

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Preddiplomski studij Geološkog inženjerstva

**MINERALOŠKO-PETROGRAFSKA ANALIZA PEGMATITA I
GRANITOIDA S PLANINE CER, SAVA-VARDAR ZONA**

Završni rad

Magdalena Mirt

G2172

Zagreb, 2021.

MINERALOŠKO-PETROGRAFSKA ANALIZA PEGMATITA I GRANITOIDA S PLANINE CER, SAVA-VARDAR ZONA

MAGDALENA MIRT

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

Sažetak

Svrha rada je mineraloško-petrografska analiza granitodnih stijena i pegmatita s područja planine Cer. Cer je lakolitna granitoidna intruzija oligocenske starosti. Dio je Sava-Vardar zone i nalazi se na sjeverozapadu Republike Srbije. Pegmatiti i granitoidi s područja planine Cer analizirani su na makroskopskoj i mikroskopskoj razini. Klasificirani su prema postanku i udjelu tinjaca. Tako su granitoidi podijeljeni na dvotinjčaste biotitne granitoide i dvotinjčaste muskovitne granitoide. Pegmatiti su jednostavnijeg mineralnog sastava te sadrže beril. Prema mineralnom sastavu određen je kristalizacijski slijed uzoraka i mogućnost korisne mineralizacije. Kristalizacijski slijed započinje cirkonima i slijede amfiboli, biotit, plagioklas, muskovit, ortoklas, kvarc te na kraju beril. Pegmatiti su određeni kao mlađi od granitoida. Nakon kristalizacije uzorci su bili izloženi opacitizaciji, hidrotermalnim alteracijama kloritizaciji i sericitizaciji te supergenoj limonitizaciji i kristalizaciji minerala glina. Makroskopska analiza pokazala je prisutnost berila u pegmatitima, a mikroskopska analiza pokazala je detaljniji mineralni sastav.

Ključne riječi: planina Cer, Sava-Vardar zona, granitoidi, pegmatiti, beril,

Završni rad sadrži: 37 stranica, 14 slika i 13 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: izv.prof.dr.sc. Sibila Borojević Šoštarić
Ocjenjivači: : 1. izv.prof.dr.sc. Sibila Borojević Šoštarić
2. izv.prof.dr.sc. Vesnica Garašić
3. naslovna izv.prof.dr.sc. Marija Horvat

Datum obrane: 17.9.2021., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

**MINERALOGICAL AND PETROGRAPHICAL ANALYSIS OF GRANITOIDS AND
PEGMATITES FROM CER Mt, SAVA-VARDAR ZONE**

MAGDALENA MIRT

Thesis completed in: Universtiy of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Institute of Mineralogy, Petrology and Mineral deposits
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The purpose of this paper is mineralogical and petrographical analysis of granitoid rocks and pegmatite from Cer Mt, Sava-Vardar zone. Cer Mt is a laccolith intrusion Oligocene in age. It's part of the Sava-Vardar zone and it's situated in the north-westrn part of Republic Serbia. Pegmatites and granitoids from Cer Mt were analysed macroscopically and microscopically. They are classified based on their genesis and mica ratio. Granitoid is divided into two-mica biotite granitoid and two-mica muscovite granitoid. Pegmatite has simpler mineralogical composition and contains beryl. The crystallization sequence of samples has been determined. The crystallization sequence begins with zircon which is followed by amphibole, biotite, plagioclase, muscovite, orthoclase, quartz and finally beryl. Pegmatite is determined as younger than granitoid. After the crystallization samples were exposed to opacitisation, hydrothermal alterations; chloritisation and sericitisation and supergene alterations; limonitisation and formation of clay minerals. Macroscopical analysis showed beril in pegmatite and microscopical analysis showed detail mineralogical composition.

Key words: Cer Mt, Sava-Vardar zone, granite, pegmatite, beryl,

Thesis contains: 37 pages, 14 pictures and 13 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Sibila Borojević Šoštarić, PhD

Evaluators: : 1. Assoc. Prof. Sibila Borojević Šoštarić, PhD

2. Assoc. Prof. Vesnica Garašić, PhD

3. Assoc. Prof. Marija Horvat, PhD

Date od defence: September 17th, 2021., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. GEOGRAFSKE KARAKTERISTIKE	3
3. GEOLOŠKA PODLOGA	5
4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	9
5. UZORKOVANJE.....	11
6. METODE ISTRAŽIVANJA	12
7. REZULTATI ANALIZA	13
7. MAKROSKOPSKI OPISI.....	13
7.1.1 DVOTINJČASTI GRANITOIDI Bt \gg Ms.....	13
7.1.2. DVOTINJČASTI GRANITOIDI Ms $>$ Bt	15
7.1.3. PEGMATITI.....	17
7.2.MIKROSKOPSKI OPISI	18
7.2.1. DVOTINJČASTI GRANITOIDI Bt \gg Ms.....	18
7.2.2. DVOTINJČASTI GRANITOIDI Ms $>$ Bt	23
7.2.3. PEGMATITI.....	29
8. DISKUSIJA	31
8.1. GRANITOIDI.....	31
8.2. PEGMATITI.....	32
8.3. OPACITIZACIJA	33

