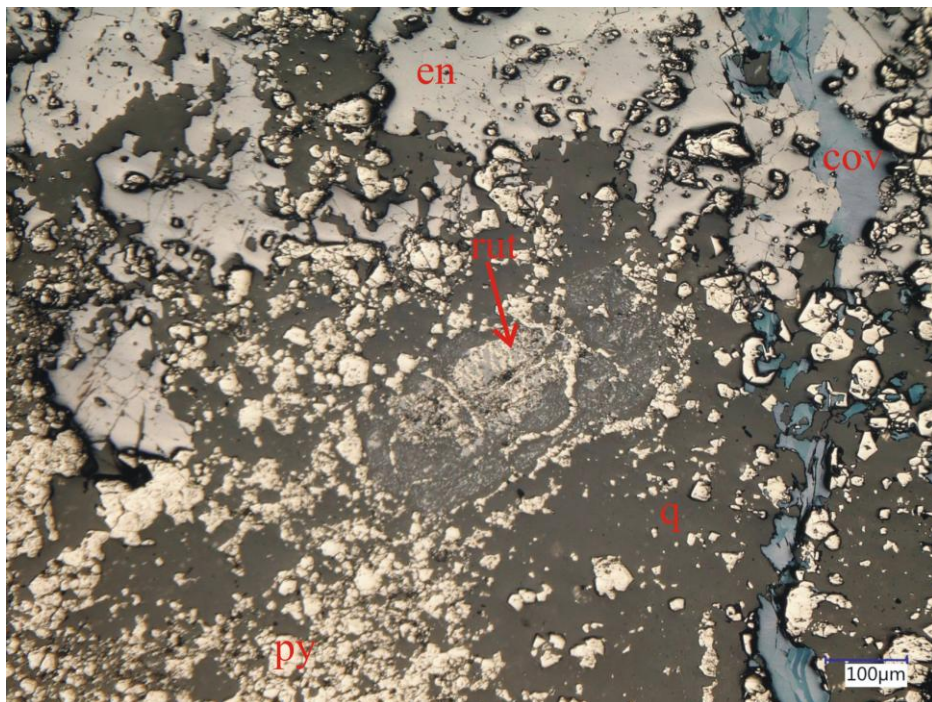
Слика ср073-2: Повезана зрна ковелина (cov) и енаргита (en) која указују на истровремено депоновање, заједно са пиритом (py) у кварцу (q), одбијена светлост.



Слика ср073-3: Танка ковелинска (cov) жица која пресеца енаргит (en) и пирит (py), одбијена светлост.



Слика ср073-4: Пирит (py), рутил (rut) и алунит (alun) у кварцном матриксу (q), одбијена светлост.



Слика ср073-7: Пирит (py) и рутил (rut) у кварцном матриксу (q) са енарцитом (en) и ковелином (cov) око њих, одбијена светлост.

Препарат број: СР075

Бушотина: ТС150043 Дубина: 661m

Макроскопски опис: Узорак садржи ру-сов жицу која пресеца андезит са алтерационим кварцом и алунитом. Узет је ради проучавања разлике између q-alun и ру-сов жица

Састав узорка:

Пирит 20%

Ковелин 5 %

Ретки:

Енаргит

Рутил



Нерудни минерали: Главни нерудни минерали су кварц и алунит (вероватно q-alun стадијум настао напредном аргилитском алтерацијом).

Пирит: Јавља се у две различите форме:

- 1) Еухедрални кристали у кварцу у виду малих збијених зрна (ср075-2).
- 2) Колоформна зрна, која се јављају као део ру-сов жица (ср075-1).

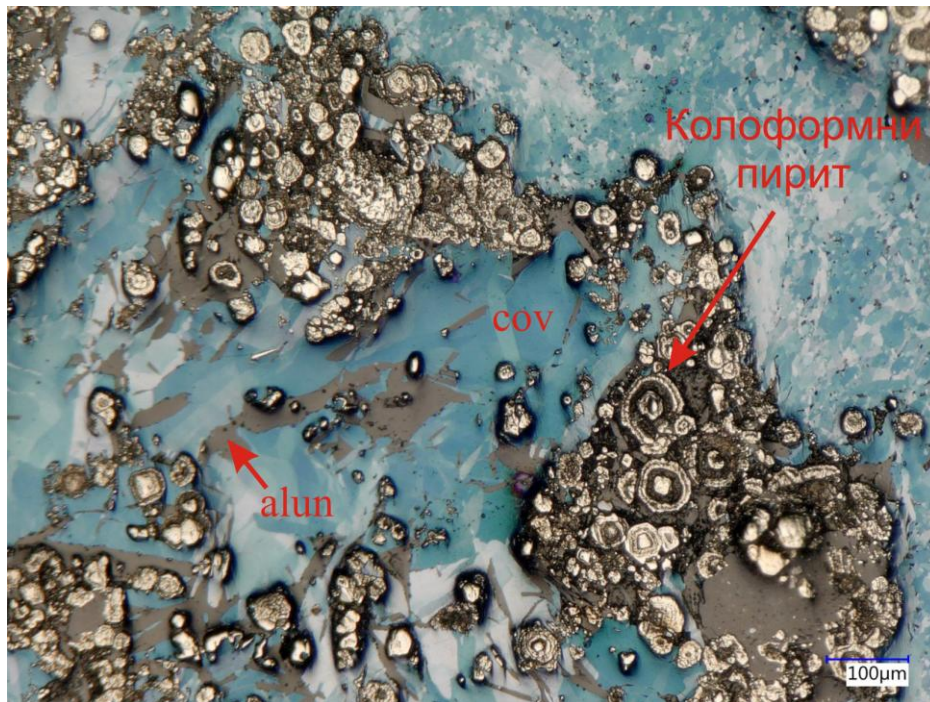
Ковелин: Велика издужена зрна која се јављају само у ру-сов жицама и у виду малих зрна у млађим пукотинама (ср075-1).

Енаргит: Веома мала еухедрална зрна, која се јављају близу ру-сов жица и у млађим пукотинама.

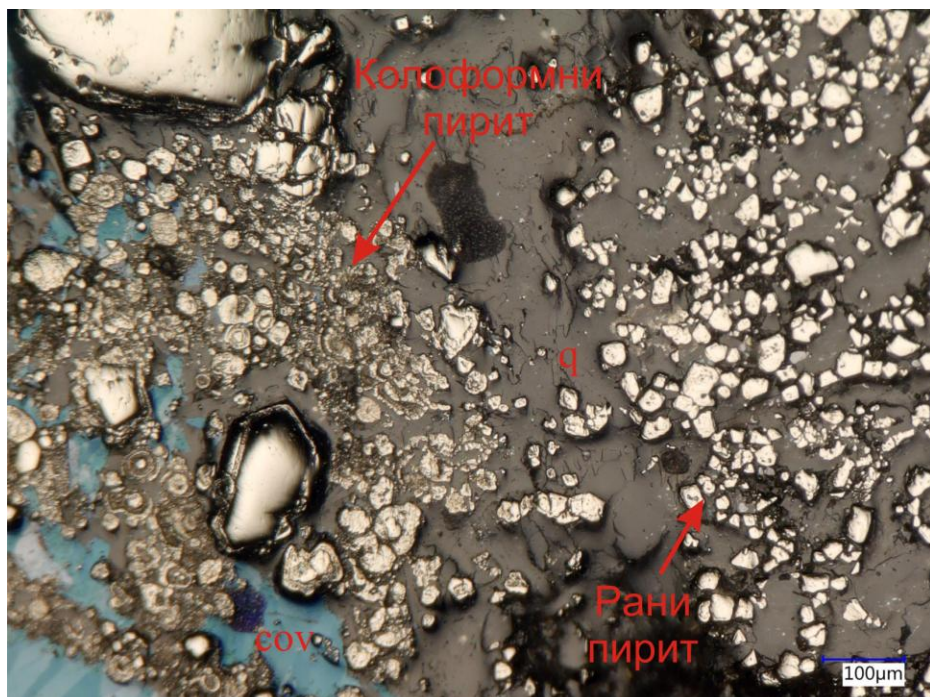
Рутил: Углавном се јавља у виду малих зрна, максималне величине до 400 микрона. Углавном су ова зрна разбацана у деловима узорка који су алтерисани кварцом.

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Могу се издвојити 3 фазе депоновања:

- 1) Q-alun стадијум са еухедралним пиритом и рутилом.
- 2) Ру-сов жица са колоформним пиритом и енаргитом (ср075-1).
- 3) Млађе пукотине са малим зрнима пирита, ковелина и енаргита.



Слика ср075-1: Мала зрна колоформног пирита (py) у ковелинској жици (cov), алтерациони алунит (alun) вероватно прати ковелинску жицу, одбијена светлост.



Слика ср075-2: Разлика између раног еухедралног пирита и каснијег колоформног пирита, који се јавља близу зрна ковелина (cov), одбијена светлост.

Препарат број: СР084

Бушотина: FMTC1327 Дубина: 1246,5m

Макроскопски опис: Узорак садржи кварцну жицу (вероватно жица типа Б) са халкопиритом и борнитом у алтерисаном андезиту (вероватно хлоритска алтерација). Узорак је узет ради проучавања минералног састава жице.

Састав узорка:

Халкопирит 11%

Борнит 4%

Пирит 2%

Магнетит 1%

Ретки:

Рутил

Клаустхалит

Самородно злато

Електрум



Нерудни минерали: Главни нерудни минерал у препарату је кварц. Остатак узорка је андезит алтерисан хлоритизацијом и силификацијом.

Халкопирит: Доминантни рудни минерал у овој жици. Обично у виду великих издужених зрна у средини жице кварца. Изгледа као да постоје 2 типа халкопирита – чисти и порозни (слика ср084-4). Халкопирит често садржи мања зрна борнита и пирита.

Борнит: Зрна неправилног облика и црвенкасте боје, обично у средини зрна халкопирита (слика ср084-4, ср084-6).

Пирит: Јавља се у виду еухедралних коцкастих кристала и у виду малих зрна по ободу великих зрна халкопирита (слика ср084-4).

Магнетит: Јавља се у две форме:

- 1) Мала сива зрна у халкопириту.
- 2) Велика еухедрална зрна са издвајањем рутила (слика ср084-5m).

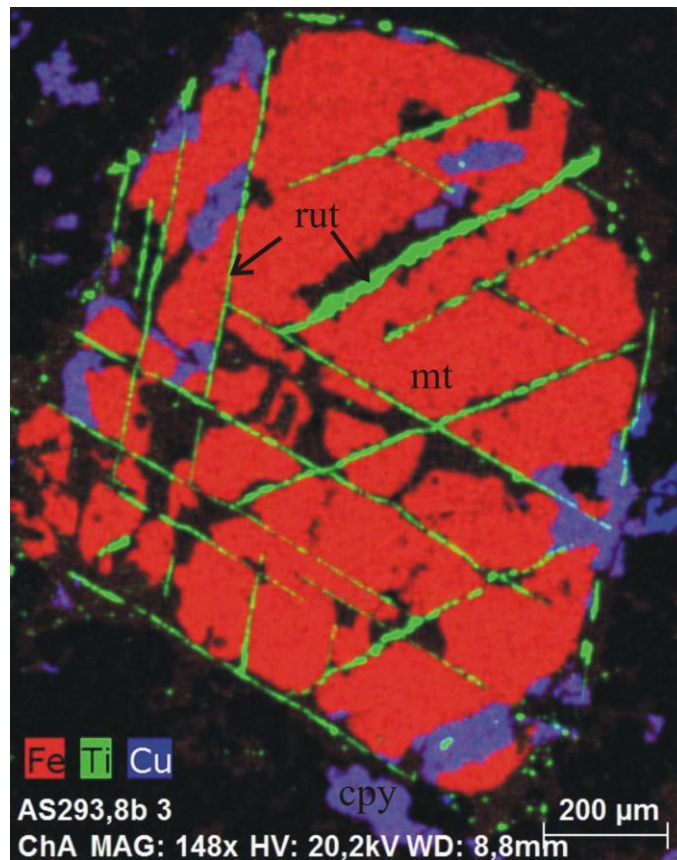
Рутил: Углавном се јавља у виду издвајања и великим зрнима магнетита (слика ср084-5m).

Клаустхалит (Селенид олова): Више малих зрна величине до неколико микрона у великим зрнима халкопирита. Идентификована на SEM уређају (слика ср084-1g).

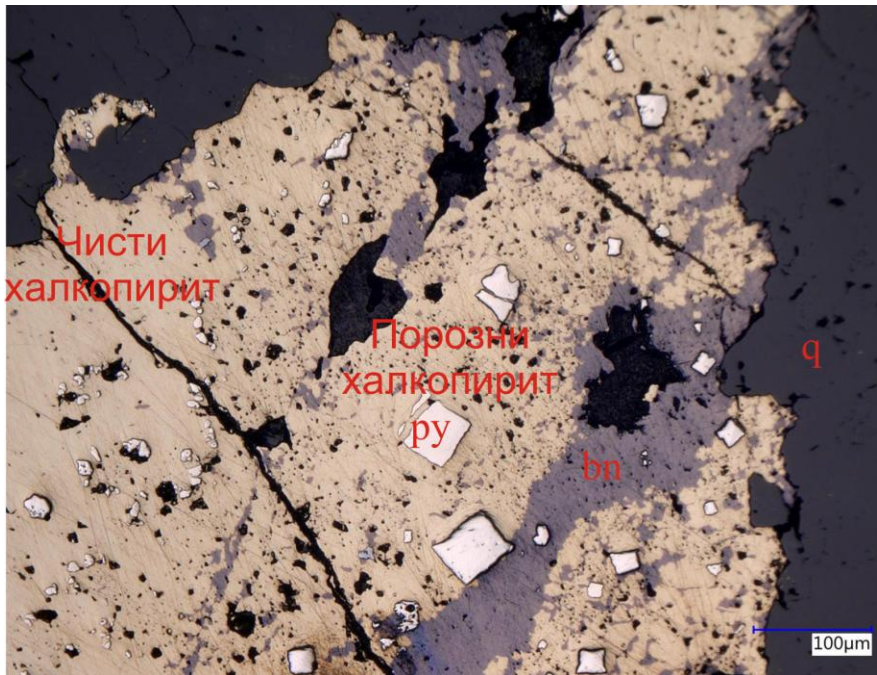
Самородно злато: Мала зрна величине до неколико микрона у халкопириту. Идентификована на SEM уређају (слика ср084-8g).

Електрум: Мала зрна величине до неколико микрона у зрнима пирита и халкопиритској жици. Идентификована на SEM уређају (слика ср084-7g).

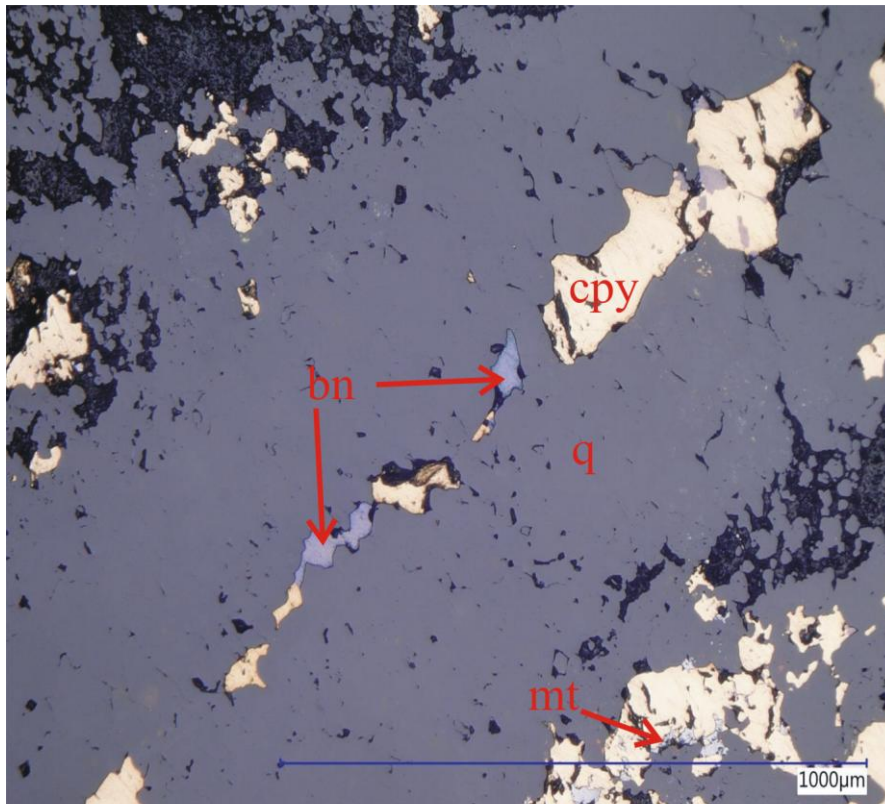
Минералне парагенезе и редослед депоновања: Сви минерали у овој жици су депоновани у истој фази. Изгледа да постоје 2 различите врсте халкопирита у жици (чисти и порозни), али SEM анализе нису показале да постоје разлике у елементалном саставу између њих.



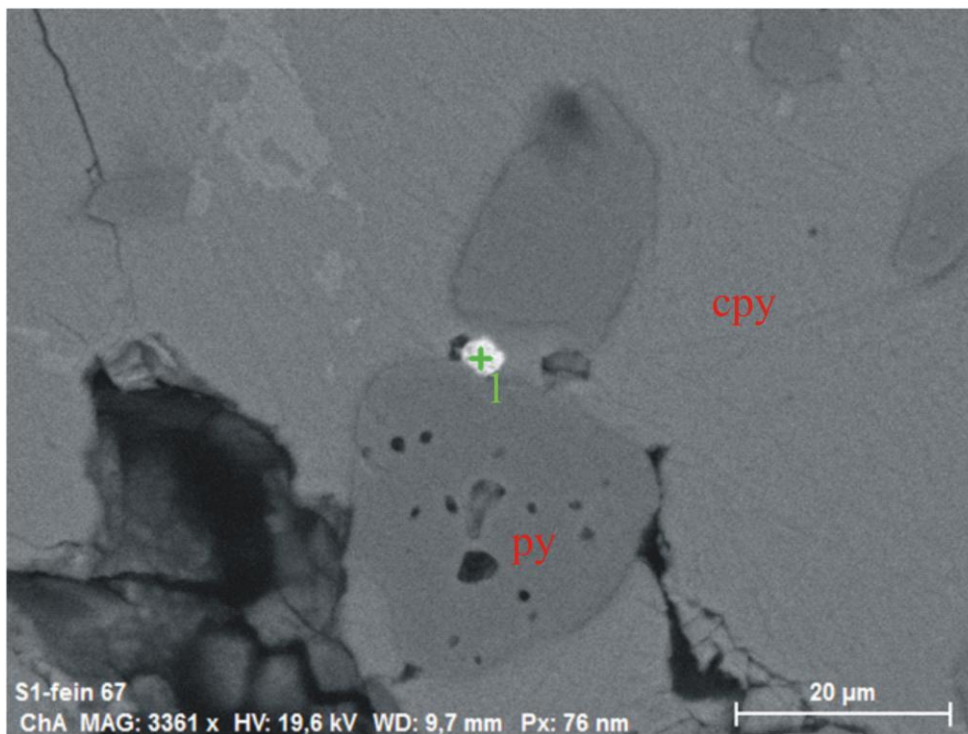
Слика ср084-5т: Комбинована мапа елемената, гвожђе (Fe-црвено), титанијум (Ti- зелено) и бакар (Cu- плаво), на којој се виде издвајања рутила (rut) у зрну магнетита (mt) са халкопиритом (сру) по ободу, мапа елемената направљена на SEM уређају.



Слика ср084-4: Порозни и чисти халкопирит (сру) у кварцној жици (q), која садржи мања зрна борнита (bn) и пирита (py), одбијена светлост.



Слика ср084-6: Халкопирит (сру) са малим зрнима магнетита (mt) и борнита (bn) у средишњем делу кварцне жице (q), одбијена светлост.

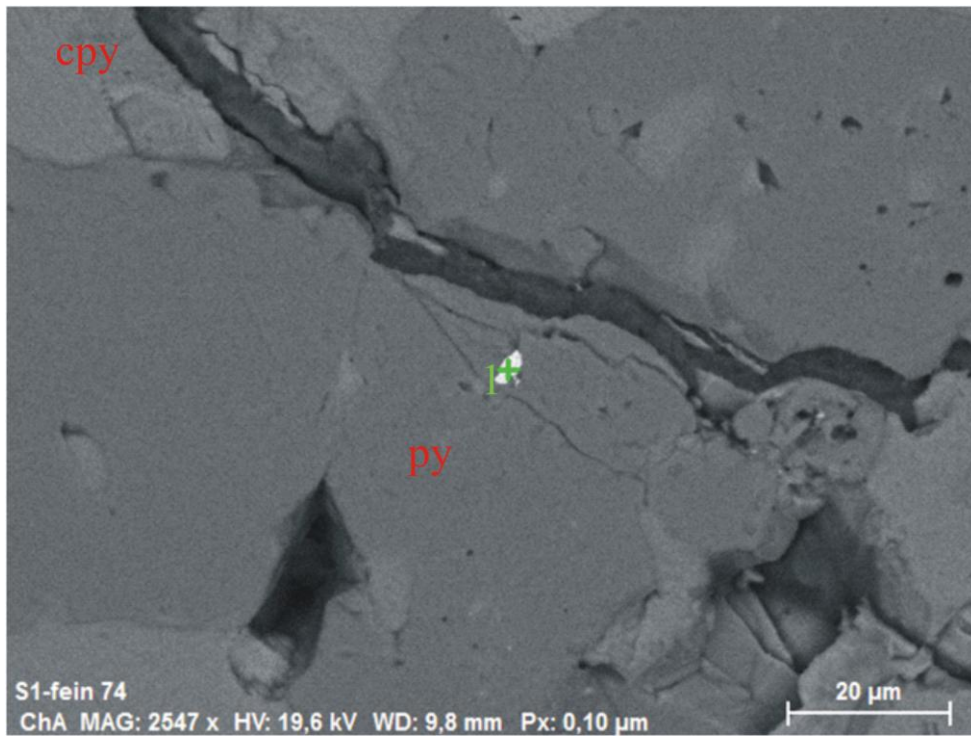


Слика ср084-1g: Зрна клаустхалита у халкопириту (cpy) између два зрна пирита (py), BSE слика направљена на SEM уређају.

Састав клаустхалита је приказан у следећој табели.