8.4.	HIDROTERMALNE ALTERACIJE	33
8.5.	SUPERGENE ALTERACIJE.....	34
9.	ZAKLJUČAK.....	35
10.	LITERATURA	36

Slika 1. Položaj planine Cer na karti	4
Slika 2. Geografska i geološka karta Srbije i Cera (Lazić i dr., 2009.).....	5
Slika 3. Geološka karta Cera (Mojsilović i dr., 1960-1968 i Zavod za geološka i geofizička istraživanja, 1959-1966)	7
Slika 4. Popis analiziranih uzoraka (lokacije uzorkovanja vidljive na Slici 3)	11
Slika 5. a) Uzorak C10 s crnim trakama biotita, sivim kristalima kvarca i bijelim kristalima feldspata b) Uzorak C17 s vidljivim kontaktom pegmatita i granitoida.....	14
Slika 6. a) Uzorak C2 s srebrnim muskovitom, crnim biotitom, mliječno bijelim feldspatom i sivim kvarcom. b) Uzorak C23 s srebrnim muskovitom, bijelim feldspatima i izrazit alteriranim biotitom.	16
Slika 7. Uzorak C21b s sivim kvarcom, mliječnobijelim feldspatom i crvenim granatom.	17
Slika 8. a) Zonalan plagioklas u uzorku C22a. N+. b) Biotit s uklopkom cirkona u uzorku C10. N+	21
Slika 9. a) Kloritizirani biotit u uzorku C10. N+ b) Cirkon u uzorku C10. N+	22
Slika 10 a) Granat s uklopcima kvarca u uzorku C14. N+. b) Muskovit s uklopcima biotita u uzorku C2. N+.	26
Slika 11 a) Mineral iz niza Gln-Rbk u uzorku C23. N. b) Mineral iz niza Gln-Rbk u uzorku C23. N+.	27
Slika 12. a) Limonitizacija u uzorku C23. N. b) Područja povišenja reljefa u ortoklasu u uzorku C2. N+.	28
Slika 13.a) Pertit u uzorku C17b. N+ b) Kvarc i ortoklas s pukotinama ispunjenim sericitom u uzorku C22b. N+	30
Slika 14. Kristalizacijski niz glavnih minerala u dvotinjčastim granitoidima.....	31

KORIŠTENE OZNAKE I KRATICE

HFSE - High Field Strength Element

LILE - Large Ion Lithophile Element

REE - Rare Earth Element/element rijetkih zemalja

µm - mikrometar

mm - milimetar

km - kilometar

KORIŠTENE KRATICE MINERALA (prema Slovenec i Bermanec, 2003)

Brl - beril

Bt - biotit

Zrn - cirkon

Gln - glaukofan

Grt - granat

Qtz - kvarc

Ms - muskovit

Or - ortoklas

Pl - plagioklas

Rbk - riebeckit

1. UVOD

Predmet ovog istraživanja su oligocenski granitoidi i pegmatiti s planine Cer koja se nalazi u sjeverozapadnom dijelu Republike Srbije. Ona je dio granitnog magmatskog pojasa koji pripada Sava-Vardar zoni koja je dio regionalnog plutonsko-vulkanskog pojasa koji se proteže između Panonskog bazena i Dinarida. Cer je lakolitna intruzija kompozitne građe koja se sastoji od I i S-tipa granita, a prilikom intruzije plutona došlo je do kontaktnog metamorfizma okolnih stijena koje pripadaju hornfels facijesu (Koroneos i dr, 2010)

Granitoidi su kisele, intruzivne magmatske stijene zrnate strukture sastavljene od kvarca, plagioklasa i alkalijskih feldspata uz moguće pojave amfibola, muskovita i biotita. Nastaju iz kiselih magmi s $>62\%$ SiO_2 i najčešće se pojavljuju u obliku velikih batolitnih intruzija. Detaljnije se klasificiraju prema omjeru plagioklasa i kalijjskih feldspata na alkalni granit, granit, kvarc monzonit, granodiorit i kvarcdiorit.

Pegmatiti su kisele, žilne magmatske stijene krupnokristalaste strukture sastavljene od kvarca, feldspata i muskovita uz pojavu turmalina, topaza, berila i drugih rijetkih minerala inkompatibilnih elemenata kao akcesornih minerala. Uz navedene minerale, pegmatiti mogu biti obogaćeni i LILE i HFSE elementima zbog čega mogu biti od visoke važnosti kao stijene domaćini rudnih minerala. Pegmatiti se najčešće se pojavljuju uz granitne intruzije, a nastaju izdvajanjem volatila bogate H_2O fluidne faze iz gušće silikatne taljevine (Robb, 2005).

Za pegmatite je karakteristična zonalna građa karakterizirana rubnom zonom na kontaktu s granitnim plutonom, gdje su pegmatiti sitnozrnasti i sastavljeni od K-feldspata i albita do jezgre sastavljene isključivo od kvarca. Pegmatiti obogaćeni rijetkim metalima i rijetkim elementima nalaze se u prijelaznoj zoni, između ruba i jezgre. Formiraju se na pritiscima od 3 do 5 kbar i dijele se na LCT (litij-cezij-tantal) i NYF (niobij-itrij-fluor) pegmatite. LCT pegmatiti obogaćeni su na litiju, ceziju i tantalu i asocirani su s S ili mješovitim S-I tipovima granita. NYF pegmatiti obogaćeni su na niobiju, itriju i fluoru i asocirani su s I-tipom granita (Ridley, 2013).

Pegmatiti su važni kao mogući izvor ekonomski isplativih koncentracija tantala, kositra, cezija, urana i rubidija te berilija i litija. Litij se pojavljuje najčešće u spodumenu, a kositar u kasiteritu u LTC tipovima pegmatita (Ridley, 2013).

Cilj ovog rada je mineraloška i petrografska analiza granita i pegmatita s planine Cer kojom će se detaljnije utvrditi njihove strukture, teksture i mineralni sastav. Uzorci su ispitani na makroskopskoj i mikroskopskoj razini, pri čemu je korištena metoda polarizacijske mikroskopije kako bi se odredilo postojanje korisne mineralizacije litija ili berilija na navedenom području.

Rad je izrađen u sklopu projekta iTarg3t (Innovative targeting & processing of Tin, Tungsten and Tantalum ores) kojem je cilj otkrivanje i razvoj novih ležišta W-Sn-Ta-Li te razvitak novih i ekonomičnih načina za njihovu obradu i eksploataciju.

2. GEOGRAFSKE KARAKTERISTIKE

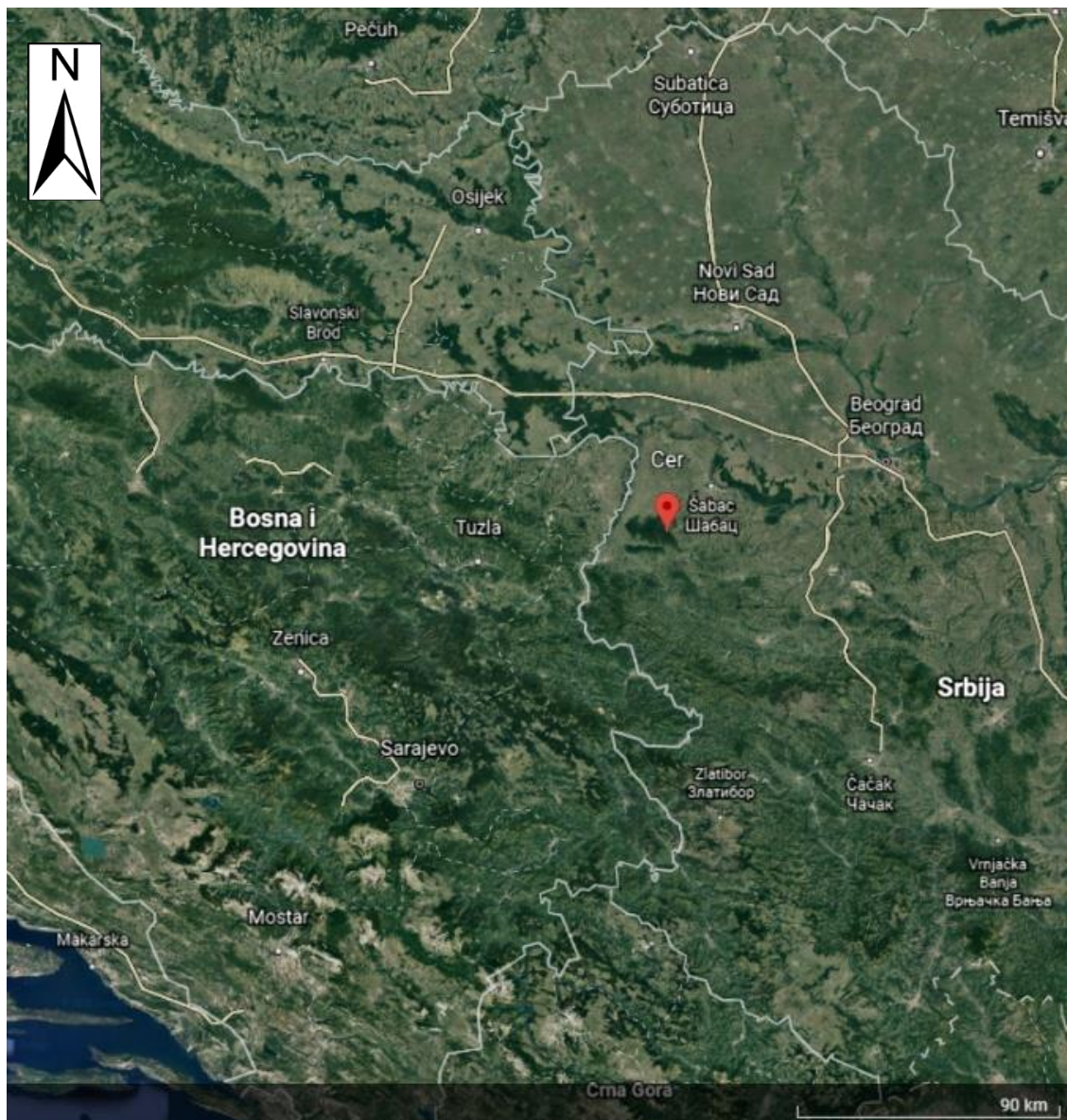
Planina Cer nalazi se u sjeverozapadnom dijelu Srbije, u blizini granice s Bosnom i Hercegovinom te na 100 kilometara udaljenosti od Beograda (slika 1). Omeđena je ravnicom rijeke Save na sjeveru, rijekom Lešnicom na jugu, rijekom Drinom na zapadu i Cerskom rekam i Dobravom na istoku.

Pružanje masiva je sjeverozapad-jugoistok, a proteže se na duljini od 15 kilometara. Najviši vrh Šančina nalazi se na 687 metara nadmorske visine, a nalazi se u središnjem dijelu masiva.

Navedeno područje nije naseljeno, ali ima veliki povijesni značaj zbog Cerske bitke iz Prvog svjetskog rata i ostataka Vidnog grada, Trojanovog grada te Kosaninog grada.

Prevladava umjereno topla kontinentalna klima, što pogoduje obilnoj vegetaciji koju čine livadno cvijeće, nisko raslinje i listopadno drveće poput bukve, graba i hrasta, od kojih je najviše hrasta cera po kojem je planina dobila ime.

Na planini Cer izvire rijeka Dobrava. Duga je 31 km i ulijeva se u rijeku Savu nizvodno od Šapca.