Табела 1: Састав тачке 1- клаустхалит (селенид олова):

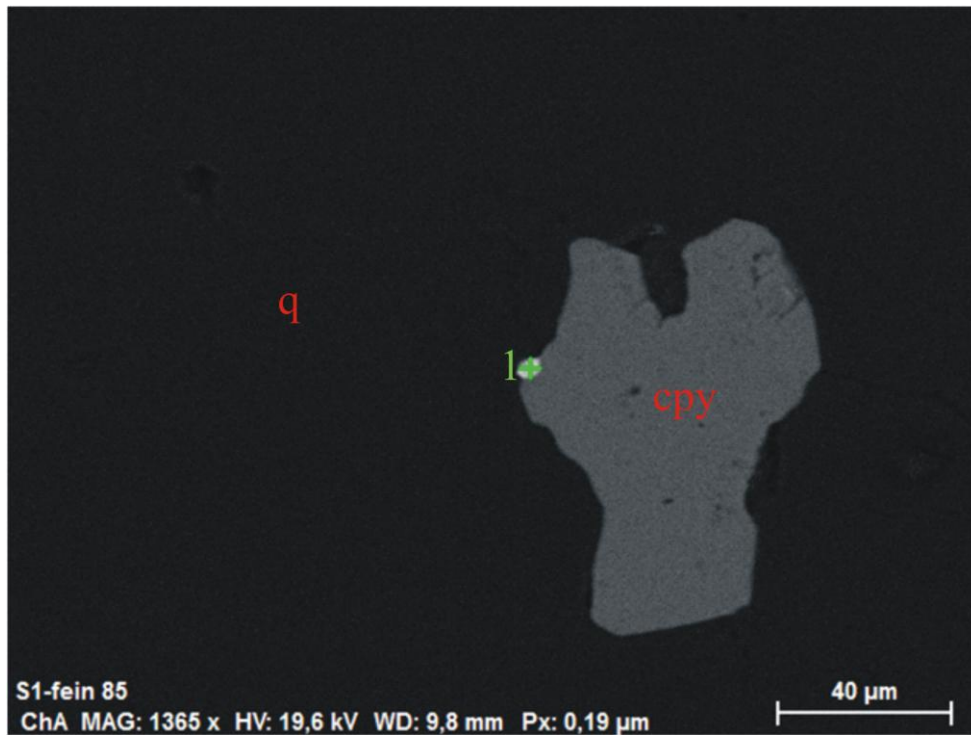
Елемент	Масени проценат (%)	Атомски проценат (%)
Fe	4,05	9,85
As	0,82	1,48
Se	24,64	42,42
Pb	70,50	46,25
Укупно	100,00	100,00



Слика ср084-7g: Зрна електрума у пириту (py), BSE слика направљена на SEM уређају.
Састав електрума је приказан у следећој табели:

Табела 2: Састав тачке 1- електрум:

Елемент	Масени проценат (%)	Атомски проценат (%)
O	4,50	30,10
Al	1,24	4,93
Fe	4,19	8,03
Ag	17,94	17,78
Au	72,12	39,15
Укупно	100,00	100,00



Слика ср084-8g: Зрно самородног злата у халкопириту (спу), BSE слика направљена на SEM уређају.

Састав зрна злата је приказан у следећој табели.

Табела 3: Састав тачке 1- самородно злато:

Елемент	Масени проценат (%)	Атомски проценат (%)
O	5,03	35,96
Al	1,86	7,91
Ag	4,26	4,52
Au	88,85	51,61
Укупно	100,00	100,00

Препарат број: СР087

Бушотина: FMTC1327 Дубина: 1350m

Макроскопски опис: Узорак садржи магнетитску жицу и наранцасту анхидритску жицу у алтерисаном диориту (вероватно п1 интрузив). Узет је ради одређивања састава жице.

Састав узорка:

Магнетит 50%

Халкопирит 2%

Пирит 1%



Нерудни минерали: Препарат око жице је диорит алтерисан силификацијом. Кварц је најчешћи нерудни минерал. Такође су присутне млађе танке наранџасте анхидритске жице (ср087-1).

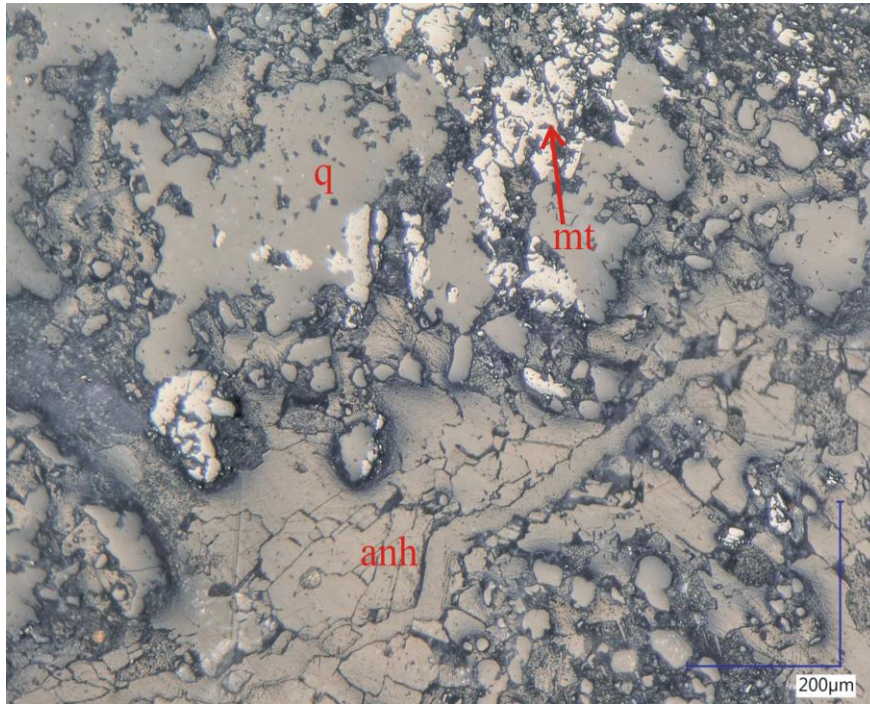
Магнетит: Највише је присутан у широкој жици у средини препарата, али се такође јавља у алтерисаној стени где замењује мафичне минерале.

Халкопирит: Мала жута зрна неправилног облика, углавном разбацана по алтерисаној стени. Мања зрна халкопирита се јављају у магнетитској жици (ср087-8).

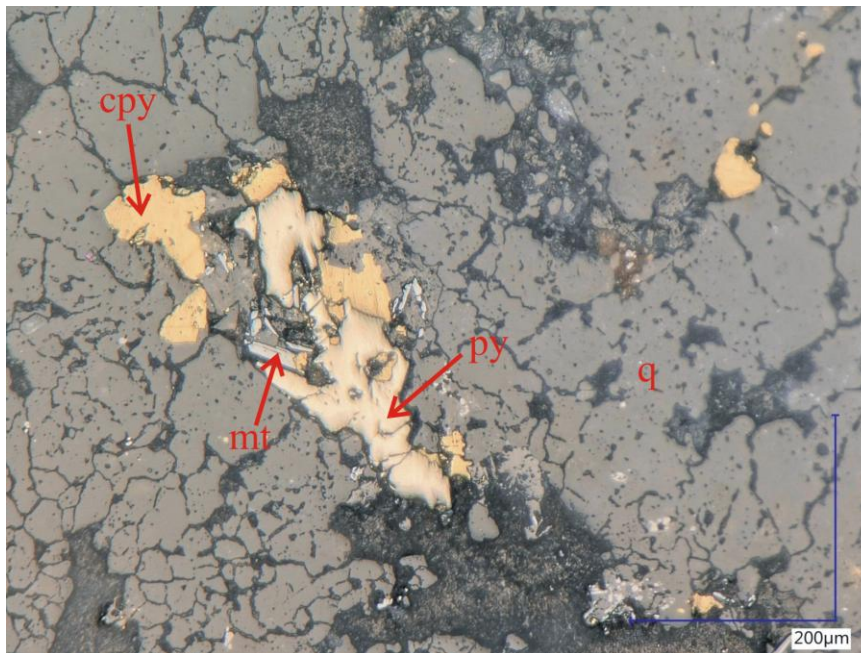
Пирит: Мала зрна неправилног облика, углавном мања од 200 микрона. Најчешће присутан у алтерисаним зрнима, ретко у магнетитској жици (ср087-8).

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Могу се издвојити 3 фазе депоновања:

- 1) Алтерација диорита силификацијом.
- 2) Магнетитска жица- садржи углавном само магнетит са мањом количином халкопирита и пирита.
- 3) Млађе наранџасте анхидритске жице (ср087-1).



Слика ср087-1: Магнетит (mt) у кварцу (q) са млађом анхидритском жицом (anh) која пресеца кварц, одбијена светлост.



Слика ср087-8: Пирит (py), халкопирит (cru) и магнетит (mt) депоновани у истој фази у кварцу (q), одбијена светлост.

Препарат број: CP088

Бушотина: FMTC1327 Дубина: 1195,5m

Макроскопски опис: Узорак садржи зелена нагомилања хлорита у андезиту са анхидритом у зони изнад порфирске минерализације. Узет је ради проучавања минералног састава.

Састав узорка:

Халкопирит 4%

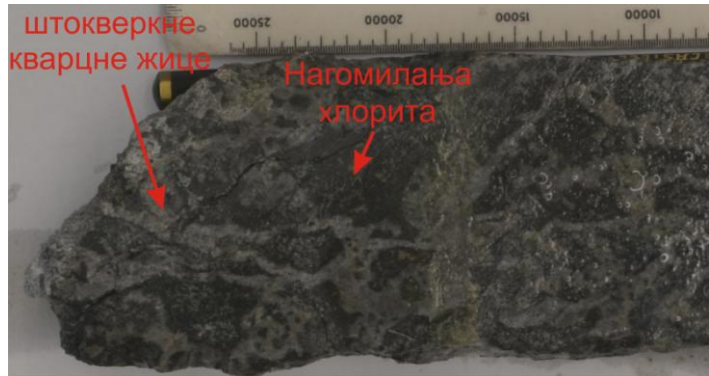
Магнетит 2%

Хематит 2%

Пирит 1%

Ретки:

Телурид паладијума



Нерудни минерали: Кварц покрива цео препарат. Хлорит и анхидрит су у зеленим зонама око кварцних жица.

Халкопирит: Зрна неправилног облика, увек се јављају близу зрна магнетита. Обично садрже мала зрна пирита (cp088-5, cp088-6).

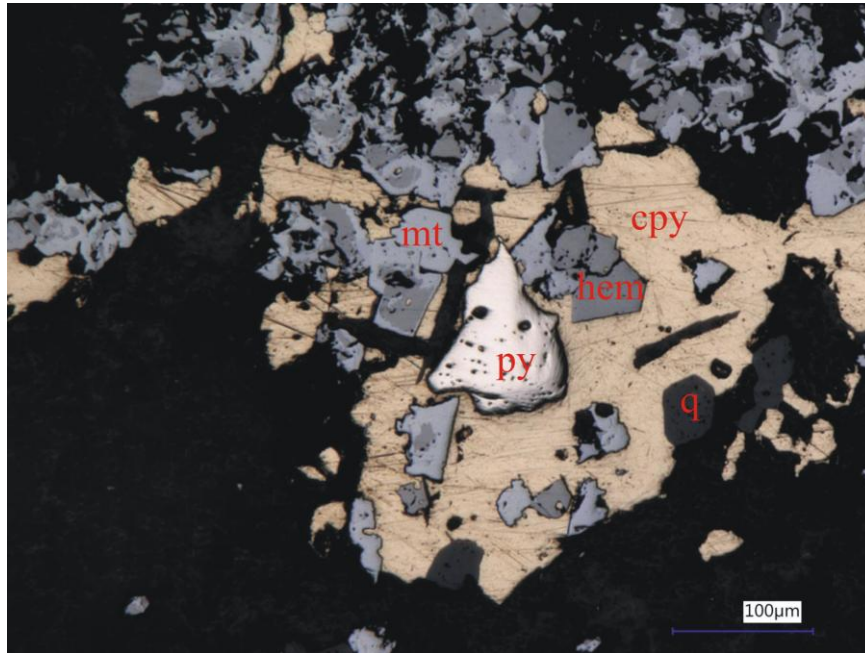
Магнетит: Еухедрални кристали са хематитом по ободу зрна (мартитизација?) (cp088-5). Такође се јавља у облику малих игличастих кристала (cp088-6).

Хематит: Често се јавља по ободним деловима зрна магнетита, такође у виду малих издвојених кристала (cp088-5).

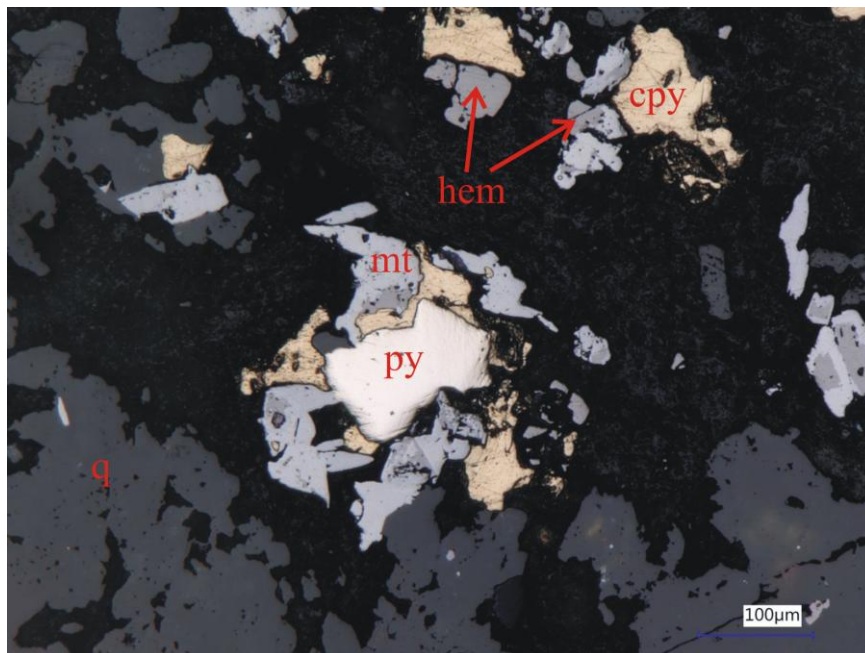
Пирит: Мала зрна, унутар или поред зрна халкопирита. Издвојена зрна често садрже мала светла зрна халкопирита (cp088-5).

Телурид паладијума: Веома мало зрно (мање од једног микрона) на рубу зрна пирита. Идентификован на SEM уређају (cp088-1p).

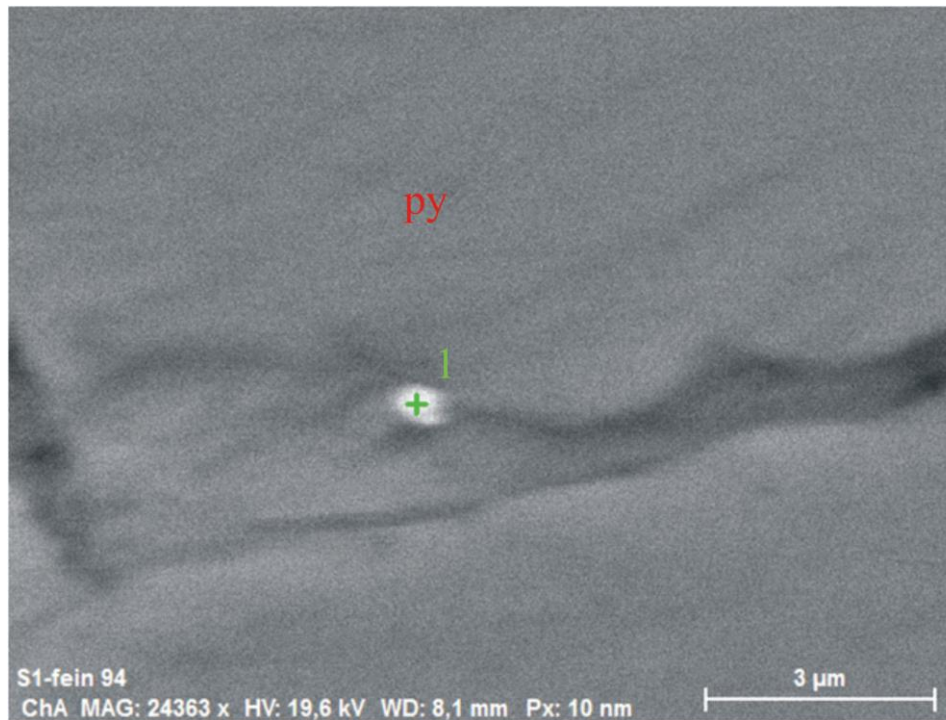
Минералне парагенезе и редослед депоновања: У овом узорку су прво депоноване кварцне жице. Рудни минерали су депоновани у истој фази као и хлорит и анхидрит, око зрна раног кварца (cp088-6).



Слика ср088-5: Магнетит (mt), халкопирит (cpy) и пирит (py) депоновани у истој фази у жици, одбијена светлост.



Слика ср088-6: Прорастања пирита (py), халкопирита (cpy) и магнетита (mt) депоновани у истој фази у пукотинама око раног кварца (q), одбијена светлост.



Слика ср088-1р: Веома мало зрно (мање од 1 микрона) телурида паладијума у пириту (py). BSE слика направљена на SEM уређају. Прецизан састав зрна се не може одредити због његове мале величине, стога анализа укључује и околни пирит.

Измерени састав зрна на SEM уређају је приказан у следећој табели:

Табела 4: Састав тачке 1- телурид паладијума:

Елемент	Масени проценат	Атомски проценат
S	24,74	42,74
Fe	39,94	39,62
Cu	4,43	3,87
Pd	4,17	2,17
Te	26,72	11,60
Укупно	73,28	88,40

Препарат број: СР097

Бушотина: FMTC1328 Дубина: 582,5m

Макроскопски опис: Узорак садржи широку сулфидну жицу са кристалима пирита у шупљинама и серицитску алтерацију око жице. Узет је ради одређивања састава жице.

Састав узорка:

Маркасит 70%

Ретки:

Сфалерит

Пирит

Рутил



Нерудни минерали: Узорак садржи класте шупљикаве силиције са местимичним алунитом. Маркасит пресецају млађе баритске жице.

Маркасит: Доминантан минерал у препарату. Јавља се углавном у виду великих издужених кристала са местимичним плеохроизмом. Маркасит запуњава пукотине око класти шупљикаве силиције (ср097-3).

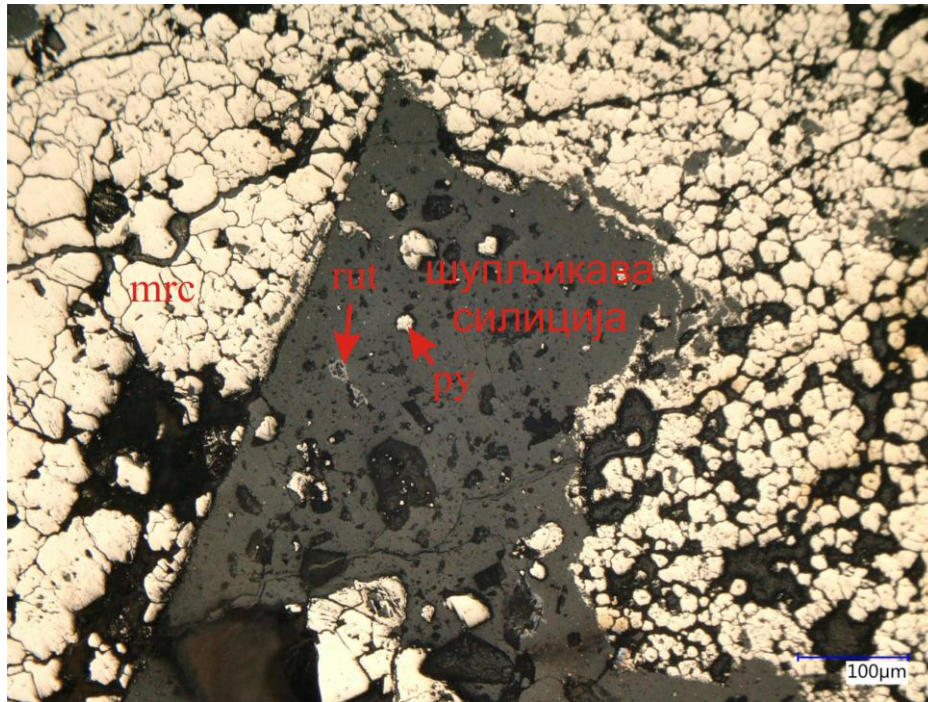
Сфалерит: Мала сива округла зрна у маркаситу (ср097-6).

Пирит: Јавља се у виду малих еухедралних коцкастих кристала на којима се примећују зоне раста. Највише се налази унутар класти шупљикаве силиције (ср097-7).

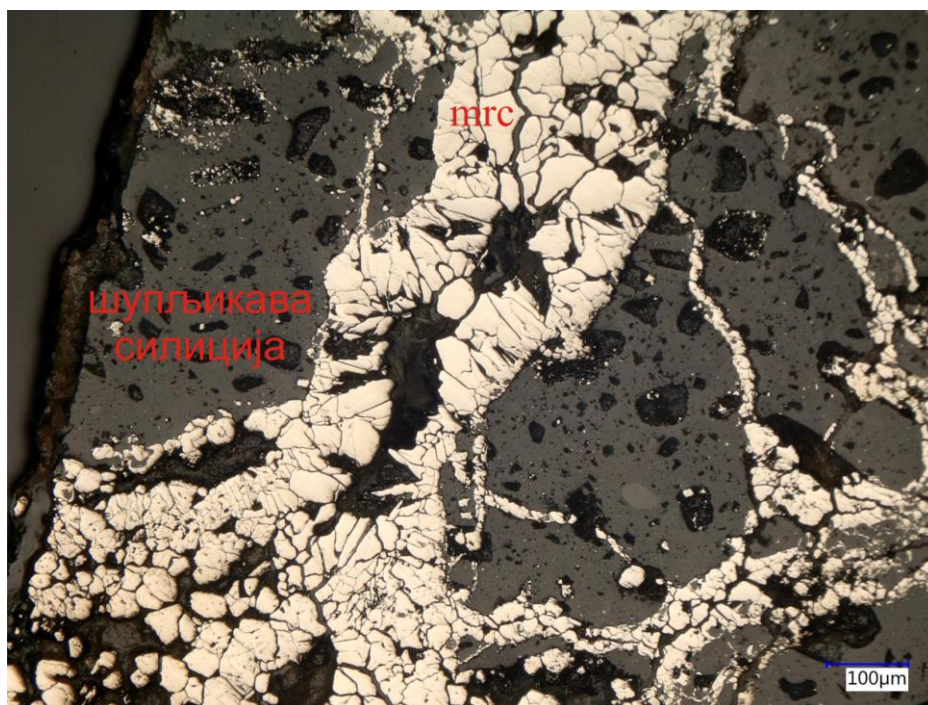
Рутил: Ретка мала зрна, обично мања од 50 микрона која се јављају заједно са пиритом у кластима шупљикаве силиције (ср097-1).

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Узорак указује на најмање три фазе депоновања:

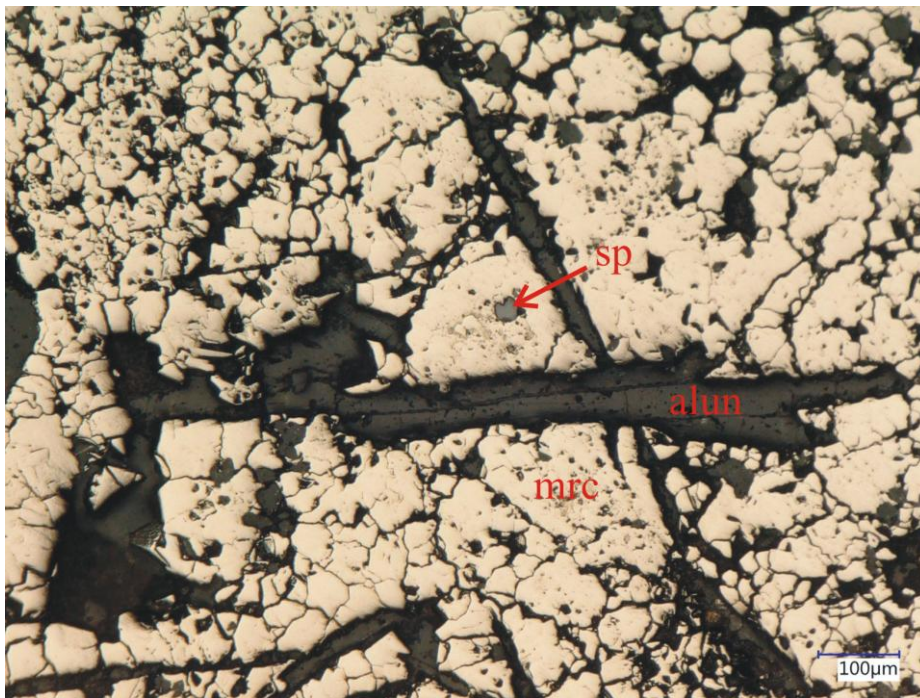
- 1) Шупљикава силиција са пиритом и рутилом (ср097-1).
- 2) Маркаситска жица са сфалеритом (ср097-6).
- 3) Млађе баритске жице у пукотинама у маркаситу.