Slika 1. Položaj planine Cer na karti

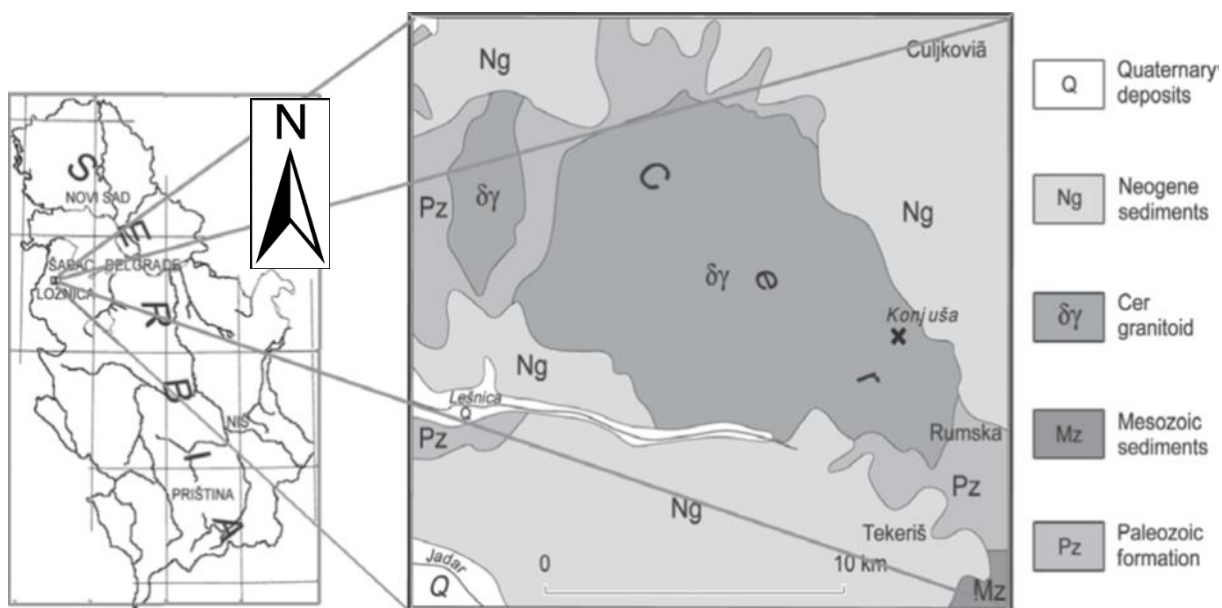
3. GEOLOŠKA PODLOGA

Planina Cer je složena magmatska intruzija lakolitnog oblika veličine ~60 km² pozicionirana između južnog dijela Panonskog bazena i Dinarida (slika 2) (Koroneos i dr., 2011).

Lakolit je intrudirao u stijene niskog stupnja metamorfizma koje spadaju u facijes zelenih škriljavaca devonske do permske starosti. Niskometamorfne stijene okružuju cijelu intruziju, osim na samome jugu gdje je pluton prekinut lešničkim normalnim rasjedom pružanja istok-zapad (Koroneos i dr., 2011).

Intruzija Stražanica vezana je uz planinu Cer, nalazi se na njegovom sjeverozapadnom tijelu i pružanja je sjever-istok. Površine je ~7 km². Odvojena je od glavnog dijela cerskog plutona uskim pojasom kontaktno-metamorfoziranih stijena (Koroneos i dr., 2011).

Cerski granitoidi podijeljeni su u tri grupe s obzirom na svoj petrografski sastav: kvarc-monzoniti do kvarc-monzodioriti, dvotinjčasti graniti i granodioriti do kvarc monzoniti sa Stražanice (slika 2 i slika 3) (Koroneos i dr., 2010).



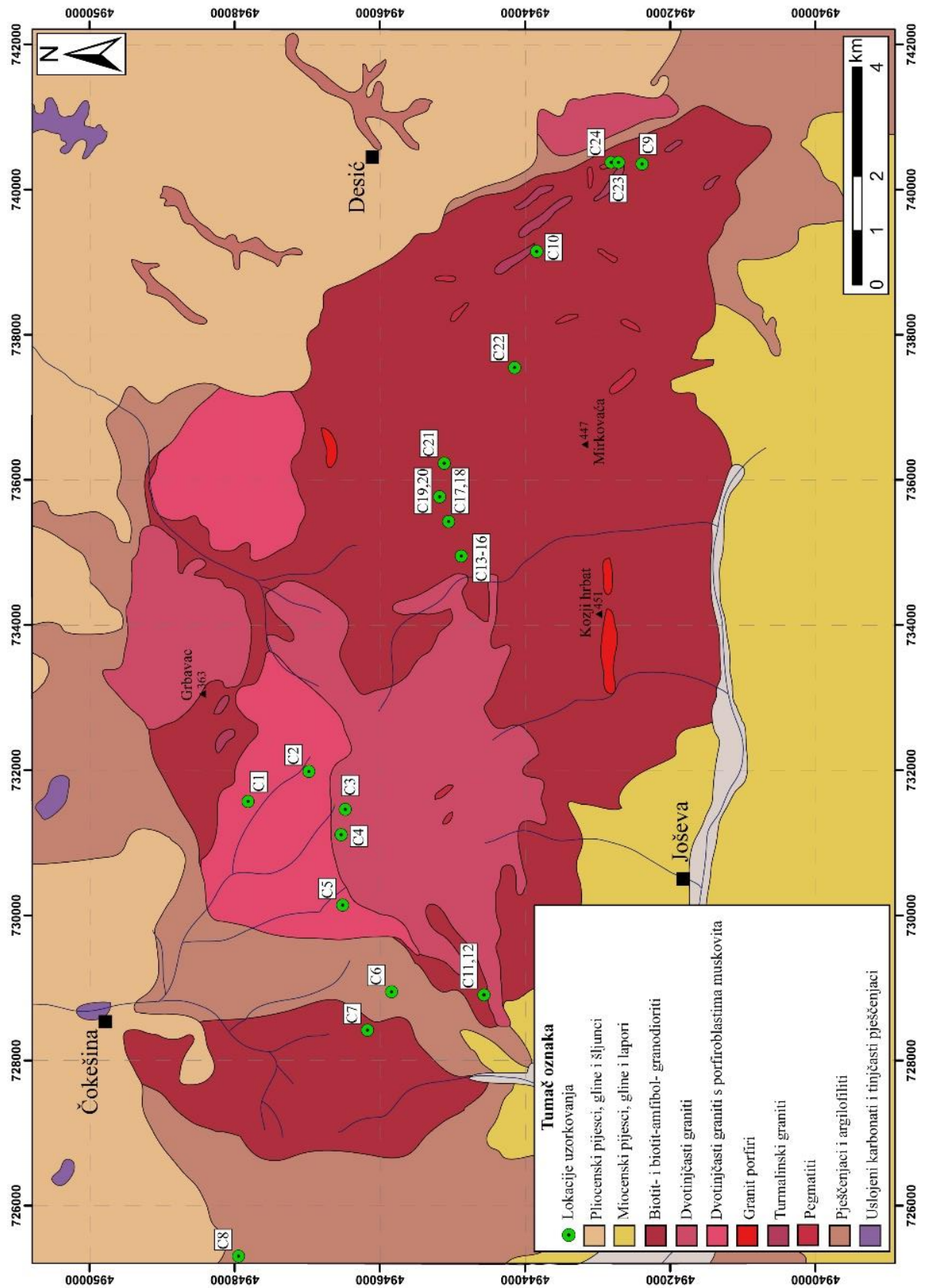
Slika 2. Geografska i geološka karta Srbije i Cera (Lazić i dr., 2009.)

Slika 3 prikazuje geološku kartu planine Cer (Mojsilović i dr., 1960-1968 i Zavod za geološka i geofizička istraživanja, 1959-1966). Iz karte je vidljiva detaljna geološka građa plutona.

Središnji dio plutona izgrađen je od kvarc-monzodiorita. Oni su sivi do tamnosivi, alotriomorfni, najčešće zrnate strukture, rjeđe porfiroidne strukture s velikim zrnima K-feldspata. Glavni minerali su K-feldspat, kvarc, plagioklas, biotit, muskovit i hornblenda, a kao akcesorni minerali mogu se pojaviti titanit, alanit, epidot, cirkon, apatit, rutil, magnetit i ilmenit. Unutar kvarc-monzodiorita mogu se pojaviti leće mafitnih stijena. One su tamne, centimetarskih dimenzija, hipidiomorfne, zrnate strukture i sastoje se od amfibola, plagioklasa i biotita kao glavnih minerala i K-feldspata, titanita, apatita, alanita i epidota kao akcesornih minerala (Koroneos i dr., 2011).

Dvotinjčasti graniti pojavljuju se uz rubove plutona. Oni su sitno- do srednjezrnasti, hipidiomorfni, zrnate strukture i masivne teksture. Glavni minerali su kvarc, K-feldspat, plagioklas, muskovit i biotit, a akcesorni su granat, turmalin, apatit, rutil i cirkon (Koroneos i dr., 2011.).

Granodioriti do kvarc-monzoniti sa Stražanice su svijetlosive boje, hipidiomorfni i zrnate strukture. Glavni minerali su kvarc, plagioklas, K-feldspat i biotit. Cirkon, alanit, apatit, muskovit, epidot i titanit mogu se pojaviti kao akcesorni minerali (Koroneos i dr., 2011).



Slika 3. Geološka karta Cera (Mojsilović i dr., 1960-1968 i Zavod za geološka i geofizička istraživanja, 1959-1966)

Područje Cera odlikuje se povećanim vrijednostima prirodne radioaktivnosti, a prema Lazić i dr., (2009.) ta radioaktivnost potječe iz uranskih minerala meta-autunita. Oni su sitni žuti kristali veličine 1-2 mm i najčešće ispunjavaju pukotine u prethodno navedenim stijenama.

4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Prema Kneževiću, Karamati i Cvetkoviću (1994) paralelno južnom rubu Panonskog bazena, od Bukulje na istoku, preko Brajkovca, Cera, Stražanice, Bogatića, Motajice i Prosare proteže se pojas tercijskih granitnih stijena. Cer pripada oligocensko-miocenskom pojasu Bukulja-Cer-Motajica. Graniti s navedenog područja formirani su u 3 faze, iz I i S-tipa granita. S područja Cera najstariji su kvarc-monzoniti koji potječu od I-tipa magme. Nakon njih slijede muskovitom bogati graniti čije je porijeklo iz S-tipa magme.

Prema Cvetković i dr. (2002) nastanak planina Cera i Bukulje, uz masive Stražanicu i Brajkovac uvjetovan je kolizijskom i post-kolizijskom tektonikom u paleogenu i neogenu. Također, granitoidi s područja Cera i Bukulje detaljnije su klasificirani na tonalite do monzodiorite, dvotinčaste granite i hornblenda-biotit tonalite do granodiorite. Stijene su datirane K/Ar metodom. Starost hornblenda-biotit tonalita do granodiorita određena je na 28 milijuna godina, a dvotinčastih granita na 15-17 milijuna godina.

Prema Lazić i dr. (2009), dvotinčasti graniti sa zapadnog dijela Cera formirani su metasomatizmom granodiorita i kvarc-monzonita. Proces je započeo biotitizacijom hornblende i završio građenizacijom. Povećanje udjela litija karakteristično je za prvu fazu metasomatskih procesa. Za kasnije faze karakteristično je povećanje udjela kositra, berilija, niobija, tantala, urana i bizmuta. Zbog navedenih procesa na Ceru je pronađeno više od 50 mineralnih vrsta. U blizini Konjuše zabilježena je pojava litijem bogatih pegmatita. Glavni minerali u takvim pegmatitima su kvarc, kalijski feldspat, tinjci i spodumen, a akcesorni minerali su granat, turmalin i beril. Navedeni litijem bogati pegmatiti bili su izloženi hidrotermalnim alteracijama zbog kojih je spodumen prešao u hidrogenizirani muskovit, a stijena je raspucala. Nastale pukotine zapunjene su sekundarnim kvarom, željeznim hidroksidima i meta-autunitom koji pripada skupini uranskih minerala.