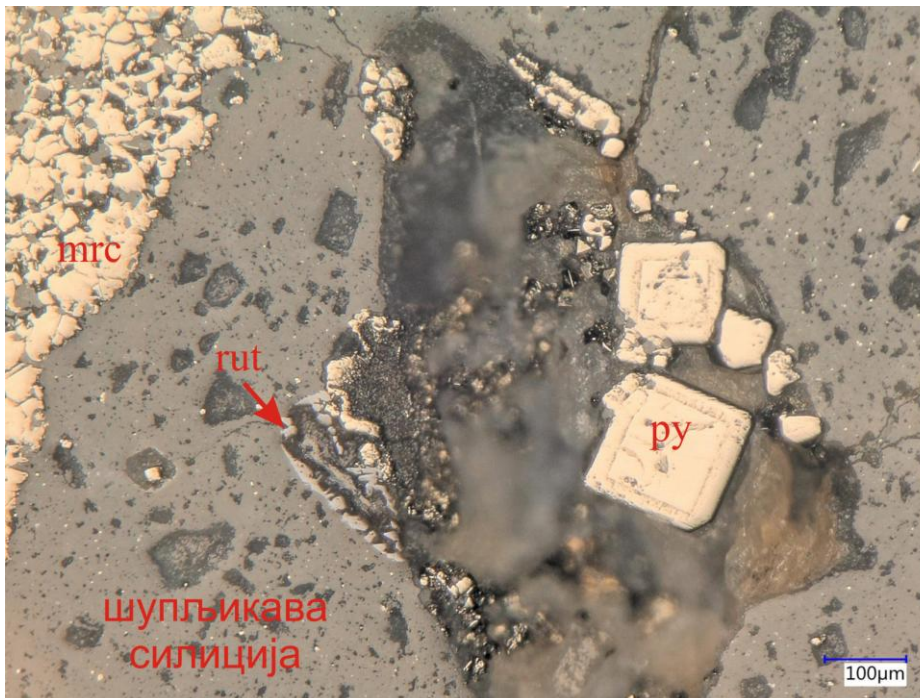
Слика ср097-1: Класти шупљикаве силиције са пиритом (py) и рутилом (rut), маркаситска жица (mrc) је депонована око класта, одбијена светлост.



Слика ср097-3: Маркаситска жица (mrc) пресеца шупљикаву силицију и запуњава празан простор између класта, одбијена светлост.



Слика ср097-6: Дугуљасти кристали алунита (alun) и мали округли кристали сфалерита (sp) у маркаситу (mrc), одбијена светлост.



Слика ср097-7: Еухедранли коцкасти кристали пирита (py) и игличасти кристали рутила (rut) у празнини у шупљикавој силицији, одбијена светлост.

Препарат број: СР115

Бушотина: FMTC1328 Дубина: 1312,8m

Макроскопски опис: Узорак садржи сулфидну жицу са пиритом и ковелином у п1 диориту. Узет је ради одређивања састава жице.

Састав узорка:

Пирит 35%

Ковелин 25%

Ретки:

Рутил



Нерудни минерали: Доминантан нерудни минерал је анхидрит. Такође су присутна зрна кварца са пиритом која су вероватно настала пре анхидрита (ср115-2).

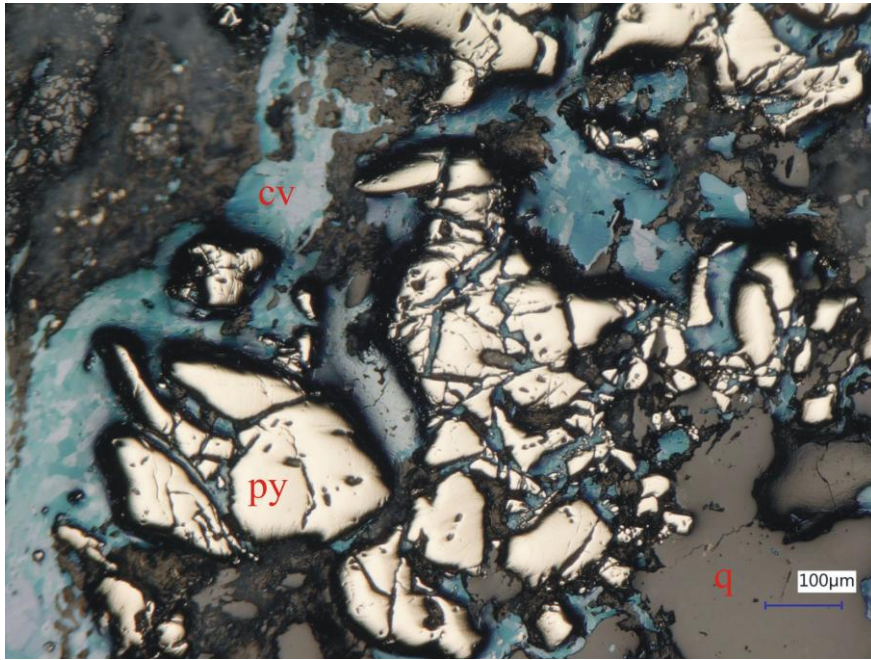
Пирит: Јавља се у виду правилних испуцалих зрна. Вероватно је већина пирита повезана са кварцном фазом, пошто се анхидрит углавном јавља око зрна пирита (ср115-2).

Ковелин: Јавља се у виду веома издужених зрна која запуњавају пукотине око кварца и пирита (ср115-8). Сва зрна ковелина су везана за анхидритске жице.

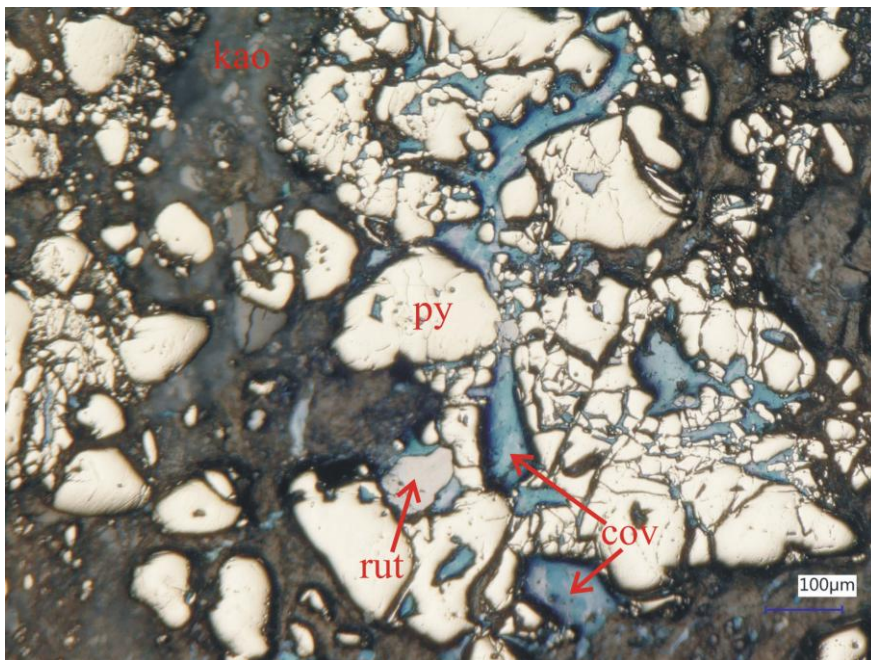
Рутил: Ретка мала зрна, углавном у кварцној фази (ср115-8).

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Могу се издвојити две фазе депоновања:

- 1) Кварцна фаза са пиритом и рутилом.
- 2) Анхидритска жица са ковелином.



Слика ср115-2: Пирит (py) и ковелин (cov) око зрна раног кварца (q), одбијена светлост.



Слика ср115-8: Ковелин (cov) запуњава пукотине у пириту (py) и рутилу (rut), око жице се јавља алтерација са каолинитом (kao), одбијена светлост.

Препарат број: СР117

Бушотина: FMTC1328 Дубина: 1387,8m

Макроскопски опис: Узорак садржи сулфидну жицу са пиритом и ковелином и кварцну жицу у п1 диориту. Узет је ради одређивања састава жице.

Састав узорка:

Пирит 30%

Ковелин 25%

Ретки:

Рутил

Халкопирит

Борнит



Нерудни минерали: Доминантан нерудни минерал је анхидрит. Такође су присутна зрна кварца која су вероватно настала пре анхидрита (ср117-5).

Пирит: Крупна хипидиоморфна испуцала зрна, углавном у анхидритској жици, али такође у виду ситних зрна у кварцу (ср117-5, ср117-6).

Ковелин: Јавља се у виду веома великих издужених зрна у анхидритској жици. Вероватно је ковелин везан за анхидритску фазу, пошто запуњава пукотине у раном пириту и кварцу (ср117-3).

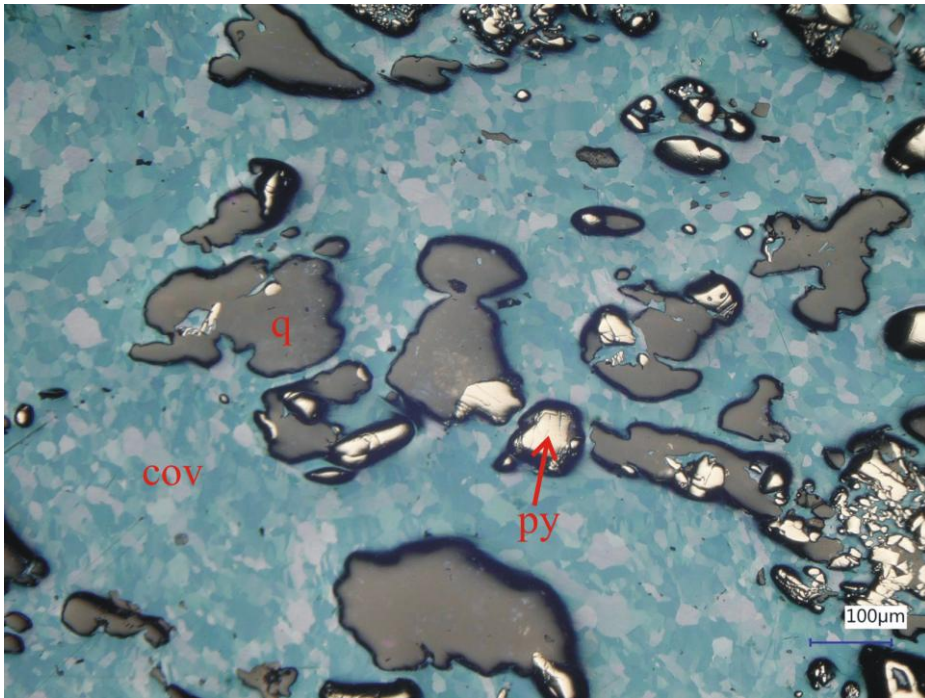
Рутил: Велики број веома малих зрна, углавном у кварцним зрнима.

Халкопирит: Веома мала округла зрна унутар већих зрна пирита (ср117-6).

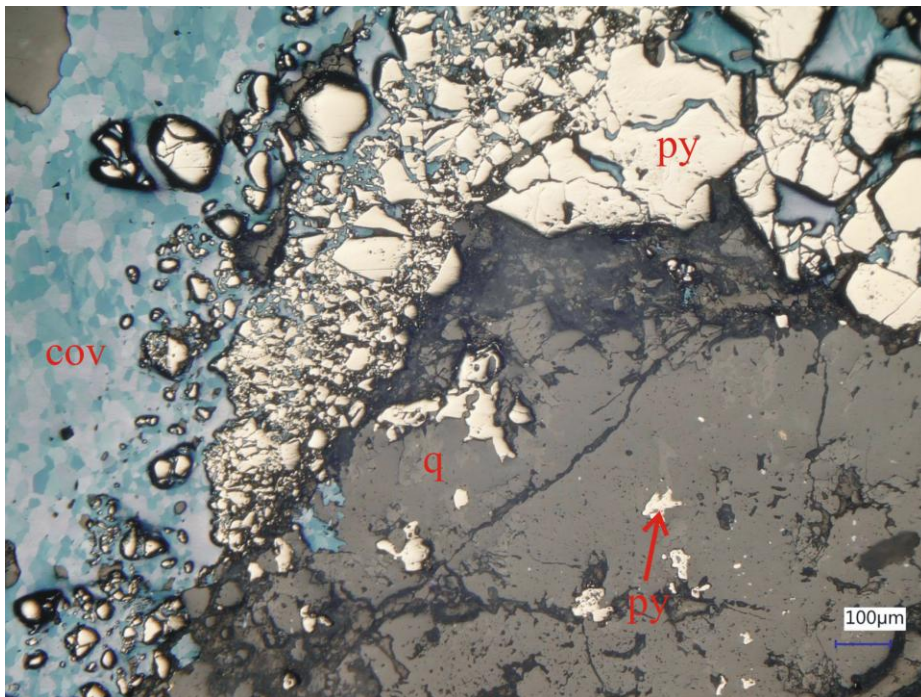
Енаргит: Веома мала округла зрна у зрнима пирита (ср117-6).

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Могу се издвојити две фазе депоновања:

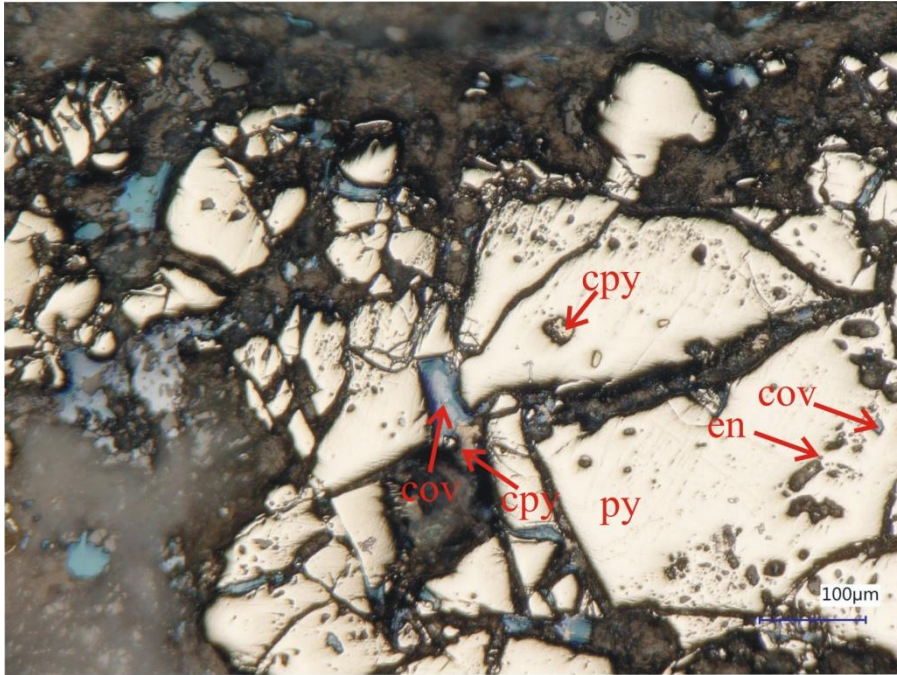
- 1) Кварцна фазе са халкопиритом и рутилом (ср117-5).
- 2) Анхидритска жица са ковелином и пиритом (ср117-7А).



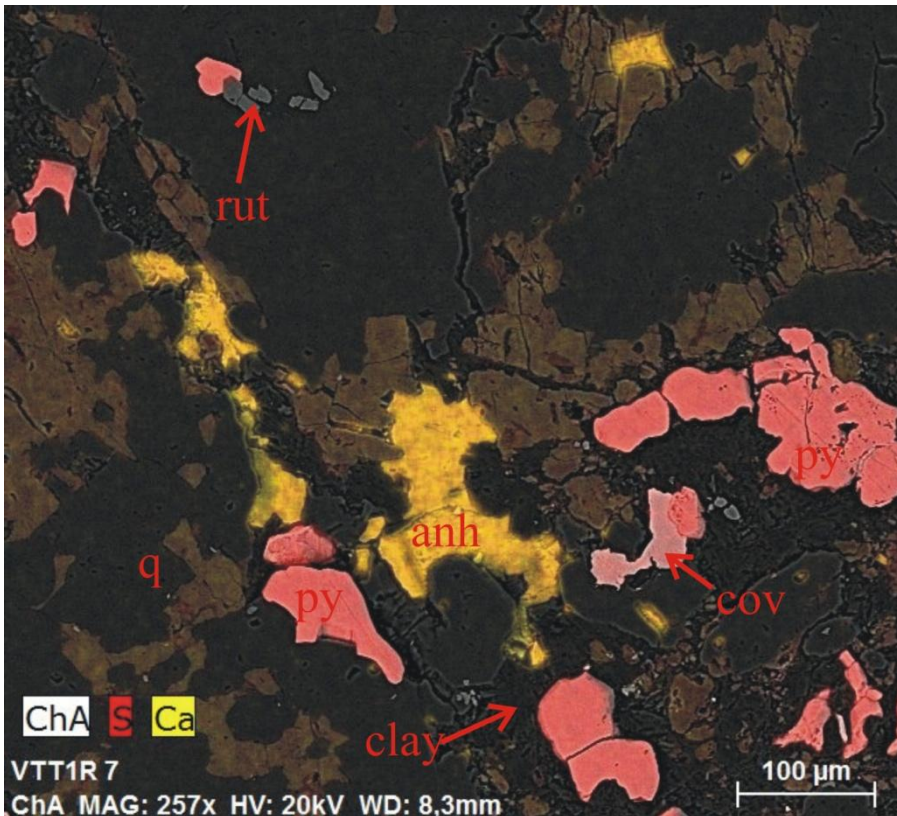
Слика ср117-3: Ковелинска жица (cov) око зрна раног кварца (q) и пирита (py), одбијена светлост.



Слика ср117-5: Жица са ковелином (cov) и пиритом (py) око зрна раног кварца (q) са пиритом (py), одбијена светлост.



Слика ср117-6: Мала зрна халкопирита (cru), ковелина (cov) и енаргита (en) у зрну пирита (py). Ковелин (cov) са халкопиритом (cru) је депонован у пукотинама у пириту, одбијена светлост.



Слика ср117-7А: Комбинована мапа елемената за сумпор (S-црвено) и калцијум (Ca-жуто), анхидрит (anh), пирит (py) и ковелин (cov) око зрна раног кварца (q) са рутилом (rut), сликано на SEM уређају.

Препарат број: СР119

Бушотина: FMTC1328 Дубина: 1442m

Макроскопски опис: Узорак садржи широку жицу љубичастог анхидрита са мноштвом кристала пирита. Узет је ради проучавања састава жице.

Састав узорка:

Пирит 20%

Ретки:

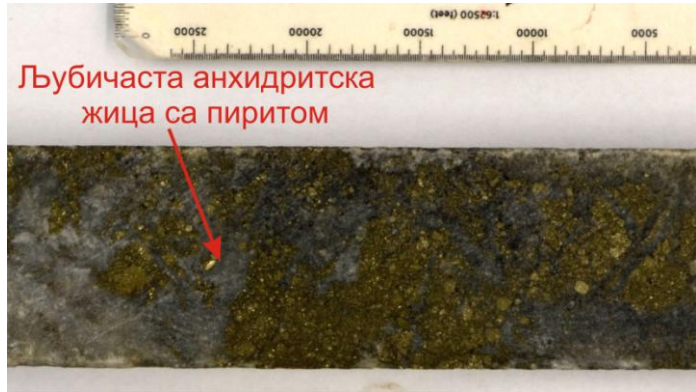
Халкопирит

Борнит

Ковелин

Халкозин

Рутил



Нерудни минерали: Анхидрит покрива цео препарат. Такође су присутна ретка мала зрна кварца у анхидриту.

Пирит: Доминантан рудни минерал у овој жици. Јавља се у виду великих порозних зрна (величине до неколико центиметара) са малим уклопљеним зрнима халкопирита и ковелина (слика 119-1, 119-3).

Халкопирит: Мала округла зрна, величине око 10 микрона, уклопљена у већим зрнима пирита (слика 119-1).

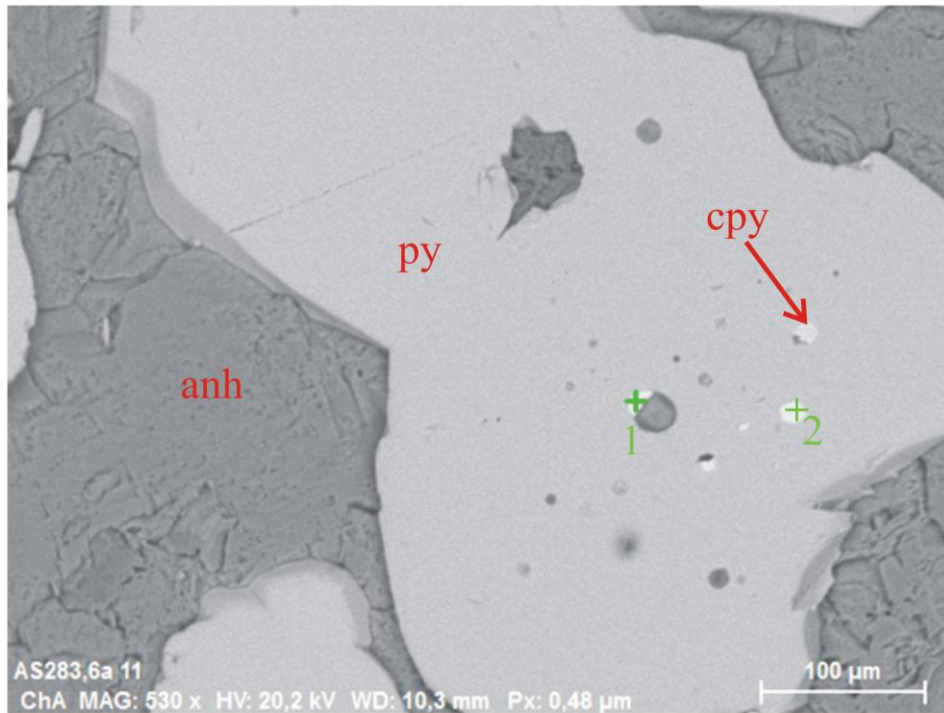
Ковелин: Јавља се у виду издужених зрна, величине до 200 микрона у порама у пириту (слика 119-3).

Борнит: Веома мала браон зрна у порама већих зрна пирита, идентификована на SEM уређају (слика 119-1).

Халкозин: Веома мала зрна у порама већих зрна пирита, идентификована на SEM уређају (слика 119-1).