Koroneos i dr. (2011) zaključuju da oligocenski graniti s cerskog područja odgovaraju I-tipu granita plašnog porijekla, a miocenski iz S-tipu granita porijekla iz gornjeg dijela kore. Miocensko-oligocenska plutonska tijela Cer i Bukulja pokazuju karakteristike S-tipa granita te ne pokazuju iste petrografske i geokemijske karakteristike kao oligocenski granitoidi u Dinaridima. Granitoidi u Dinaridima razlikuju se od granitoida s Cera i Bukulje po tome što vuku porijeklo iz I-tipa magme te su nastali u drugačijim geodinamičkim uvjetima. Nadalje,

klasificirali su granitoide s područja Cera u tri skupine. Dvotinčasti graniti, kvarc monzoniti do kvarc monzodioriti i granodioriti do kvarc monzoniti sa Stražanice. Uz njih, postoje i mafitne enklave koje se pojavljuju isključivo u kvarc monzonitima do kvarc monzodioritima. Specifične su po tome što je u njima glavna feromagnezijska faza hornblenda, dok je u ostalim stijenama to biotit. Mafitne enklave pokazuju starost od 16-26 milijuna godina.

Tančić, Poznanović i Dimitrijević (2010) posebno su proučavali beril nađen u cerskim pegmatitima. Pokazuje značajno odstupanje od idealne formule berila. Zaključili su da na području Cera postoje dva tipa berila: normalni tip berila i litijem bogati beril. Obogaćenje litijem karakteristično je za prvu fazu metasomatizma.

5. UZORKOVANJE

S planine Cer prikupljena su 24 uzorka s označenih lokacija (slika 3). Uzorci C2, C10, C12, C14, C17, C21, C22 i C23 analizirani su u okviru ovog rada (slika 4).

BROJ UZORKA	MAKROSKOPSKA ANALIZA	MIKROSKOPSKA ANALIZA
C1		
C2	+	+
C3		
C4		
C5		
C6		
C7a i C7b		
C8		
C9		
C10	+	+
C11		
C12	+	+
C13		
C14	+	+
C15		
C16		
C17a i C17b	+	+
C18a i C18b		
C19a i C19b		
C20a i C20b		
C21a i C21b	+	+
C22a i C22b	+	+
C23	+	+
C24		

Slika 4. Popis analiziranih uzoraka (lokacije uzorkovanja vidljive na Slici 3)

6. METODE ISTRAŽIVANJA

Uzorci su u svrhu ovog istraživanja promatrani na makroskopskoj i mikroskopskoj razini.

Za analizu uzoraka na makroskopskoj razini korišteni su set za određivanje relativne tvrdoće minerala prema Mohsovoj skali i džepna lupa.

Za analizu uzoraka na mikroskopskoj razini korištena je metoda polarizacijske mikroskopije kojom se promatraju providni minerali pomoću polarizirane svjetlosti. Pri izradi preparata uzorci stijena brušeni su na debljinu od 30 μm i zalijepljeni na predmetno stakalce pomoću kanada balzama, smole određenog indeksa loma ($n=1,537$).

Mikroskopski preparati promatrani su petrografskim mikroskopom OPTIKA B-1000 s povećanjima 5x, 10x, i 20x, a mikrofotografije su izrađene kamerom OPTIKA C-P6 FL pomoću softvera OPTIKA ProView u Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine.

7. REZULTATI ANALIZA

Granitoidi s planine Cer, kao što je navedeno u 4. poglavlju, obrađeni su od strane više autora. U ovom završnom radu obrađeni su s aspekta sadržaja mafitne komponente i omjeru tinjaca u njima.

7. MAKROSKOPSKI OPISI

Na makroskopskoj razini uzorci C10, C17a, C21a i C22a grupiraju se u skupinu dvotinčastih granitoida s udjelom biotita puno većim od udjela muskovita ($Bt \gg Ms$). Uzorci C2, C12, C14 i C23 se svrstavaju u skupinu dvotinčastih granitoida s udjelom muskovita većim od udjela biotita ($Ms > Bt$). Uzorci su klasificirani kao granitoidi jer na makroskopskoj razini nije bilo moguće razlikovati kalijске feldspate i plagioklase jer svi pokazuju jednaku boju. U pegmatite spadaju uzorci C17b, C21b i C22b.

7.1.1 DVOTINČASTI GRANITOIDI $Bt \gg Ms$

Uzorci C10, C17a, C21a i C22a su homogene teksture i zrnate strukture.

Glavni, primarni minerali su kvarc, feldspat, biotit i muskovit, a akcesorni je pirit. Sekundarni mineraloid je limonit.

Kvarc prevladava sa 45-60% udjela. Pojavljuje se u obliku prozirnih, sivih, alotriomorfnih kristala dimenzija 2-10 mm.

Zastupljenost feldspata u uzorcima je 20-45%. Mliječno bijele su boje, alotriomorfnog do hipidiomorfnog, izduženog habitusa i dimenzija 2-10 mm.