Рутил: Ретка мала сива зрна у пириту (слика 119-3).

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Сви рудни минерали у овом препарату су депоновани у истој фази као и анхидритска жица.



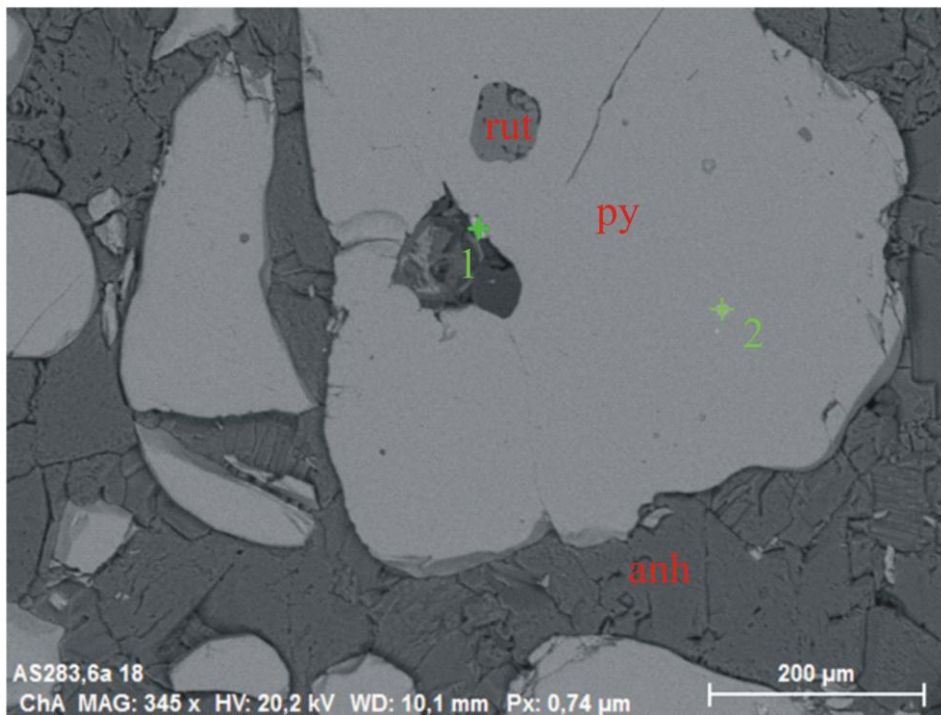
Слика ср119-1: Пирит са уклопљеним зрнима халкопирита (cру), борнита и халкозина у анхидритској жици (anh), BSE слика направљена на SEM уређају.

SEM мерење на тачки 1 (халкозин):

Елемент	Масени проценат	Атомски проценат
O	3,15	9,17
Al	2,94	5,07
S	23,04	33,44
Fe	4,01	3,34
Cu	66,87	48,98
Укупно	100%	100%

SEM мерење на тачки 2 (борнит):

Елемент	Масени проценат	Атомски проценат
O	1,83	5,46
Al	1,07	1,89
S	25,28	37,55
Fe	12,36	10,54
Cu	59,45	44,56
Укупно	100%	100%



Слика ср119-3: Пирит са зрнима рутила (rut), борнита и ковелина у анхидритских жици (anh), BSE слика направљена на SEM уређају.

SEM мерење на тачки 1 (ковелин):

Елемент	Масени проценат	Атомски проценат
O	1,54	4,38
S	35,02	49,83
Fe	2,35	1,92
Cu	61,09	43,86
Укупно	100%	100%

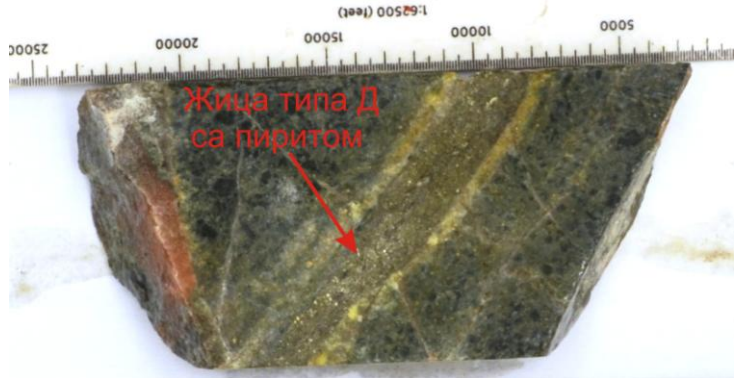
SEM мерење на тачки 2 (борнит):

Елемент	Масени проценат	Атомски проценат
O	0,12	0,34
Al	0,13	0,23
S	30,39	45,39
Fe	16,91	14,50
Cu	52,46	39,54
Укупно	100%	100%

Препарат број: СР122

Бушотина: FMTC1328 Дубина: 1581,5m

Макроскопски опис: Узорак садржи андезит алтерисан хлоритизацијом са сулфидном жицом типа Д и наранџастим анхидритом. Узет је ради одређивања састава жице типа Д.



Састав узорка:

Пирит 20%

Халкопирит 1%

Ретки:

Борнит

Рутил

Нерудни минерали: Кварц покрива део препарат. Млађи анхидрит се јавља у пукотинама око раног кварца и пирита (ср122-3).

Пирит: Доминантан минерал у овој жици. Јавља се у виду великих кристала (већих од 100 микрона), обично са пукотинама и садржи уклопљена мања зрна халкопирита. Вероватно је депонован после кварца, јер запуњава пукотине у зрнима кварца.

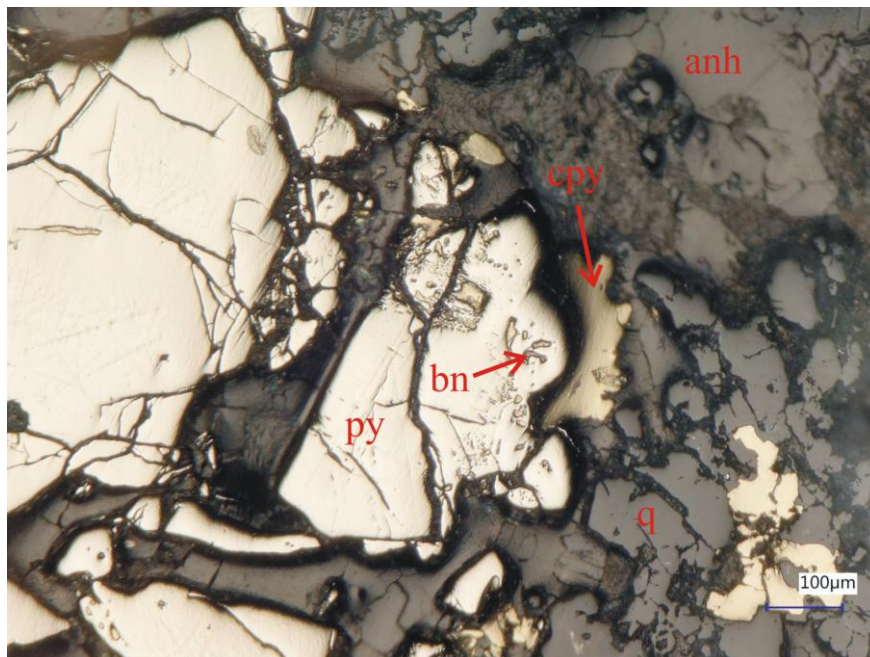
Халкопирит: У виду веома малих кристала унутар или поред већих зрна пирита. Местимично запуњава пукотине у зрнима пирита (ср122-1).

Борнит: Веома мала зрна неправилног облика. Углавном се јављају заједно са халкопиритом у већим зрнима пирита (ср122-1).

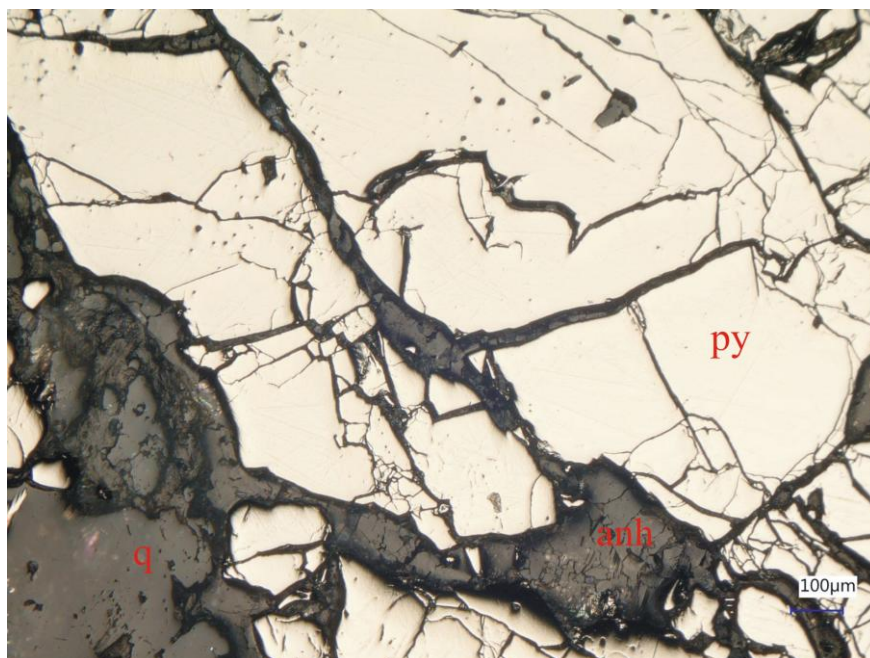
Рутил: Веома мала зрна, разбацана у алтерисаној стени око жице.

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Могу се издвојити три фазе депоновања:

- 1) Алтерација стене током које је депонован кварц (силификација).
- 2) Депоновање пирита са халкопиритом (ср122-1).
- 3) Анхидрит који запуњава пукотине (ср122-3).



Слика ср122-1: Пирит са зрнима халкопирита (cpy) и борнита (bn) у пукотинама око зрна раног кварца (q), одбијена светлост.



Слика ср122-3: Млађи анхидрит (anh) запуњава пукотине у пириту (py) и кварцу (q), одбијена светлост.

Препарат број: СР126

Бушотина: ТС160125 Дубина: 719,8m

Макроскопски опис: Узорак садржи андезит изнад масивних сулфида са жицом колоформног пирита. Узет је ради проучавања састава жице.

Састав узорка:

Пирит 10%

Рутил 1%

Ретки:

Халкопирит



Нерудни минерали: Највећи део узорка представља андезит алтерисан аргилитском алтерацијом. Присутно је много силиције и алунита који замењују плагиокласе (ср126-2).

Пирит: Пирит је доминантан минерал у жици, али је такође присутан у виду малих зрна разбацаних широм препарата. Пирит се у жици јавља у виду зрна неправилног облика, ретко еухедралних или колоформних (ср126-7).

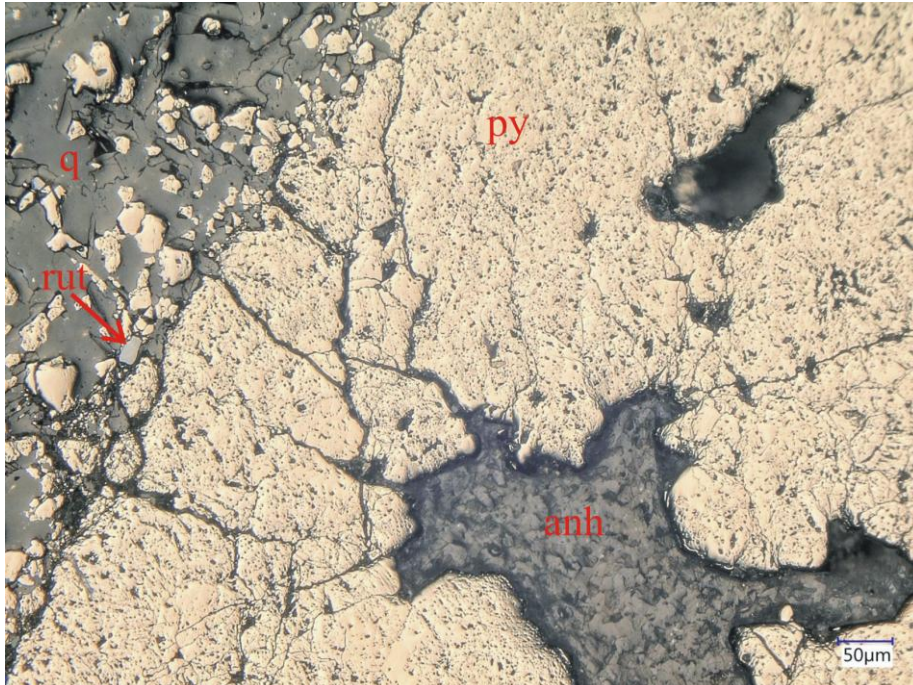
Рутил: Јавља се у виду сивих еухедралних зрна разбацаних по алтерисаној стени широм препарата. Нека зрна су такође део пиритске жице (ср126-7).

Халкопирит: Јавља се у виду веома малих зрна која су у већим зрнима пирита или поред њих.

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Пиритска жица је настала након алтерације стене кварцом и алунитом (напредна аргилитска алтерација). Сви минерали у жици (пирит, халкопирит и рутил) су депоновани у истој фази. Такође је присутна и млађа анхидритска жица која запуњава пукотине између великих зрна пирита (ср126-7).



Слика ср126-2: Кристали алунита (alun), вероватно на месту излуженог зрна плагиокласа, док су пирит (py) и рутил (rut) у кварцу око овог зрна, одбијена светлост.



Слика ср126-7: Анхидрит (anh) у пукотинама у великим зрнима пирита (py), са рутилом (rut), одбијена светлост.

Препарат број: СР127

Бушотина: ТС160125 Дубина: 729,2m

Макроскопски опис: Узорак садржи широку пиритску жицу са кварцно-серицитском алтерацијом око жице. Узет је ради проучавања састава жице.



Састав узорка:

Пирит 10%

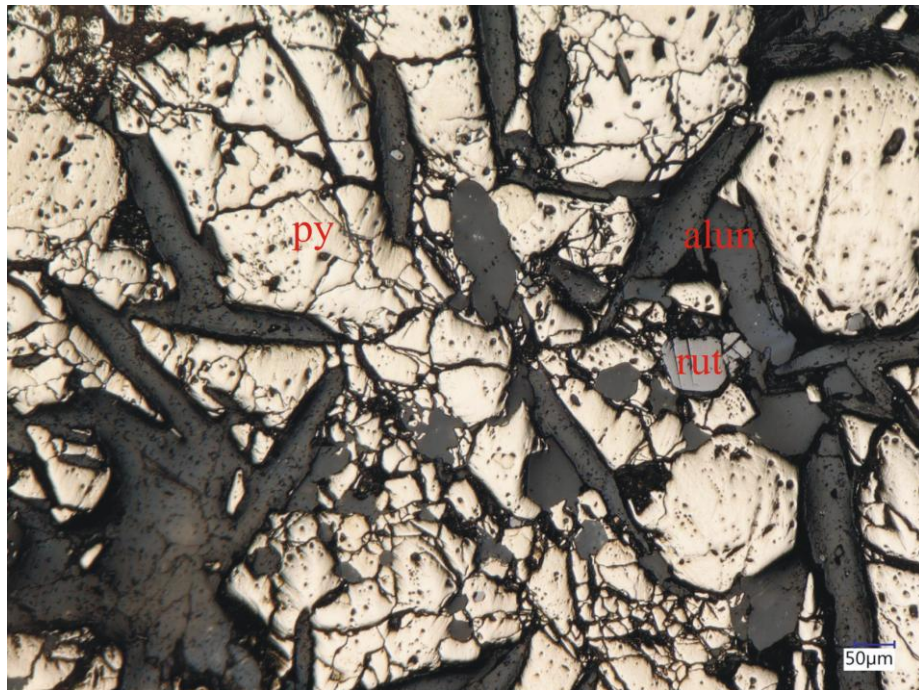
Рутил 2%

Нерудни минерали: Нерудни минерали у овој жици су кварц и алунит. Алунит се јавља у виду правилних издужених кристала и вероватно је депонован након кварца.

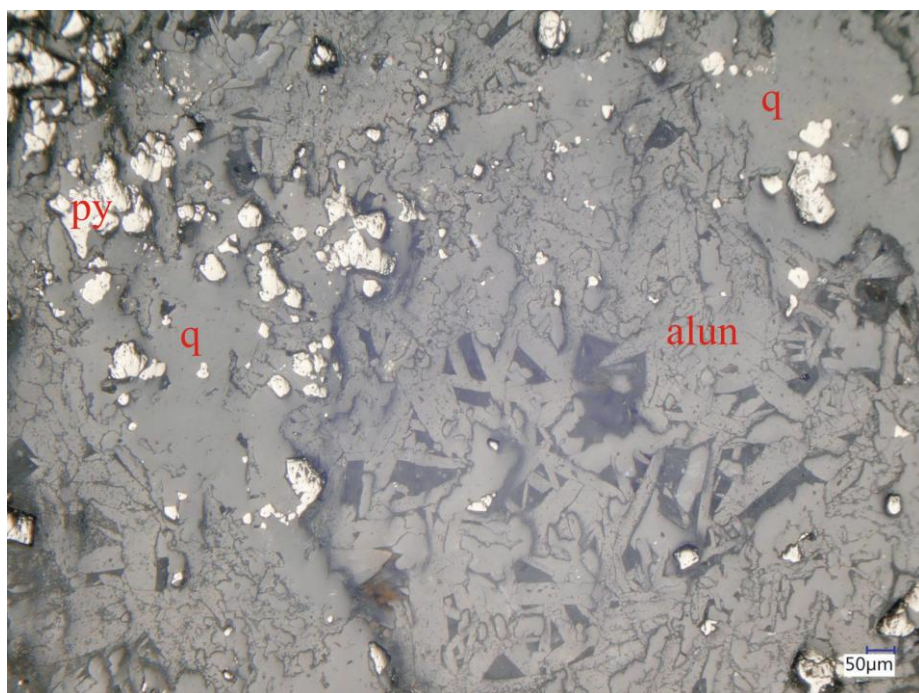
Пирит: У виду релативно малих кристала, величине између 50 и 100 микрона. Присутан у виду импрегнација у целом препарату, највише зрна је депоновано по рубу кварцно-алунитске жице (ср127-2).

Рутил: Мала зрна, величине између 20 и 40 микрона широм препарата. Већина зрна је депоновано по рубу жице, близу зрна пирита (ср127-2).

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Узорак је сличан раније поменутиим кварцно-алунитским жицама (ср034). Пирит и рутил су депоновани заједно са кварцно-алунитском жицом. Алунит је вероватно депонован касније пошто запуњава пукотине у кварцу и пириту (ср127-6).



Слика ср127-2: Дугуљасти кристали алуниита (alun) у пукотинама око зрна пирита (py) и рутила (rut), одбијена светлост.



Слика ср127-6: Алуниит (alun) око зрна раног кварца (q) са пиритом (py), одбијена светлост.

Препарат број: СР137

Бушотина: ТС160125 Дубина: 1491m

Макроскопски опис: Узорак садржи магнетитску жицу са пиритом у п1 диориту. Узет је ради одређивања састава магнетитске жице.

Састав узорка:

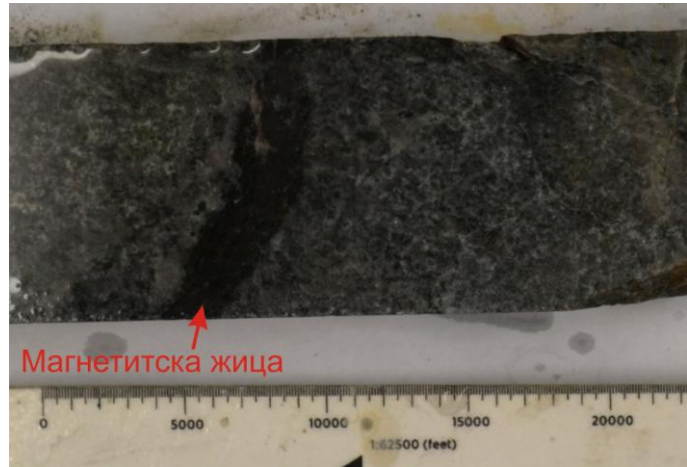
Магнетит 30%

Халкопирит 6%

Пирит 1%

Ретки:

Пиротин



Нерудни минерали: Доминантан нерудни минерал је кварц настао дејством силификације. Овај узорак такође садржи део млађе наранџасте анхидритске жице.

Магнетит: Доминантан минерал у овој жици. Присутан је у виду великих повезаних зрна и у виду малих белих призматичних кристала са високом рефлексијом у пукотинама око кварца. Ови призматични кристали обично нису дужи од 100 микрона (ср137-3).

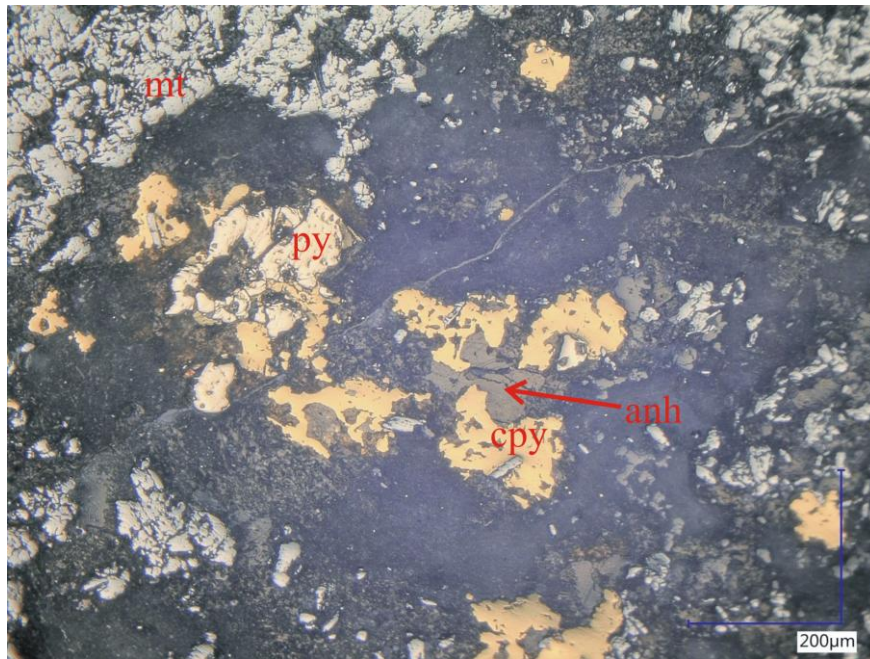
Халкопирит: Мала зрна неправилног облика, углавном мања од 100 микрона у пречнику. Већина халкопирита се јавља у неправилним зрнима близу зрна магнетита, али је халкопирит такође присутан и у виду ситних зрна у пукотинама у кварцу (ср137-1).

Пирит: Мала зрна неправилног облика, обично око 50 микрона у пречнику. Увек се јављају близу зрна халкопирита (ср137-1).

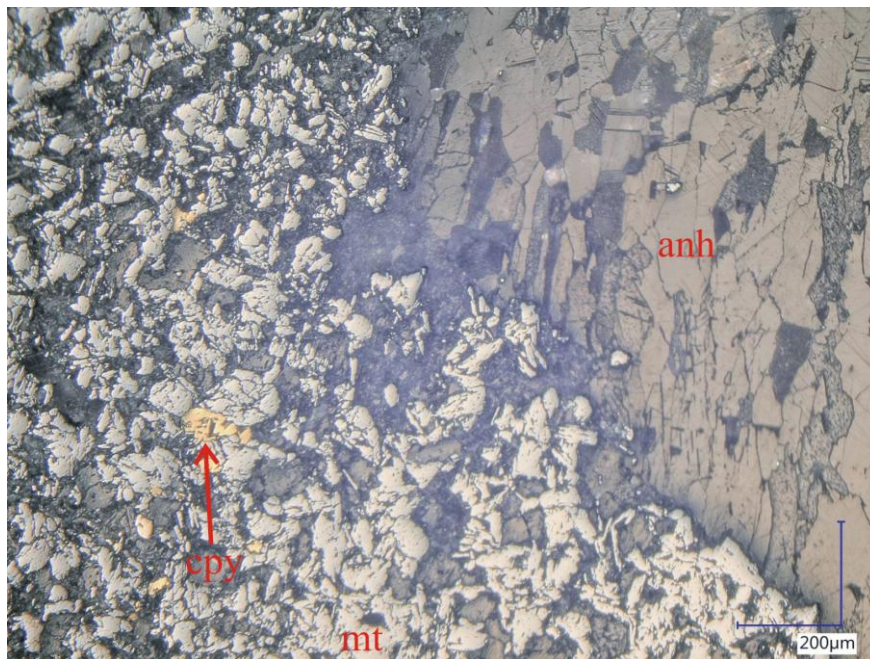
Пиротин: Мала розе зрна, углавном мања од 50 микрона у пречнику. Обично су уклопљена у већим зрнима халкопирита.

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Могу се издвојити 3 фазе депоновања:

- 1) Силификација диорита.
- 2) Магнетитска жица са халкопиритом, пиритом и пиротином (ср137-3).
- 3) Млађа наранџаста анхидритска жица (ср137-3).



Слика ср137-1: Пирит (py) и халкопирит (sph) у алтерисаној стени поред магнетитске жице (mt), анхидрит (anh) запуњава пукотине око осталих минерала, одбијена светлост.



Слика ср137-3: Контактна зона магнетитске жице (mt) са халкопиритом (sph) и млађе анхидритске жице (anh), одбијена светлост.

Препарат број: СР140

Бушотина: ТС160125 Дубина: 1584,7m

Макроскопски опис: Узорак садржи широку магнетитску жицу и љубичасту анхидритску жицу у п1 диориту. Узет је ради одређивања састава жице.

Састав узорка:

Магнетит 70%

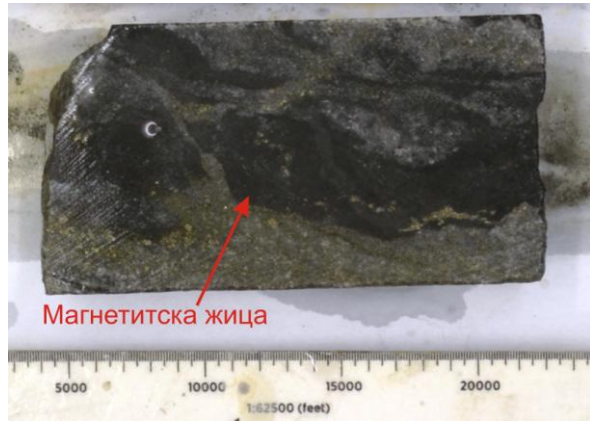
Халкопирит 2%

Пирит 1%

Хематит 1%

Ретки:

Пиротин



Нерудни минерали: Већина овог препарата је прекривена рудним минералима, анхидрит је једини нерудни минерал.

Магнетит: Цео препарат се састоји од кристала магнетита који се углавном јављају у виду хипидоморфних зрна, величине од 20-100 микрона. Обично се хематит јавља по ободу магнетитских кристала (ср140-1).

Халкопирит: Углавном се јавља у виду зрна неправилног облика пречника око 50 микрона. Ова зрна су депонована по рубу магнетитске жице и такође у пукотинама око магнетитских зрна (ср140-1).

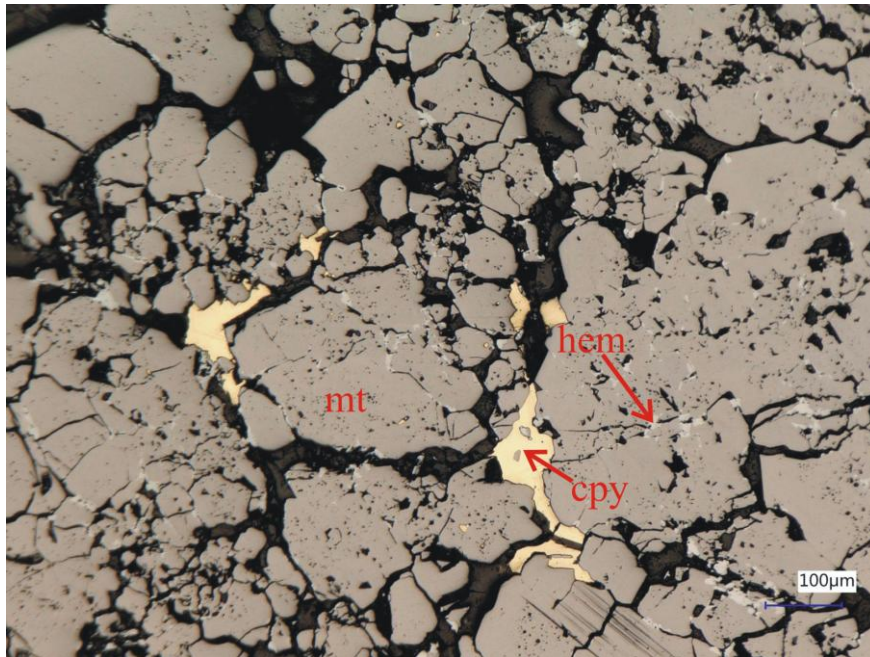
Пирит: Углавном у виду великих зрна по рубу магнетитске жице заједно са халкопиритом. Ређе се јавља у виду малих зрна у пукотинама око зрна магнетита (ср140-5).

Хематит: Присутан свуда у магнетитској жици, по рубу или око пукотина у зрнима магнетита. Вероватно настао процесом мартитизације (ср140-1).

Пиротин: У виду веома малих зрна уклопљених у већим зрнима халкопирита (ср140-5).

Минералне парагенезе и редослед депоновања: Издвајају се две фазе депоновања:

- 1) Магнетитска жица са хематититском алтерацијом (мартитизацијом) (ср140-1).
- 2) Пирит, халкопирит и пиротин (можда су део анхидритске жице) (ср140-5).



Слика ср140-1: Халкопирит (cру) запуњава пукотине око зрна магнетита (mt) који садржи сива нагомилања хематита (hem), одбијена светлост.



Слика ср140-5: Пирит (py) садржи уклопљена мала зрна халкопирита (cру) и пиротина (po), одбијена светлост.

Препарат број: СР142

Бушотина: ТС160125 Дубина: 1644,5m

Макроскопски опис: Узорак садржи широку кварцну жицу са пиритом и магнетитом. Узет је ради проучавања састава жице.

Састав узорка:

Магнетит 10%

Халкопирит 5%

Пирит 4%

Хематит 3%

Ретки:

Монацит



Нерудни минерали: Кварц је доминантан нерудни минерал у овом узорку. Такође се јављају анхидрит и барит у пукотинама у кварцу.

Магнетит: Јавља се у виду зрна неправилног облика, углавном у средишњим деловима жице. У већини случајева, хематит се јавља по ободу зрна магнетита (ср142-2). Велика магнетитска зрна често садрже уклопљена мала зрна пирита и халкопирита. Поред великих зрна, магнетит се јавља и у виду малих игличастих кристала.

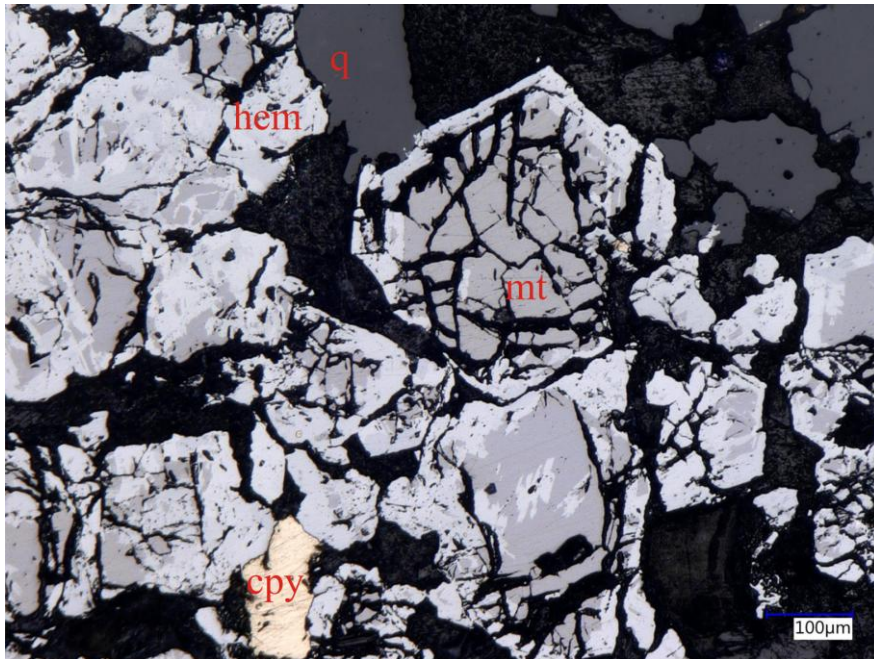
Халкопирит: Повезана зрна неправилног облика, која често садрже уклопљена мала зрна пирита (ср142-2).

Пирит: Неправилна зрна са доста пукотина, које су обично испуњене халкопиритом. Пирит се увек јавља у истој фази као и халкопирит. Могуће је да су нека од ових зрна заправо пиротин, али их је тешко разликовати због величине зрна.

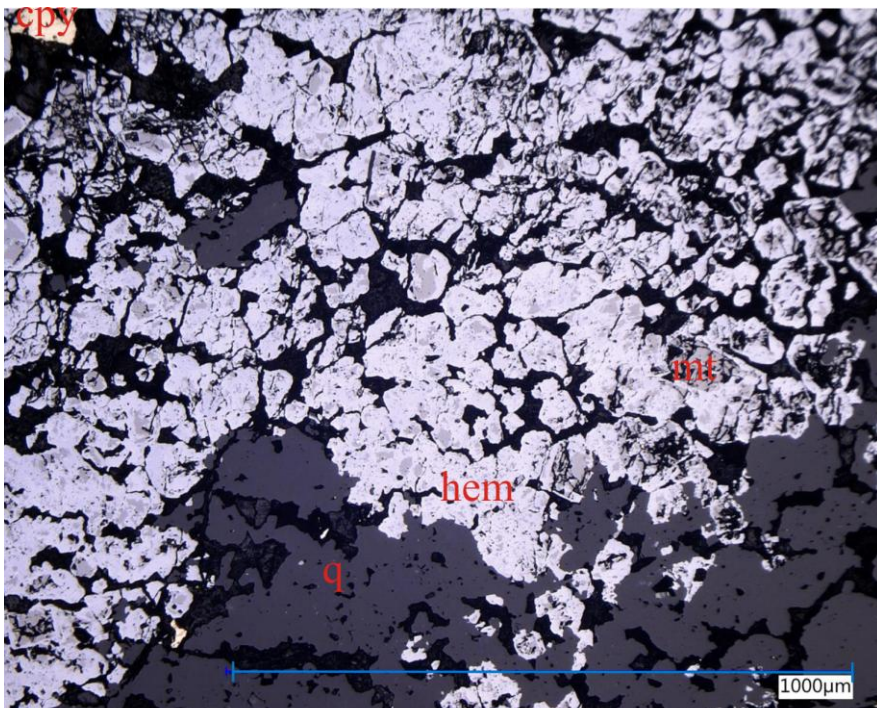
Хематит: У виду светлосивих наслага по ободу магнетитских кристала (мартитизација?). Хематит углавном прати облик кристала магнетита (ср142-2).

Монацит: Веома мала зрна у кварцној жици. Идентификована на SEM уређају (ср142-6m).

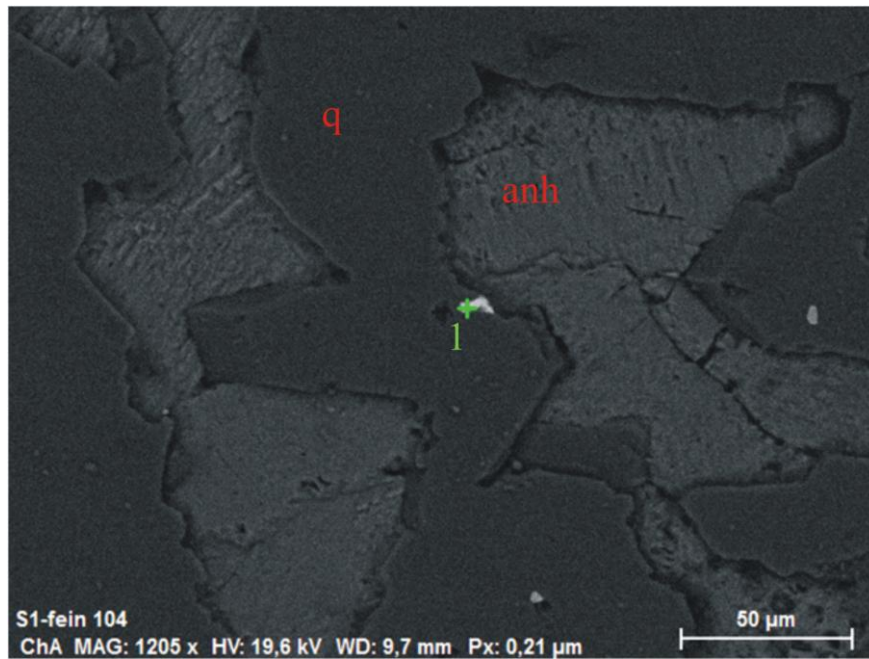
Минералне парагенезе и редослед депоновања: Овај узорак указује да је пре депоновања минерализације дошло до алтерисања диорита силификацијом. Сви рудни минерали су депоновани у истој фази у кварцно-магнетитској жици, око зрна раног кварца (ср142-6).



Слика ср142-2: Магнетит (mt) са сивим нагомилањима хематита (hem) по ободу зрна, депонован заједно са халкопиритом (cру) око зрна раног кварца (q), одбијена светлост.



Слика ср142-6: Магнетитска жица (mt) са хематитом (hem) и халкопиритом (cру) око зрна раног кварца (q), одбијена светлост.



Слика ср142-6т: Веома ситно зрно монацита на граници између зрна кварца (q) и анхидрита (anh), BSE слика направљена на SEM уређају.

Састав монацита је приказан у следећој табели:

Састав тачке 1- монацит:

Елемент	Масени проценат	Атомски проценат
O	31,15	67,27
Si	2,10	2,58
P	15,27	17,03
Ca	3,90	3,36
La	10,07	2,50
Ce	17,05	4,20
Th	20,48	3,05
Укупно	100,00	100,00

Прилог 6: Извештај о анализи флуидних инклузија рађеној на узорцима из доње зоне хидротермалног система Чукару Пеки

Извештај обухвата комбиноване резултате анализа препарата узорака микроскопским испитивањем у одбијеној и пропуштеној светлости. Процентуални садржај минерала у узорцима није мерен, већ је процењен на основу визуелног испитивања под микроскопом.

Сва микротермометријска мерења су извршена у лабораторији за флуидне инклузије Рударско-геолошког факултета у Београду.

Листа узорака по редоследу броја бушотине и дубини приказана је у следећој табели:

Бушотина	Дубина	Број узорка
FMTC1330	1080,5m	cp069
FMTC1327	1315,5m	cp086
	1447,2m	cp089
	1796,3m	cp096
FMTC1328	930,7m	cp105
	953,7m	cp106
	1116,8m	cp108
	1139,7m	cp110
	1348,4m	cp116
	1527m	cp121
	1610,5m	cp123
TC160125	1622,5m	cp141
	1693,2m	cp143

Препарат број: СР069

Бушотина: FMTC1330 Дубина: 1080,5m

Макроскопски опис: Узорак садржи широку љубичасту жицу са јасно видљивим кристалима анхидрита. Жица садржи пирит, ковелин и енаргит. Узорак је узет за одређивање састава жице и проучавање флуидних инклузија.

Састав узорка:

Пирит 7%

Ковелин 5%

Ретки:

Енаргит



Нерудни минерали: Анхидрит покрива цео препарат.

Пирит: Углавном се јавља у облику округлих зрна величине од 100 до 500 микрона. Ова зрна су често у близини зрна ковелина.

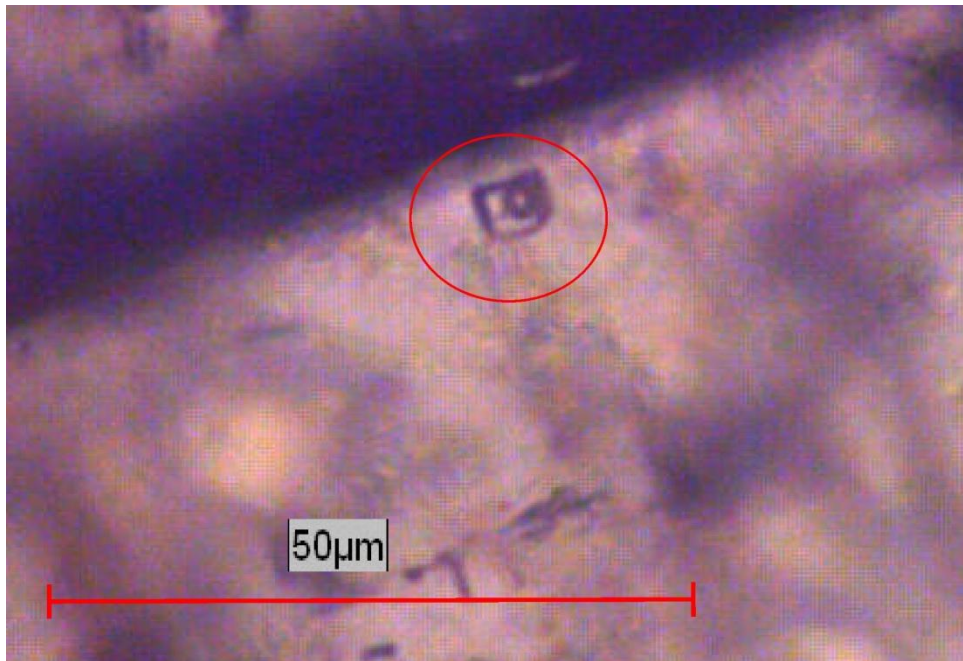
Ковелин: У облику зрна неправилног облика, углавном близу зрна пирита.

Енаргит: Веома мала сива зрна у близини већих зрна пирита.

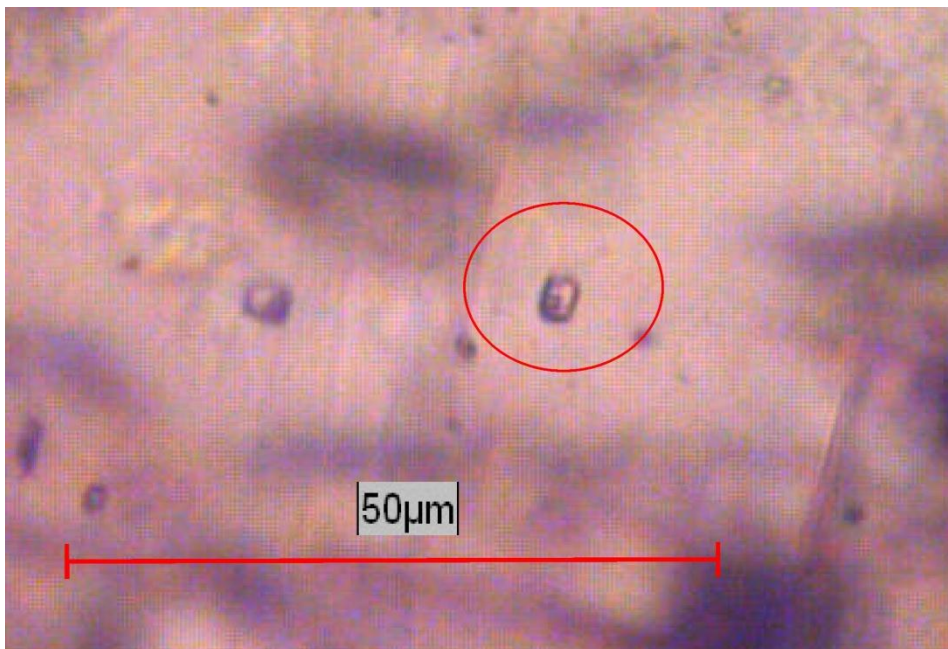
Минерална парагенеза и редослед депоновања: Сви рудни минерали су депоновани у истом стадијуму у анхидритској жици.

Анализа флуидних инклузија: Два типа инклузија се могу издвојити у овом узорку:

- 1) Инклузије богате паром (тип 5) које обично садрже мале црне кристале сулфида (слика 69-3).
- 2) Мале инклузије богате течношћу (тип 6) (слика 69-2).



Слика 69-3: Флуидне инклузије правоугаоног облика са кристалом сулфида (тип 5) у анхидриту, пропуштена светлост. Означена инклузија је хомогенизовала на температури од 299°C.



Слика 69-2: Веома мале раштркане инклузије богате течношћу (тип 6) у анхидриту, пропуштена светлост. Означена инклузија је хомогенизовала на температури од 204°C.

Препарат број: СР086

Бушотина: FMTC1327 Дубина: 1315,5m

Макроскопски опис: Узорак садржи кварцну жицу са пиритом у п2 диориту. Макроскопски ова жица личи на жицу типа Б, али мањак халкопирита указује на то да је ова жица вероватно типа А са каснијим сулфидним жицама.

Састав узорка:

Пирит 10%

Халкопирит 2%

Ретки:

Ковелин

Минерал браон боје (халкозин?)

Рутил



Нерудни минерали: Кварц је најзаступљенији минерал у овом препарату. Приметне су мање количине анхидрита у пукотинама у кварцу.

Пирит: Велика еухедрална зрна у средишњем делу кварцне жице. У већини случајева пирит садржи уклопљена веома мала зрна ковелина и браон минерала.

Халкопирит: Зрна неправилног облика у анхидриту, обично близу зрна пирита.

Ковелин: Јавља се у виду веома малих зрна плаве боје уклопљених у зрнима пирита.

Браон минерал (халкозин?): Веома мала зрна браон боје унутар зрна пирита.

Рутил: Јавља се у виду малих зрна у анхидритском делу жице.

Минерална парагенеза и редослед депоновања: Овај препарат указује на 3 стадијума депоновања:

- 1) Формирање кварцне жице.
- 2) Депоновање рудних минерала.
- 3) Депоновање наранџастог анхидрита у пукотинама.