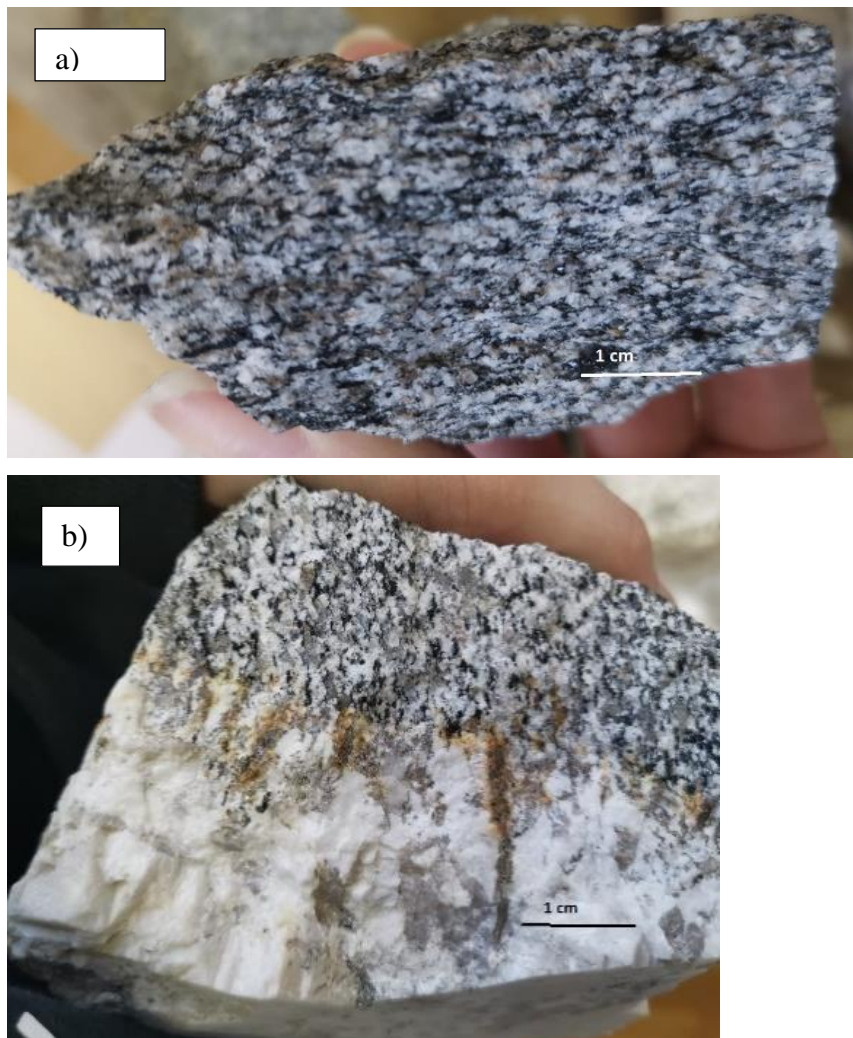
Biotit, kao mafitna komponenta u uzorcima, zastupljen je sa 10-20% u uzorcima. Pojavljuje se u obliku crnih listića, alotriomorfnog do hipidiomorfnog, izduženog habitusa dimenzija 4-9 mm. U uzorku C10 mjestimično je zelen zbog kloritizacije i trakasto uslojen tvoreći pseudoškrljavost (slika 5a).

Od navedenih uzoraka najmafitniji je C22a koji sadrži 20% mafitne komponente, a slijedi C10 u kojem je udio mafitne komponente $\approx 15\%$. U uzorcima C21a i C17a udio mafitne komponente je $\approx 10\%$.

Muskovit se pojavljuje u uzorku C10 u obliku sitnih, srebrnih listića alorimorfnog habitusa i dimenzija 1-2 mm.

Sulfidi se pojavljuju u obliku sitno raspršenog pirita žute boje unutar biotita u uzorcima C10, C17a i C21a.

Sekundarni minerali i mineraloidi, nastali kao produkt alteracija primarnih minerala, prisutni su u uzorku C17a na prijelazu iz granitnog u pegmatitni dio uzorka (slika 5b). Kao sekundaran mineraloid u ovom uzorku pojavljuje se limonit, smeđe boje, nastao alteracijom biotita.



Slika 5. a) Uzorak C10 s crnim trakama biotita, sivim kristalima kvarca i bijelim kristalima feldspata b) Uzorak C17 s vidljivim kontaktom pegmatita i granitoida

7.1.2. DVOTINJČASTI GRANITOIDI Ms>Bt

Uzorci C2, C12, C14 i C23 su homogene teksture. Zrnatu strukturu imaju uzorci C2, C14 i C23, dok uzorak C12 ima zrnatu do porfiroidnu strukturu.

Primarni minerali u navedenim uzorcima su kvarc, feldspat, muskovit i biotit, a akcesoran je granat. Sekundarni su minerali glina i mineraloid limonit.

Kvarc je zastupljen u svim uzorcima, s iznimkom uzorka C23, sa 20-40%. Zrna su prozirna, sive boje, alotriomornog habitusa, dimenzija do 10 mm. Kod uzorka C23 kvarc makroskopski, na površini uzorka nije vidljiv zbog izrazitog trošenja okolnih minerala.

U navedenim uzorcima najzastupljeniji je feldspat s 50-70% udjela. Mliječno bijele su boje, alotriomornog do hipidiomornog habitusa, dimenzija do 5 mm.

Muskovit je zastupljen sa 1-25% udjela u uzorcima. Pojavljuje se u obliku sjajnih, srebrnih listića alotriomornog do hipidiomornog habitusa (slika 6a), dimenzija 1-10 mm.

Biotit, mafitna komponenta u uzorcima, zastupljen je sa 2-5% u navedenim uzorcima. Pojavljuje se u obliku sjajnih, crnih listića alotriomornog do hipidiomornog habitusa, dimenzija 2-12 mm.

Granat se pojavljuje kao akcesorni minerali u uzorcima C14 i C23. Smeđe do crvene su boje, idiomornog izometričnog habitusa, dimenzija 1-3 mm.

Sekundarni minerali i mineraloid prisutni su u uzorcima C12, C14 i C23. U navedenim uzorcima prisutan je limonit, smeđe boje, nastao alteracijom biotita. Alteracija biotita najizraženija je u uzorku C23 (slika 6b), gdje su listići biotita uslijed alteracije poprimili potpuno smeđu boju, dok je najslabije izražena u uzorku C14 gdje se oko biotita pojavio smeđi obrub. U uzorku C23 prisutni su minerali glina nastali alteracijom feldspata.