Анализа флуидних инклузија: Анхидрит не садржи флуидне инклузије. Кварц садржи 3 типа инклузија:

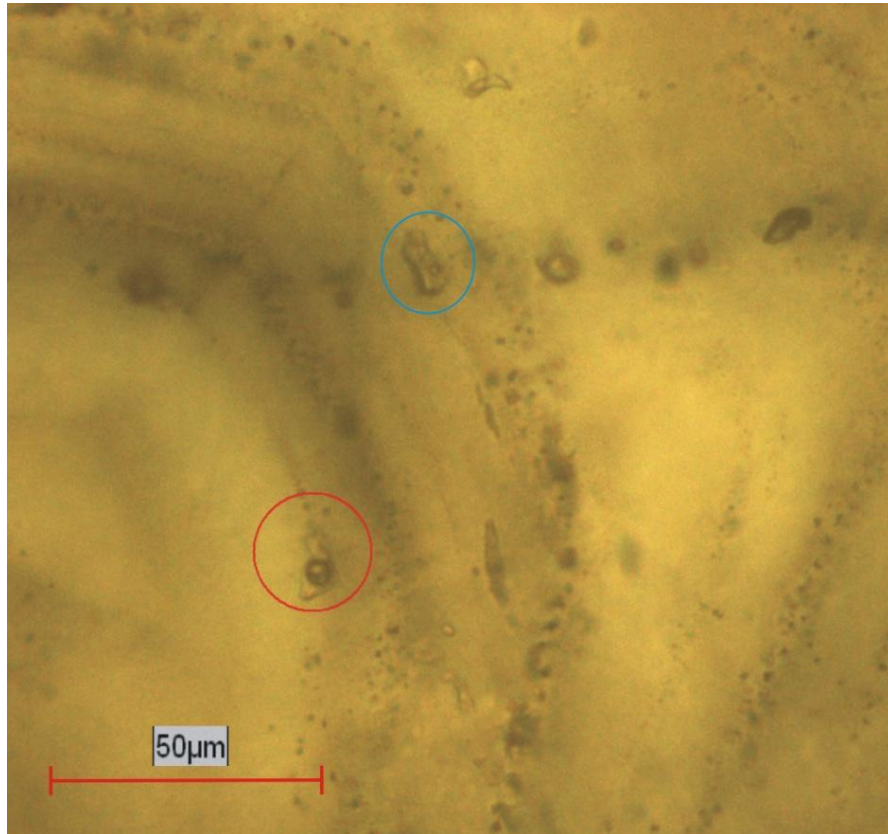
- 1) Примарне инклузије (тип 1) у зонарним кристалима (слике 86-4, 86-6).
- 2) Флуидне инклузије богате паром (вероватно тип 4) (слика 86-7).
- 3) Секундарне нискотемпературне инклузије (тип 7) (слика 86-6b).



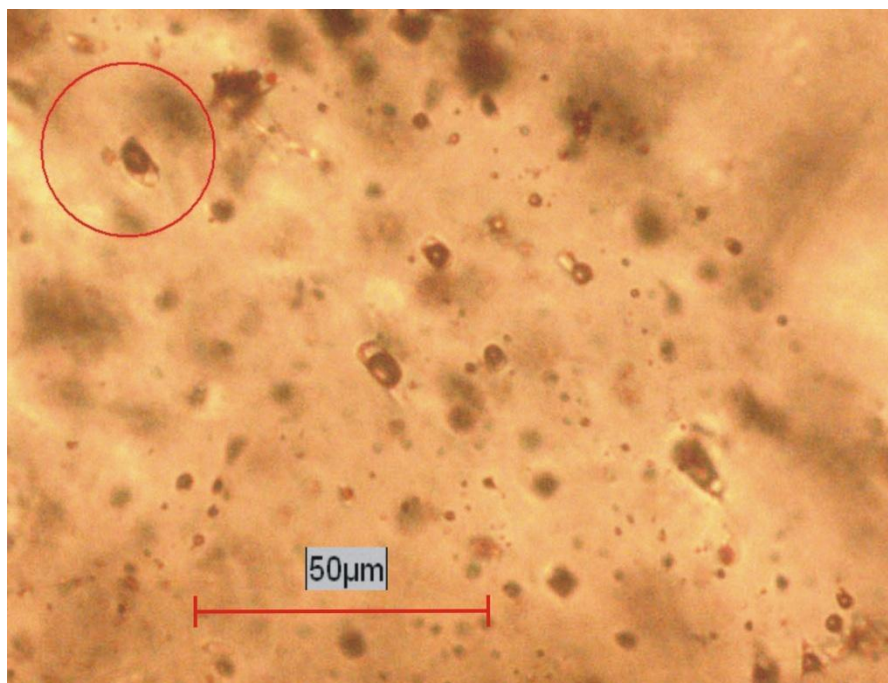
Слика 86-4: Примарне флуидне инклузије (тип 1) у зонама раста кварца, пропуштена светлост.



Слика 86-6а: Групације примарних високотемпературних групација (тип 1-црвена линија) и секундарних нискотемпературних групација (тип 7-плава линија) флуидних инклузија у кварцу, пропуштена светлост.



Слика 86-6b: Разлика између примарних (тип 1 - црвени круг) и секундарних (тип 7-плави круг) инклузија, пропуштена светлост.



Слика 86-7: Инклузије богате паром (вероватно тип 4) у кварцу, пропуштена светлост.

Препарат број: СР089

Бушотина: FMTC1327 Дубина: 1447,2m

Макроскопски опис: Овај узорак садржи кварцну жицу са доста пирита у алтерисаном андезиту. Сличан је узорку ср086, али не садржи зонарне кристале кварца.

Састав узорка:

Пирит 6%

Ретки:

Халкопирит

Борнит

Ковелин



Нерудни минерали: Кварц је доминантан минерал у овом препарату. Такође су приметне мале количине анхидрита у пукотинама у кварцу.

Пирит: Доминантан рудни минерал у овој жици. Углавном у виду зрна правилног облика у средишњем делу жице.

Халкопирит: Јавља се у виду малих зрна неправилног облика у анхидриту.

Борнит: Мала зрна у анхидриту, често близу зрна халкопирита.

Ковелин: Мала зрна неправилног облика у анхидриту.

Минерална парагенеза и редослед депоновања: Овај препарат указује на 2 стадијума депоновања:

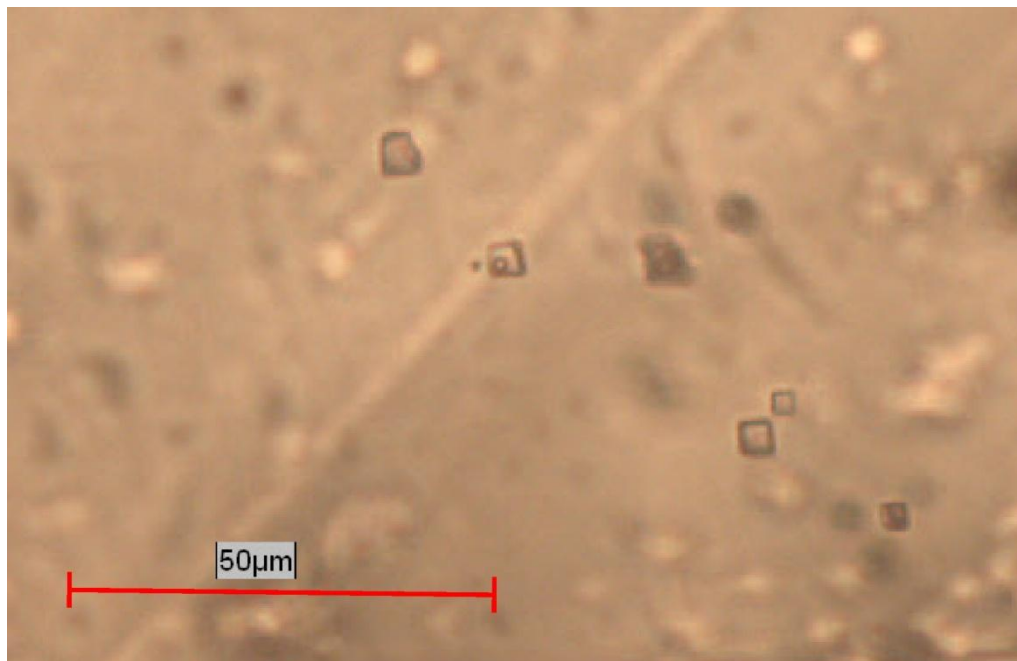
- 1) Формирање кварцних кристала.
- 2) Депоновање рудних минерала и анхидрита у пукотинама.

Анализа флуидних инклузија: У овом препарату је издвојено 4 типа инклузија:

- 1) Примарне високотемпературне инклузије (тип 1) у кварцу.
- 2) Инклузије са присутним кристалима соли (тип 3) у кварцу (слика 89-4).
- 3) Мале инклузије богате паром (тип 4) у кварцу (слика 89-4).
- 4) Инклузије богате течношћу (вероватно тип 6) у анхидриту (слика 89-6).



Слика 89-4: Инклузије са кристалима соли (вероватно тип 3) и мале инклузије богате паром (тип 4) у истом зрну у кварцу, пропуштена светлост.



Слика 89-6: Мале инклузије богате течношћу (тип 6) у анхидриту, пропуштена светлост.

Препарат број: СР096

Бушотина: FMTC1327 Дубина: 1796,3m

Макроскопски опис: Овај узорак садржи кристале кварца у п2 диориту. Кварц садржи малу количину сулфида и испресецан је млађим наранџастим анхидритским жицама.

Састав узорка:

Пирит 4%

Халкопирит 3%

Магнетит 2%



Нерудни минерали: Кварц је доминантан минерал у овом препарату. Наранџасти анхидрит је чест у пукотинама у кварцу.

Пирит: Јавља се у виду еухедралних зрна у пукотинама у кварцу.

Халкопирит: Јавља се у виду зрна неправилног облика у пукотинама у кварцу, често у близини већих зрна пирита.

Магнетит: Јавља се у виду игличастих кристала који су вероватно депоновани у истом стадијуму као халкопирит у пукотинама у кварцу.

Минерална парагенеза и редослед депоновања: Неколико стадијума депоновања је приметно у овом препарату:

- 1) Силификација стене.
- 2) Депоновање рудних минерала и анхидрита у пукотинама у кварцу.
- 3) Млађи наранџасти анхидрит.

Анализа флуидних инклузија: Овај препарат садржи:

- 1) Мале флуидне инклузије са два кристала соли (тип 2a).
- 2) Мале флуидне инклузије са једним кристалом соли, које понекад садрже сулфидни минерал (тип 3) (слика 96-2).
- 3) Инклузије богате паром (тип 4) у кварцу (слика 96-3).



Слика 96-2: Инклузије са једним кристалом соли и непровидним сулфидом (тип 3) у кварцу, пропуштена светлост. Означена инклузија је хомогенизовала на температури од 375°C.



Слика 96-3: Велика инклузија богата паром (тип 4) у кварцу, пропуштена светлост.

Препарат број: СР105

Бушотина: FMTC1328 Дубина: 930,7m

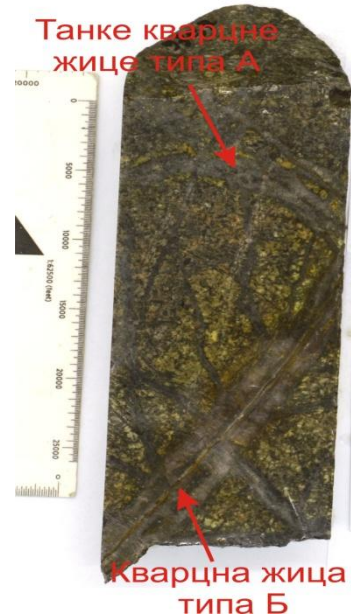
Макроскопски опис: Узорак садржи кварцне жице типа Б са халкопиритом које пресецају танке вијугаве жице типа А у п2 диориту.

Састав узорка:

Халкопирит 7%

Пирит 2%

Магнетит 1%



Нерудни минерали: Кварц је најчешћи нерудни минерал у овој жици. Такође се може видети делић млађе анхидритске жице на ивици препарата.

Халкопирит: Доминантан сулфидни минерал у овом препарату. Јавља се у виду издужених зрна неправилног облика у пукотинама у кварцу.

Пирит: Мања зрна неправилног облика уклопљена у већин зрнима халкопирита.

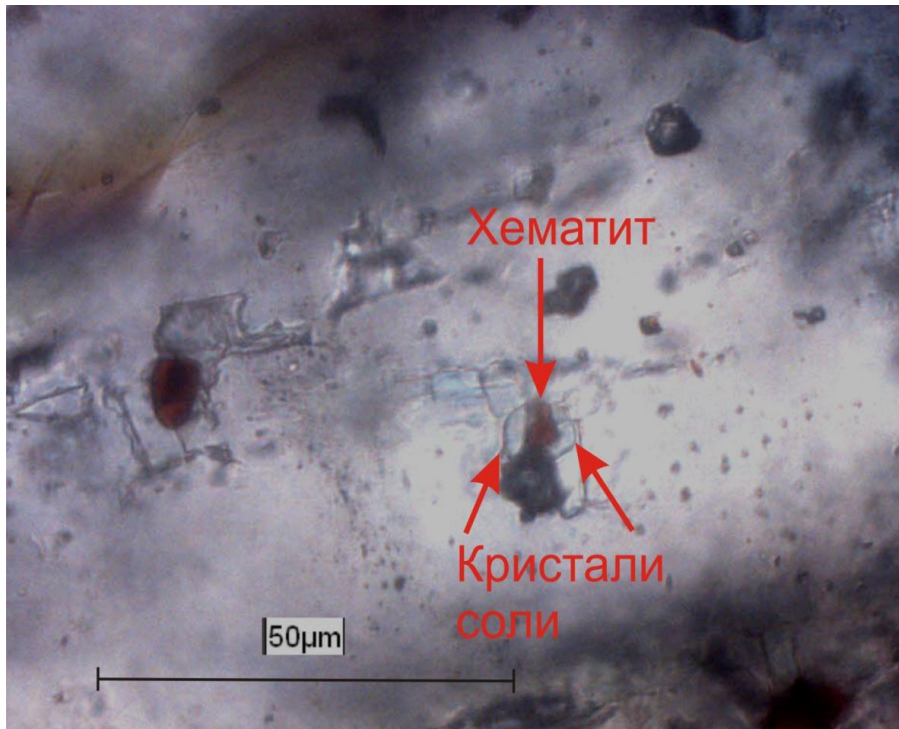
Магнетит: Зрна неправилног облика у пукотинама, местимично оксидисала у хематит.

Минерална парагенеза и редослед депоновања: Редослед депоновања жица у овом узорку је следећи:

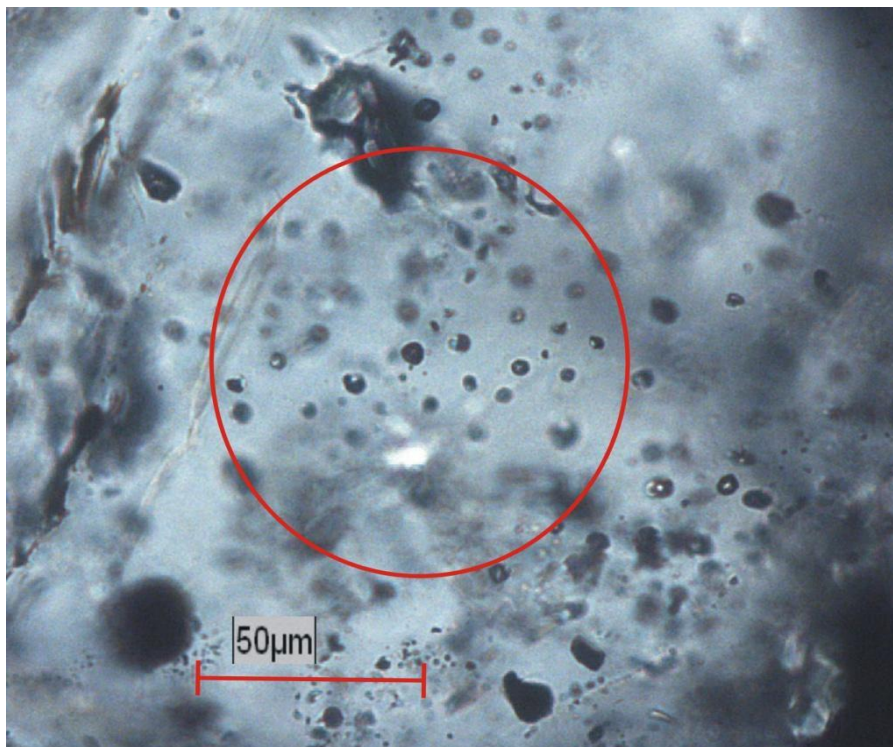
- 1) Кварцне жице типа А без минерализације.
- 2) Минерализоване кварцне жице типа Б.
- 3) Млађа анхидритска жица.

Анализа флуидних инклузија: Овај препарат садржи:

- 1) Полифазне флуидне инклузије са кристалима соли и хематита (тип 2б) (слика 105-2).
- 2) Веома мале инклузије богате паром (тип 4) у кварцу (слика 105-3).



Слика 105-2: Полифазна флуидна инклузија (тип 2б) са присутним кристалом хематита и 2 кристала соли (вероватно NaCl и KCl), пропуштена светлост.



Слика 105-3: Пуно ситних инклузија богатих паром (тип 4) у тамним кристалима кварца, пропуштена светлост.

Препарат број: СР106

Бушотина: FMTC1328 Дубина: 953,7m

Макроскопски опис: Узорак садржи кварцне жице типа Б са халкопиритом у п4 диориту.

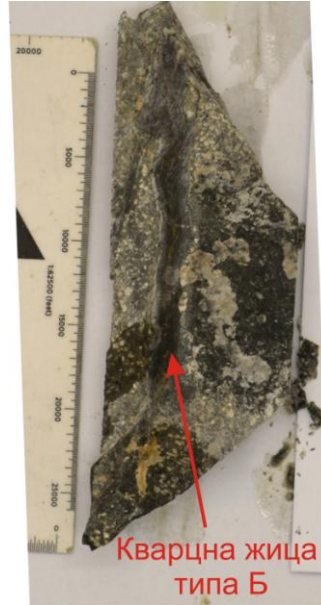
Састав узорка:

Халкопирит 4%

Пирит 3%

Ретки:

Борнит



Нерудни минерали: Кварц је доминантан нерудни минерал у жици. Око жице се налази диорит са алтерисаним петрогеним минералима.

Халкопирит: Јавља се у виду издужених зрна неправилног облика у кварцној жици.

Пирит: Јавља се у две форме:

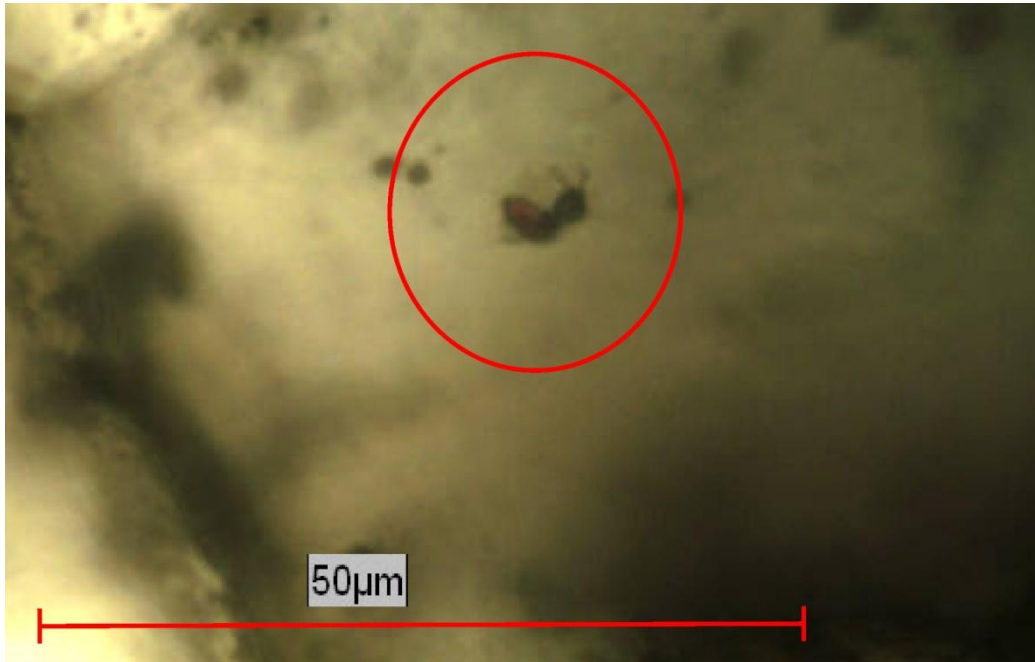
- 1) Зрна неправилног облика у кварцној жици.
- 2) Мала зрна у алтерисаним петрогеним минералима.

Борнит: Мала зрна у кварцној жици, често у близини зрна пирита.

Минерална парагенеза и редослед депоновања: Сви минерали у кварцној жици су депоновани у истом стадијуму.

Анализа флуидних инклузија: Овај препарат садржи:

- 1) Примарне инклузије са кристалима соли у кварцу (тип 1).
- 2) Полифазне флуидне инклузије са кристалима соли и хематита (тип 2а) (слика 106-2).
- 2) Веома мале инклузије богате паром у кварцу (тип 4).



Слика 106-1: Веома мала полифазна флуидна инклузија (тип 2а) са присутним кристалом хематита и 2 кристала соли, пропуштена светлост.



Слика 106-2: Групација ситних инклузија са кристалом хематита и кристалима соли (вероватно тип 2а), пропуштена светлост.

Препарат број: СР108

Бушотина: FMTC1328 Дубина: 1116,8m

Макроскопски опис: Узорак садржи љубичасту анхидритску жицу у п4 или п9 диориту алтерисаном хлоритском алтерацијом.

Састав узорка:

Пирит 1%

Ретки:

Халкопирит

Магнетит



Нерудни минерали: Цео препарат заузима анхидритска жица.

Пирит: Зрна неправилног облика у анхидриту.

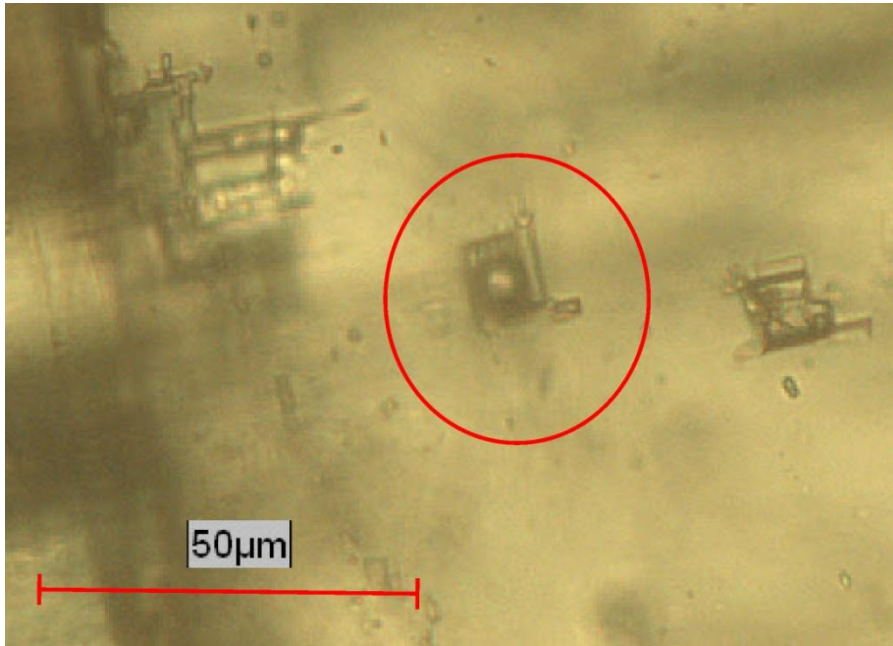
Халкопирит: Јавља се у виду зрна неправилног облика, често у близини пиритских зрна.

Магнетит: Ретка мала сива зрна у анхидриту.

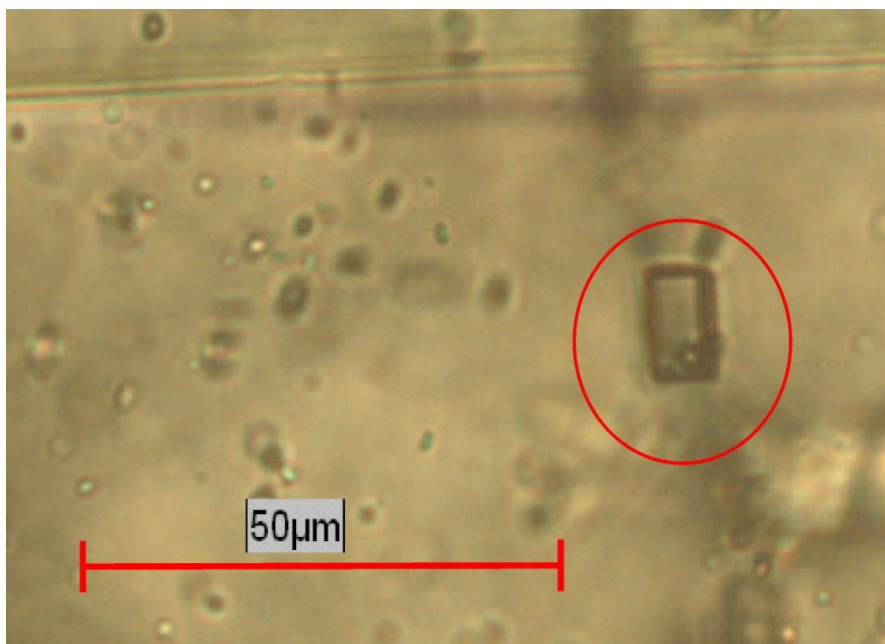
Минерална парагенеза и редослед депоновања: Сви минерали су формирану у истом стадијуму у анхидритској жици.

Анализа флуидних инклузија: У кристалима анхидрита у овом препарату се могу издвојити:

- 1) Флуидне инклузије богате паром (вероватно тип 5) (слика 108-1).
- 2) Инклузије богате течношћу (тип 6), које углавном прате пукотине у анхидриту (слика 108-2).



Слика 108-1: Мале флуидне инклузије богате паром (тип 5) у анхидриту, пропуштена светлост.



Слика 108-2: Инклузије богате течношћу (тип 6) у анхидриту, пропуштена светлост.

Препарат број: СР110

Бушотина: FMTC1328 Дубина: 1139,7m

Макроскопски опис: Узорак садржи широку анхидритску жицу љубичасте боје у п2 диориту. Жица се састоји од крупнозрних кристала анхидрита и садржи пирит и ковелин.

Састав узорка:

Пирит 3%

Ковелин 1%



Нерудни минерали: Анхидрит прекрива цео препарат.

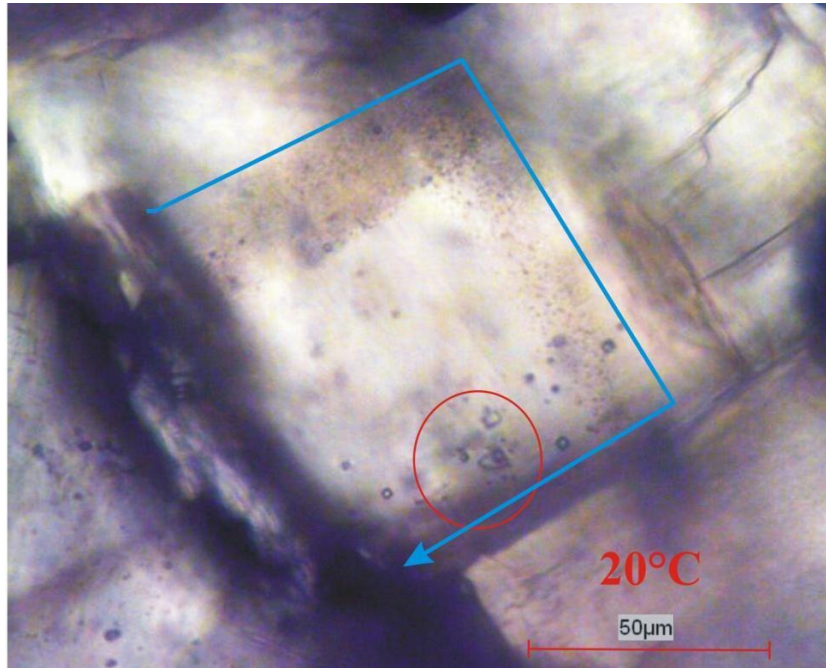
Пирит: Јавља се у виду малих зрна неправилног облика у централним деловима анхидритске жице.

Ковелин: Веома мала издужена зрна у близини зрна пирита.

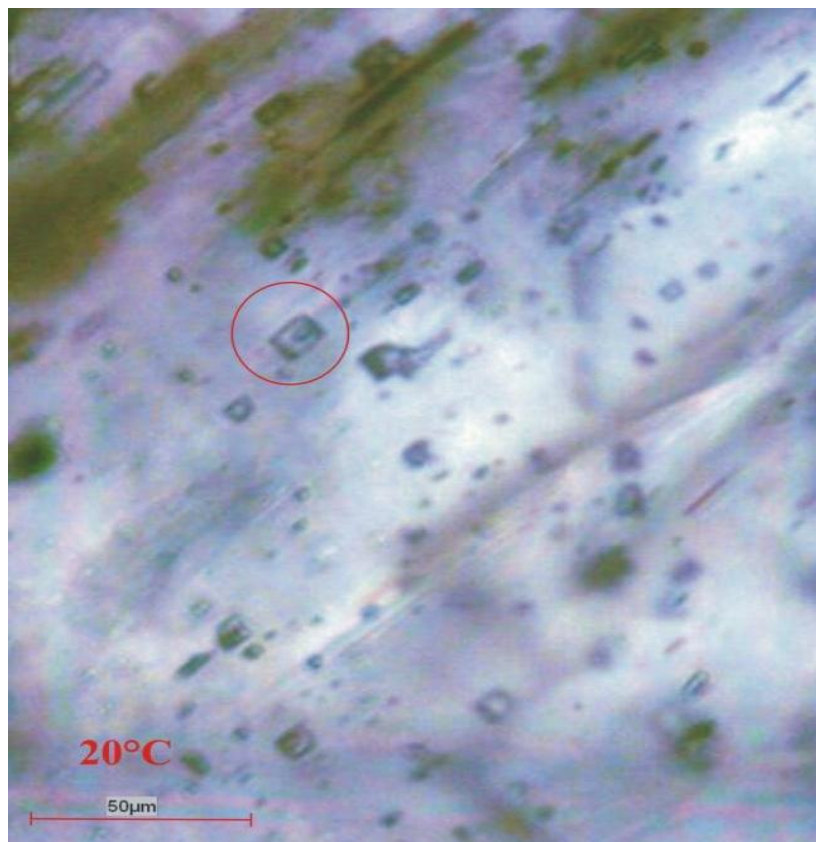
Минерална парагенеза и редослед депоновања: Сви рудни минерали су депоновани у истом стадијуму у анхидритској жици.

Анализа флуидних инклузија: Може се издвојити 2 типа флуидних инклузија у овом препарату:

- 1) Примарне флуидне инклузије богате паром (вероватно тип 5).
- 2) Мале инклузије богате течношћу (тип 6).



Слика 110-2: Примарне флуидне инклузије богате паром (тип 5) у анхидриту, пропуштена светлост. Плава линија означава квадратну оријентацију групације инклузија, што указује на то да су ове инклузије примарне. Означена инклузија садржи мали црни сулфидни кристал и хомогенизује на 289°C.



Слика 110g-4: Мале раштркане флуидне инклузије богате течношћу (тип 6) у анхидриту, пропуштена светлост. Инклузије су вероватно секундарне пошто су везане за касније пукотине. Означена инклузија хомогенизује на температури од 154,6°C.

Препарат број: СР116

Бушотина: FMTC1328 Дубина: 1348,4m

Макроскопски опис: Узорак садржи сулфидну жицу која пресеца кварцну жицу у п1 диориту. Вероватно је део прелазног епитермалног стадијума са аргилитском алтерацијом и ковелином. Препарат је по саставу сличан узорку ср086.

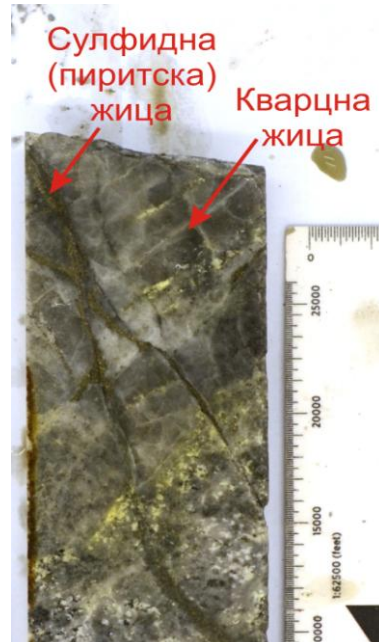
Састав узорка:

Пирит 10%

Ретки:

Ковелин

Сиви минерал (рутил?)



Нерудни минерали: Кварц је доминантан нерудни минерал у овој жици. Такође се може видети мала количина млађег анхидрита у пукотинама у кварцу.

Пирит: Велика зрна неправилног облика у пукотинама у кварцу. Често садржи мала зрна ковелина и сивог минерала (рутила?).

Ковелин: Мала издужена зрна неправилног облика у анхидриту.

Сиви минерал (рутил?): Мала зрна у анхидриту или у већим зрнама пирита.

Минерална парагенеза и редослед депоновања: Овај препарат указује на 2 стадијума депоновања:

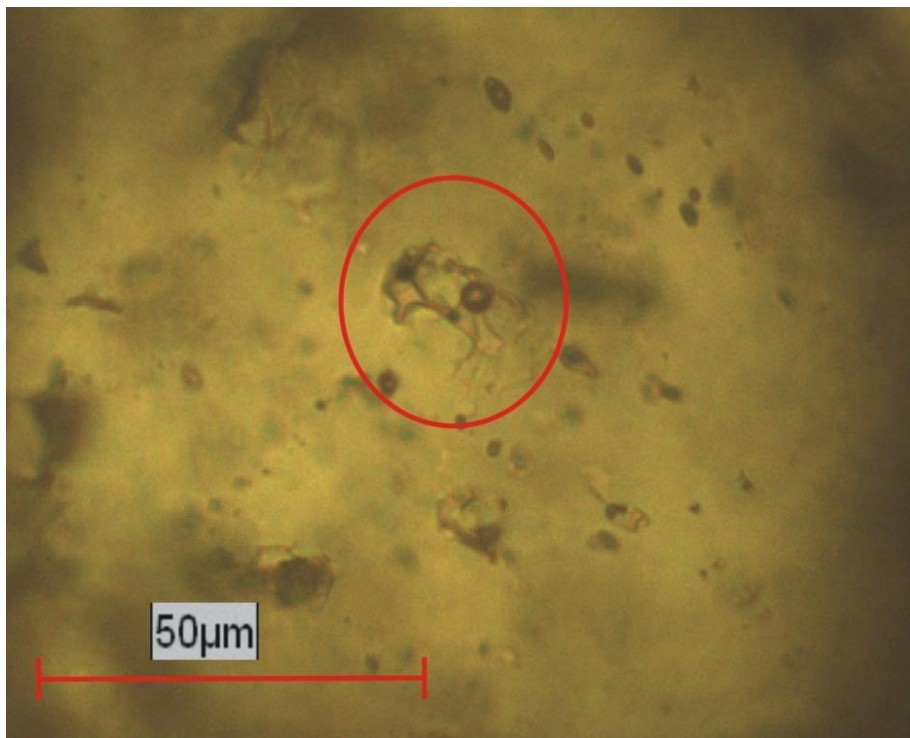
- 1) Депоновање кварцне жице.
- 2) Депоновање рудних минерала са анхидритом у пукотинама.

Анализа флуидних инклузија: Анхидрит не садржи флуидне инклузије. Кварц садржи четири врсте флуидних инклузија:

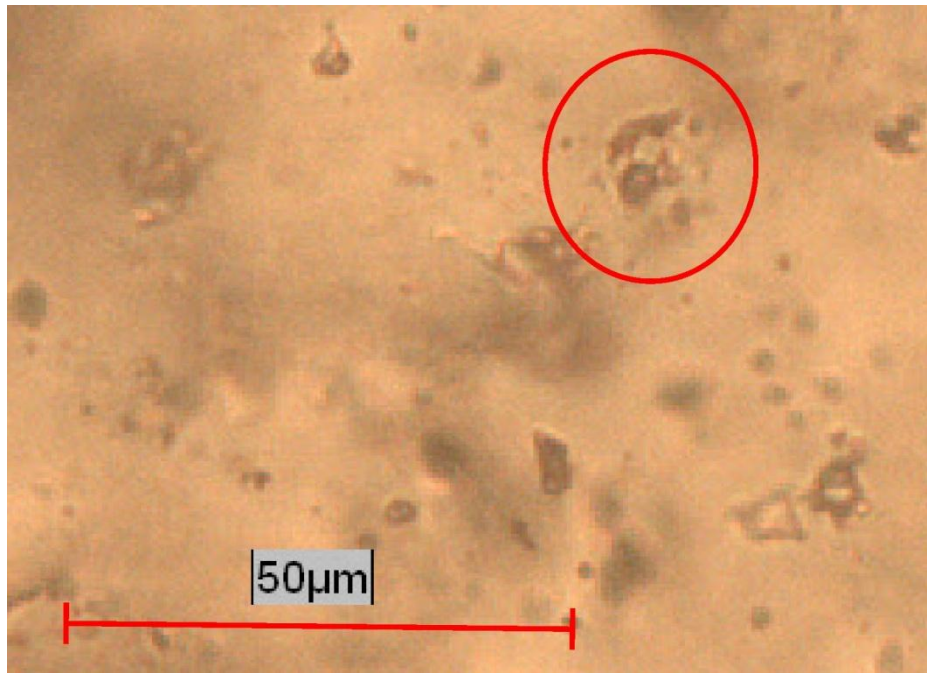
- 1) Полифазне инклузије са 2 кристала соли и непровидним (вероватно сулфидним) кристалом (тип 2a) (слика 116-6, 116-6b).
- 2) Инклузије са једним кристалом соли (тип 3) (слика 116-7).
- 3) Веома мале инклузије богате паром (тип 4).
- 4) Нискотемпературне инклузије богате течношћу (тип 7) са непровидним минералима (слика 116-8).



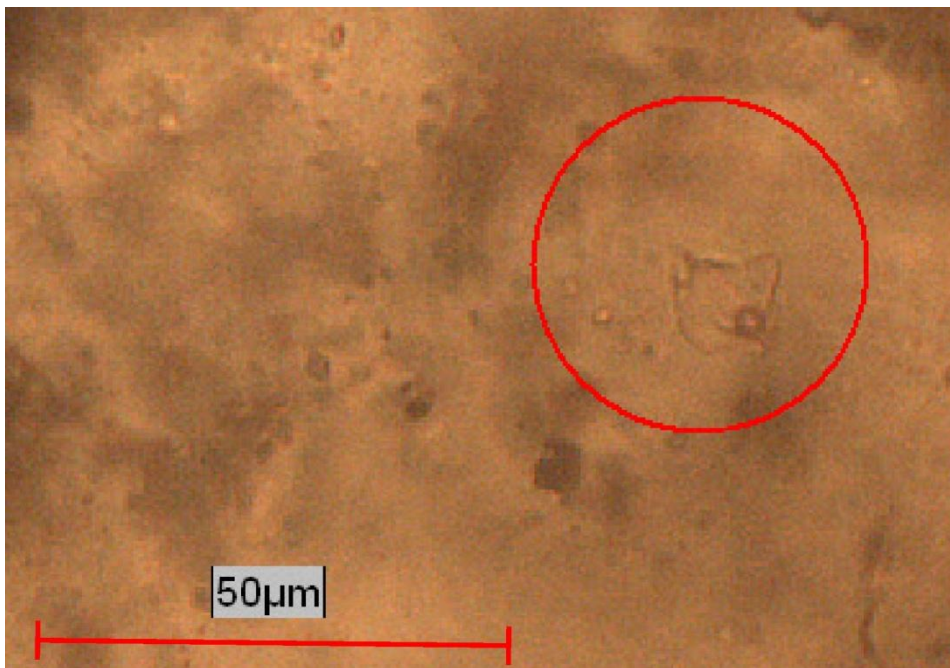
Слика 116-6: Полифазне инклузије са 2 кристала соли и непровидним минералом (тип 2а) у кварцу, пропуштена светлост.



Слика 116-6b: Друга полифазна инклузија са кристалима соли и непровидним минералом (тип 2а) у кварцу, пропуштена светлост.



Слика 116-7: Мале инклузије са једним кристалом соли (тип 3) у кварцу, пропуштена светлост.



Слика 116-8: Нискотемпературна инклузија богата течносту (тип 7) са непровидним минералом у кварцу, пропуштена светлост.

Препарат број: СР121

Бушотина: FMTC1328 Дубина: 1527m

Макроскопски опис: Узорак садржи кварцну жицу са пуно кристала пирита у п1 диориту. Узорак је сличан узорку ср086, али не садржи зонарне кристале кварца.

Састав узорка:

Пирит 5%

Ретки:

Рутил

Ковелин

Халкозин



Нерудни минерали: Кварц је најчешћи нерудни минерал у овој жици у алтерисаном диориту. Такође су присутне танке жице млађег анхидрита у пукотинама у кварцу.

Пирит: Доминантан рудни минерал у овом узорку. Зрна пирита су концентрисана у пукотинама у кварцу.

Рутил: Јавља се у виду малих сивих зрна у близини зрна пирита.

Ковелин: Мала плава зрна уклопљена у већим зрнима пирита.

Халкозин: Мала сива зрна, сличнаковелинским зрнима. уклопљена у већим зрнима пирита.

Минерална парагенеза и редослед депоновања: Овај препарат указује на 2 стадијума депоновања:

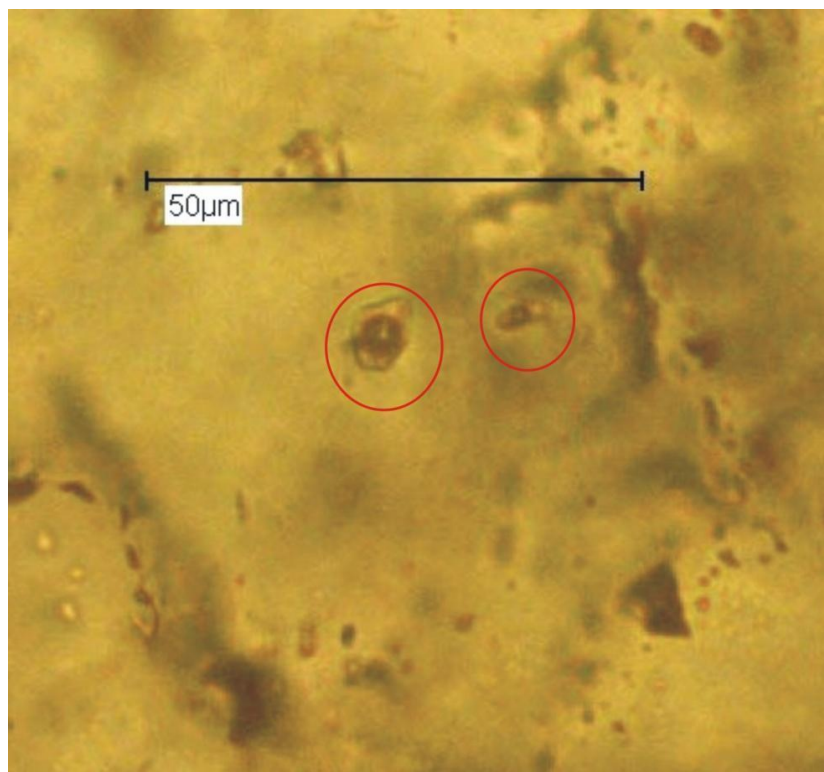
- 1) Формирање кварцне жице.
- 2) Депоновање рудних минерала са анхидритом у пукотинама.

Анализа флуидних инклузија: Анхидрит не садржи флуидне инклузије. Кварц садржи:

- 1) Ситне инклузије са једним кристалом соли (тип 3).
- 2) Инклузије богате паром (тип 4) (слика 121-1, 121-3).



Слика 121-1: Крупна инклузија богата паром (тип 4) у кварцу, пропуштена светлост.



Слика 121-3: Инклузије богате паром (тип 4) у кварцу, пропуштена светлост.

Препарат број: СР123

Бушотина: FMTC1328 Дубина: 1610,5m

Макроскопски опис: Узорак садржи широку љубичасту анхидритску жицу са хлоритском алтерацијом у п9 диориту.

Састав узорка:

Пирит 3%

Халкопирит 2%

Ретки:

Борнит

Рутил



Нерудни минерали: Препарат садржи део алтерисане стене (диорит) са хлоритском алтерацијом, кристале кварца и љубичасту анхидритску жицу.

Пирит: Јавља се у виду великих испуцалих зрна у анхидриту. Такође се могу уочити мала зрна у алтерисаним петрогеним минералима.

Халкопирит: Зрна неправилног облика у анхидриту, често заједно са зрнима пирита.

Борнит: Често се јавља у прорастањима са халкопиритом, али такође у виду малих зрна уклопљеним у пириту.

Рутил: Јавља се у виду малих зрна уклопљених у зрнима пирита.

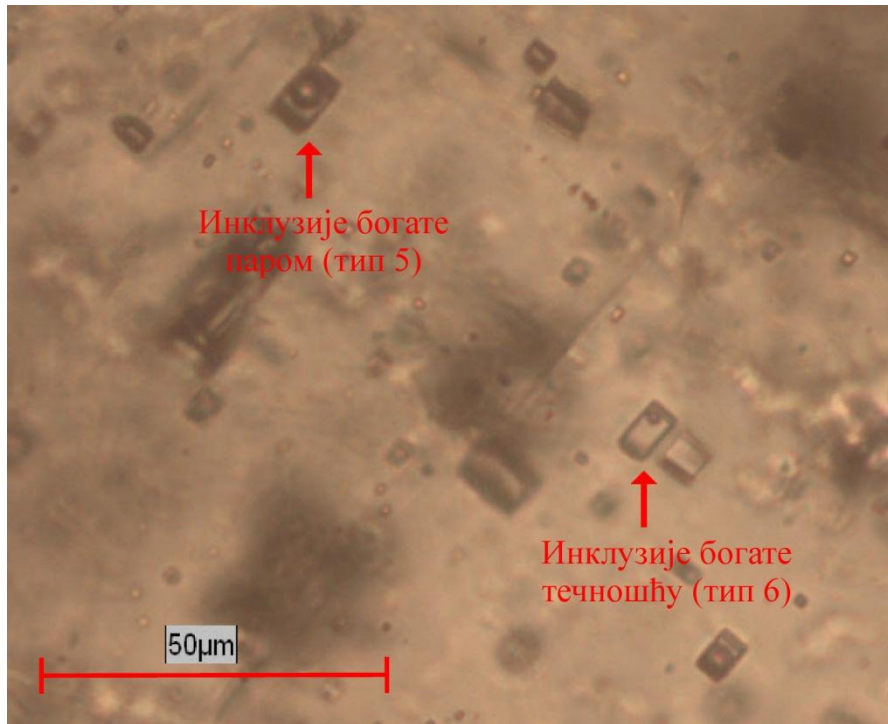
Минерална парагенеза и редослед депоновања: У овом препарату се могу издвојити 2 стадијума депоновања:

- 1) Формирање кварцних жица.
- 2) Депоновање анхидрита и рудних минерала у пукотинама.

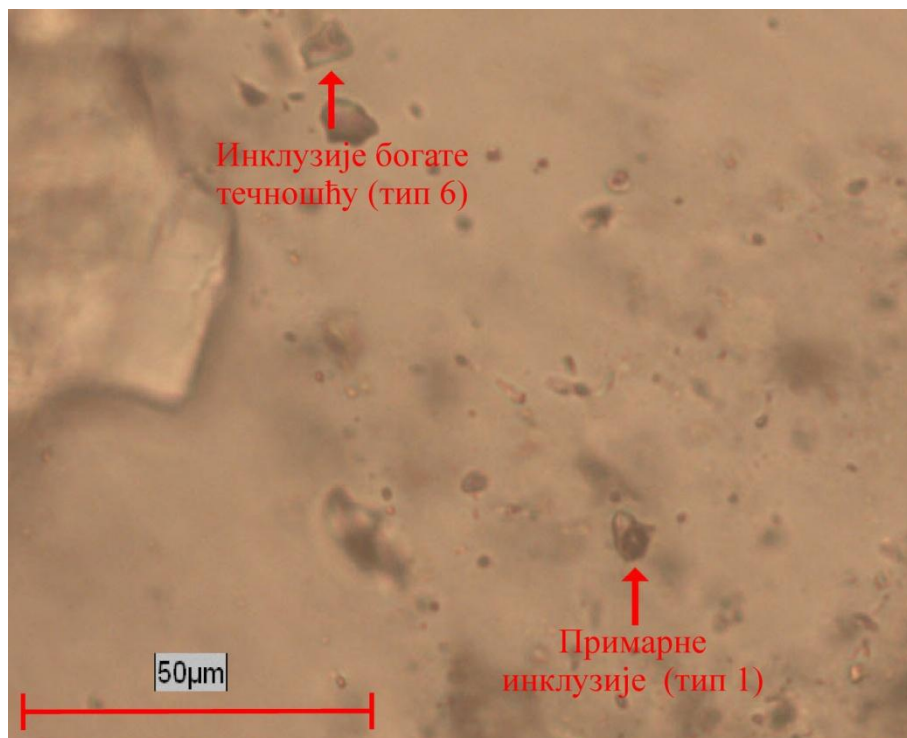
Алтерација матичне стене се вероватно десила током депоновања анхидрита.

Анализа флуидних инклузија: Узорак садржи неколико типова инклузија:

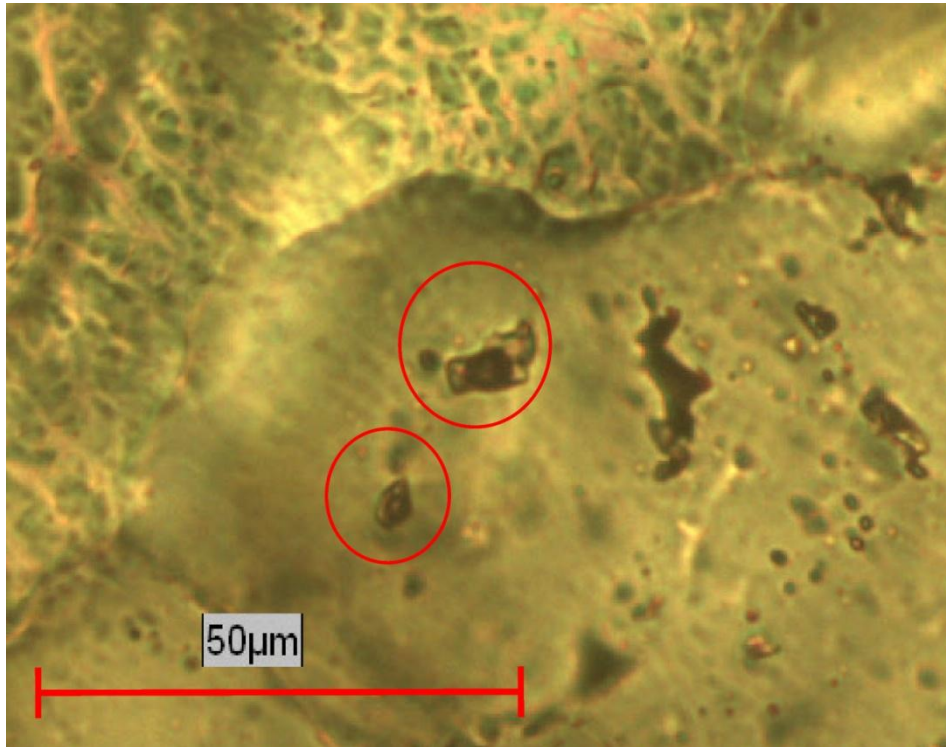
- 1) Примарне високотемпературне инклузије (тип 1) у кварцу (слика 123-5, 123-6).
- 2) Инклузије са кристалима соли и сулфидним минералима (тип 3) у кварцу (слика 123-8).
- 3) Инклузије богате паром (тип 5) у анхидриту (слика 123-1).
- 4) Инклузије богате течношћу (тип 6) у анхидриту (слика 123-1).
- 5) Мале нискотемпературне богате течношћу (тип 7) у кварцу (слика 123-5).



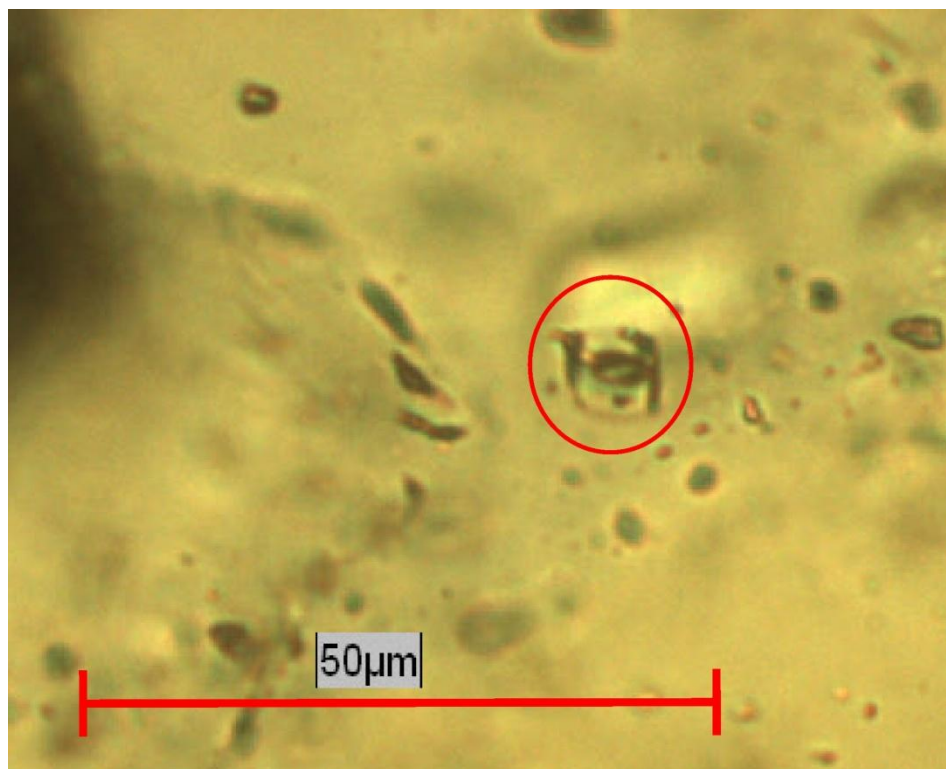
Слика 123-1: Инклузије богате паром (тип 5) и инклузије богате течношћу (тип 6) у анхидриту, пропуштена светлост.



Слика 123-5: Примарне високотемпературне инклузије (тип 1) и касне инклузије богате течношћу (тип 7) у кварцу, пропуштена светлост.



Слика 123-6: Примарне високотемпературне инклузије са кристалима соли (тип 1) у кварцу, пропуштена светлост.



Слика 123-8: Инклузија са кристалима соли и неправидним (сулфидним) кристалом (тип 3) у кварцу, пропуштена светлост.

Препарат број: СР141

Бушотина: ТС160125 Дубина: 1622,5m

Макроскопски опис: Узорак садржи широке кварцне жице и млађе наранџасте анхидритске жице у п1 диориту.

Састав узорка:

Пирит 4%

Халкопирит 3%



Нерудни минерали: Доминантан нерудни минерал у жицама је кварц. Такође се могу уочити мале наранџасте анхидритске жице.

Пирит: Јавља се у виду еухедралних зрна у кварцу.

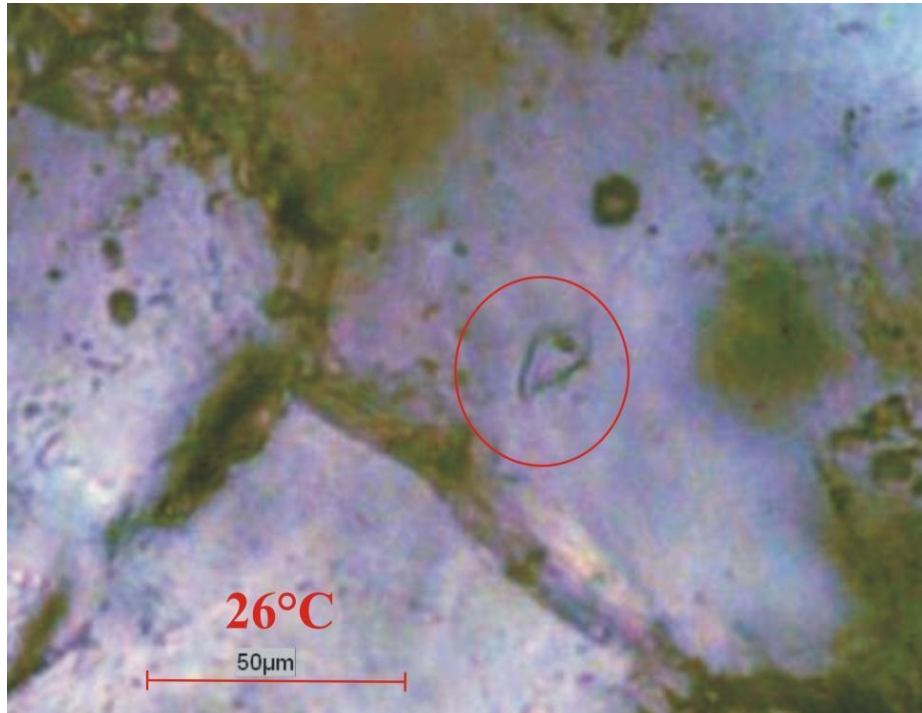
Халкопирит: Мала издужена зрна неправилног облика у кварцу, у близини пиритских зрна.

Минерална парагенеза и редослед депоновања: Редослед депоновања жица у овом узорку је следећи:

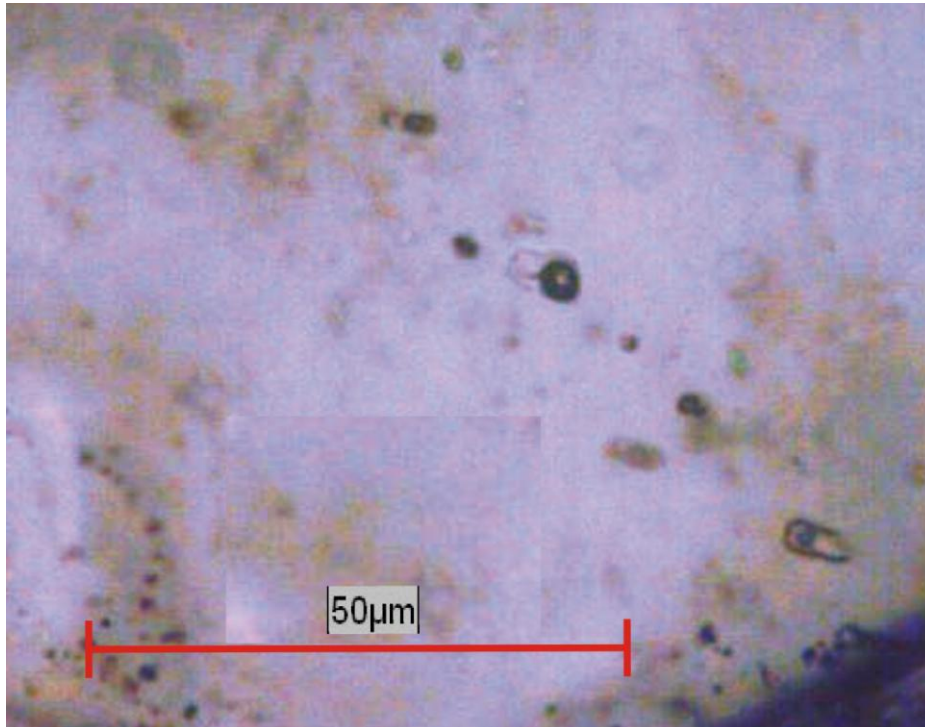
- 1) Алтерација и формирање кварцних жица.
- 2) Депоновање пирита и халкопирита у пукотинама у кварцу.
- 3) Депоновање касних наранџастих анхидритских жица.

Анализа флуидних инклузија: Овај препарат садржи 3 типа инклузија:

- 1) Високотемпературне примарне инклузије у кварцу (тип 1) (слика 141-7).
- 2) Инклузије богате паром у кварцу (тип 4).
- 3) Нискотемпературне инклузије у наранџастом анхидриту (тип 7) (слика 141-2).



Слика 141-2: Секундарне флуидне инклузије богате течношћу (тип 7) у наранџастом анхидриту, пропуштена светлост. Означена инклузија је хомогенизовала на температури од 87°C.



Слика 141-7: Примарна високотемпературна инклузија (тип 1) у кварцу, пропуштена светлост. Приказана инклузија није достигла хомогенизацију на температури од 600°C.

Препарат број: СР143

Бушотина: ТС160125 Дубина: 1693,2m

Макроскопски опис: Узорак садржи широку кварцну жицу са пиритом и млађе наранџасте анхидритске жице у п1 диориту.

Састав узорка:

Пирит 5%

Ретки:

Халкопирит

Магнетит



Нерудни минерали: Доминантан нерудни минерал у овом узорку је кварц. Такође се могу уочити танке наранџасте анхидритске жице.

Пирит: Јавља се у виду испуцалих зрна у пукотинама између зрна кварца, у истом стадијуму као халкопирит и анхидрит.

Халкопирит: Мала зрна неправилног облика у пукотинама између зрна кварца.

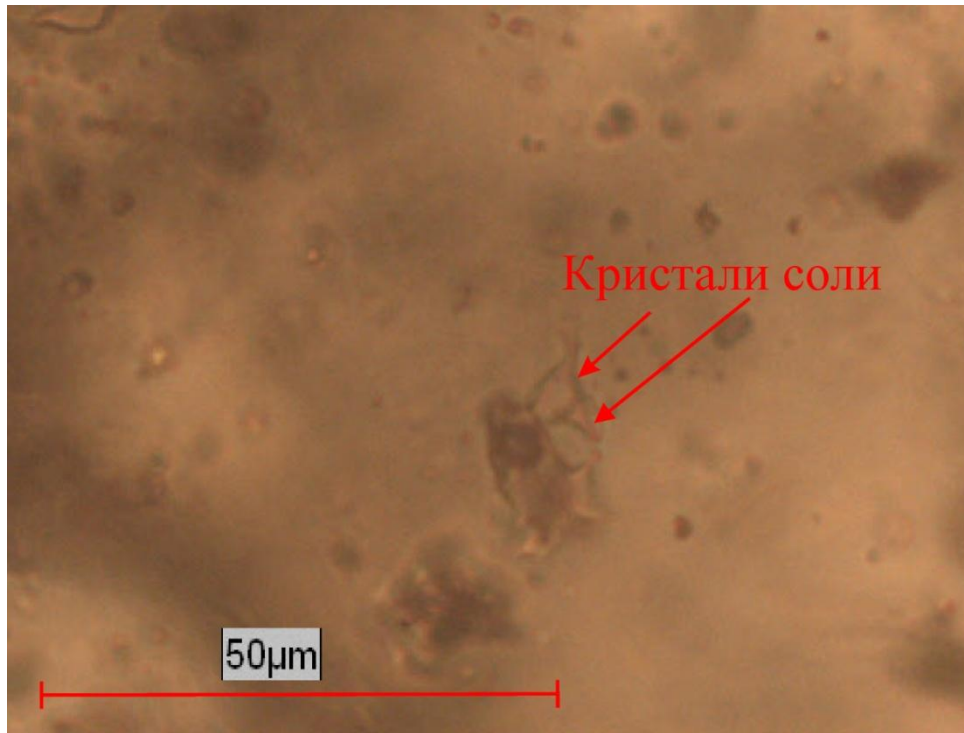
Магнетит: Мала сивих зрна уклопљена у великим зрнима пирита.

Минерална парагенеза и редослед депоновања: Редослед депоновања жица у овом узорку је следећи:

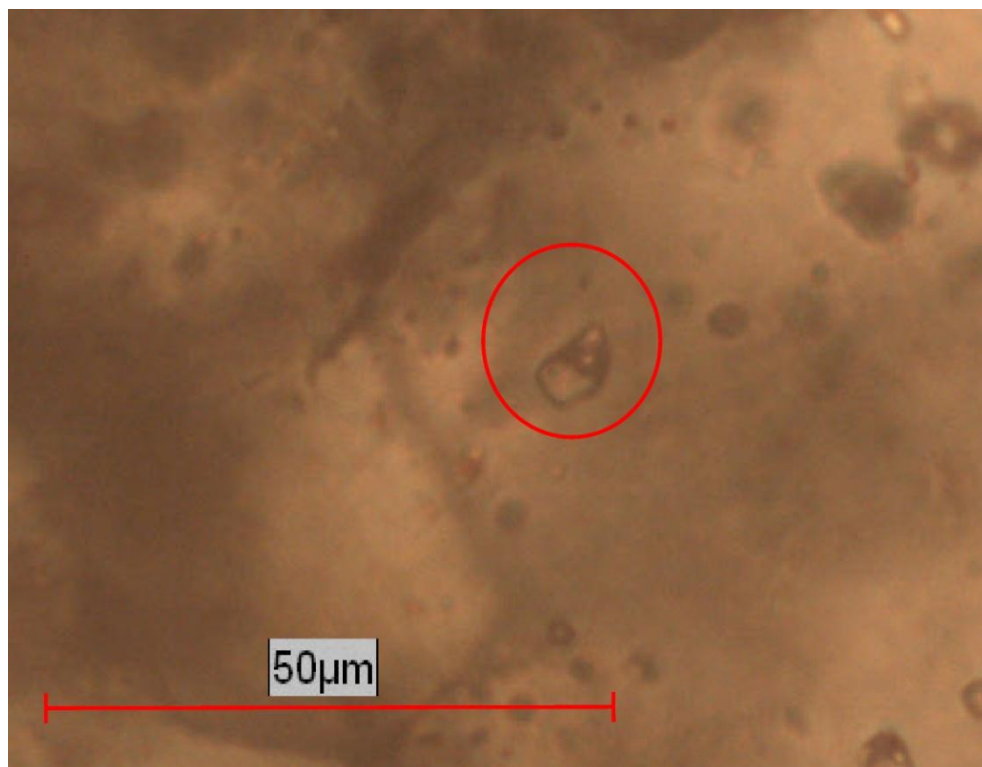
- 1) Формирање кварцне жице.
- 2) Депоновање пирита, халкопирита и анхидрита у пукотинама у кварцу.
- 3) Депоновање млађих наранџастих анхидритских жица.

Анализа флуидних инклузија: Анхидрит не садржи флуидне инклузије. Кварц садржи:

- 1) Примарне високотемпературне инклузије (тип 1) у кварцу.
- 2) Полифазне инклузије са 2 кристала соли (вероватно тип 2а) (слика 143-3).
- 3) Инклузије са кристалима соли и сулфидним кристалом (тип 3) (слика 143-3а).
- 4) Веома мале инклузије богате паром (тип 4).



Слика 143-3: Полифазне инклузије са 2 кристала соли (вероватно (тип 2а) у кварцу, пропуштена светлост.



Слика 143-3а: Инклузија са једним кристалом соли и непровидним минералом (тип 3) у кварцу, пропуштена светлост.

Биографија аутора:

Милош Велојић је завршио Основну школу 2006. године у Зајечару. У истом граду је 2010. године стекао средњешколско образовање, завршивши Гимназију као носилац Вукове дипломе. Године 2008. и 2009., учествовао је на више семинара из области геологије у Истраживачкој станици Петница.

Редовне студије на Департману за економску геологију, на Геолошком одсеку Рударско–геолошког факултету Универзитета у Београду, уписао је 2010. године. Основне академске студије је завршио 2013. године, са просечном оценом 9,64. Године 2015, на истом Факултету и Департману завршио је мастер академске студије, остваривши просечну оцену студија 9,51. Докторске студије на Рударско–геолошком факултету Универзитета у Београду, Геолошки одсек уписао је 2015. године. Током студија, похађао је више стручних семинара и курсева:

- У августу и септембру 2014. године, у време редовних мастер студија обавио је стручну праксу на Универзитету Halle-Wittenberg у граду Халеу у Немачкој.
- У јануару 2016. године похађао је десетодневни курс „Resource Economics and Mineral Exploration“ на ЕТН Универзитету у Цириху, Швајцарска.
- У јануару 2017. године похађао курс „Porphyry Copper Deposits: from bottoms to tops“ на Универзитету у Женеви, Швајцарска.
- Крајем јануара и почетком фебруара 2017. године похађао је курс „Fluid and Melt Inclusions: Theory and Practice“ на ЕТН универзитету у Цириху, Швајцарска.
- У априлу 2017. године је похађао међународни курс „The chain of geological processes making porphyry-style and epithermal deposits“ на Рударско-геолошком факултету у Београду.
- У априлу 2019. године похађао је курс Leapfrog Geo Fundamentals на Рударско-геолошком факултету у Београду.
- У мају 2019. године похађао курс FLUID INCLUSION SHORT COURSE у Леобену у Аустрији.

Образац 5.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Милош Велојић

Број индекса Г805/2015

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Генеza хидротермалног Cu-Au система Чукару Пеки (источна Србија)

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, 26.4.2021

Образац 6.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: Милош Велојић

Број индекса: Г805/2015

Студијски програм: Геологија

Наслов рада: Генеза хидротермалног Cu-Au система Чукару Пеки (источна Србија)

Ментор: Др.Раде Јеленковић, редовни професор

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

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

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, 26.4.2021

Образац 7.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Генеза хидротермалног Cu-Au система Чукару Пеки (источна Србија)

која је моје ауторско дело.

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

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се 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)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, 26.4.2021

1. **Ауторство.** Дозвољава се умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољава се умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољава се умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољава се умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољава се умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољава се умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.