Slika 6. a) Uzorak C2 s srebrnim muskovitom, crnim biotitom, mliječno bijelim feldspatom i sivim kvarrcem. b) Uzorak C23 s srebrnim muskovitom, bijelim feldspatima i izrazit alteriranim biotitom.

7.1.3. PEGMATITI

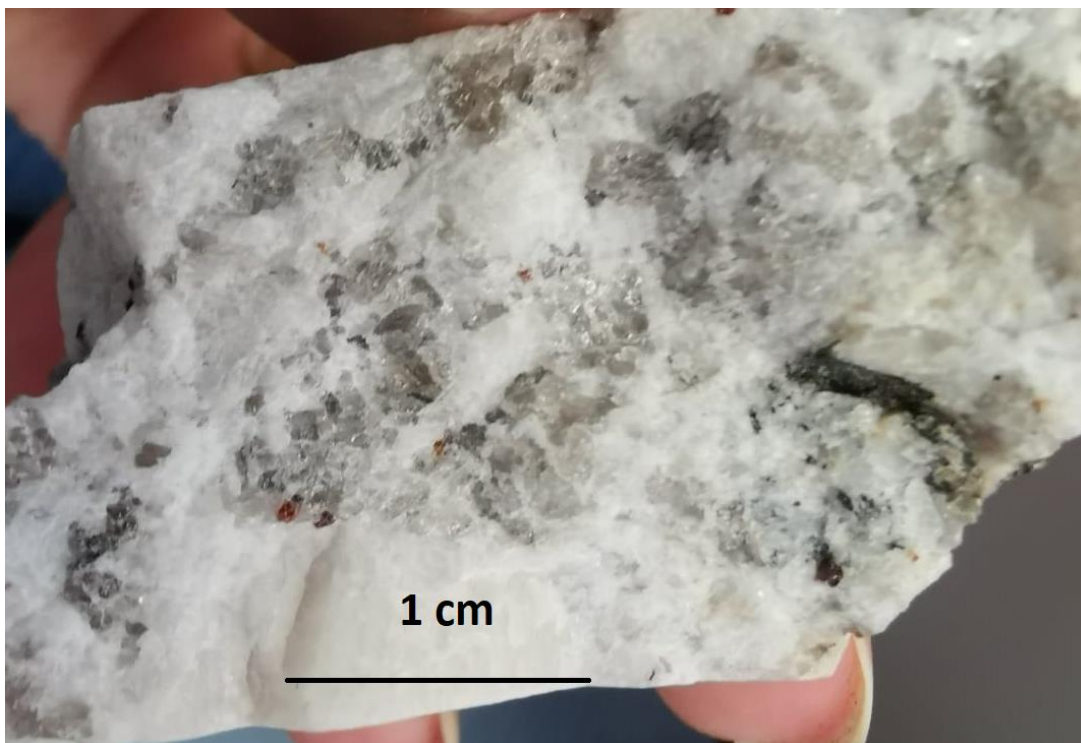
U pegmatite spadaju uzorci C17b, C21b i C22b. Tekstura je nehomogena, a struktura krupnozrnata odnosno pegmatitna. Leukokratni su.

Primarni minerali u navedenim uzorcima su kvarc i feldspati a akcesorni beril i granat.

Kvarc je u uzorcima zastupljen sa 40-50% udjela. Zrna su prozirna, sive boje, alotromornog habitusa, dimenzija 5-15 mm.

Feldspati su prisutni sa 40-60% udjela. Mliječno bijele su boje, hipidiomornog habitusa, dimenzija 2-15 mm.

Granat i beril prisutni su kao akcesorni minerali. Beril je prisutan u uzorcima C21b i C22b. Svijetle boje, sivkaste do svijetlosmeđe, hipidiomornog habitusa, dimenzija 10-20 mm. Od feldspata se razlikuje po nešto tamnijoj nijansi i tvrdoći većoj od 8 na Mohsovoj ljestvici. Granat je prisutan u uzorku C21b. Crvene je boje, idiomornog kuglastog habitusa, dimenzija 1 mm (slika 7).



Slika 7. Uzorak C21b s sivim kvarcom, mliječnobijelim feldspatom i crvenim granatom.

7.2. MIKROSKOPSKI OPISI

Na mikroskopskoj razini u skupinu uzoraka dvotinjčastih granitoida u kojima je udio biotita puno veći od udjela muskovita ($Bt \gg Ms$) spadaju uzorci C10, C17a, C21 i C22a. U skupinu uzoraka dvotinjčastih granita u kojima je udio muskovita veći od udjela biotita ($Ms > Bt$) spadaju uzorci C2, C12, C14 i C23. U pegmatite spadaju uzorci C17b i C22b. Uzorak C21b nije mikroskopski analiziran jer mikroskopski preparat nije zahvatio pegmatitni dio uzorka.

Ograničenje mikroskopskih opisa uzoraka je mala površina koju zahvaća preparat.

7.2.1. DVOTINJČASTI GRANITOIDI $Bt \gg Ms$

Uzorci C10, C17a, C21 i C22a imaju granularnu strukturu, a kod uzoraka C10C C17a i C21 javlja se mirmekitno proraštanje kvarca i plagioklasa.

Primarni minerali u navedenim uzorcima su kvarc, plagioklas, biotit i muskovit, a akcesorni su hornblenda, titanit, beril, apatit, turmalin, cirkon i opaki minerali. Sekundarni minerali su korit i sericit te mineraloid limonit.

Kvarc je zastupljen s 20-30% udjela, a pojavljuje se u obliku bezbojnih zrna alotriomornog habitusa dimenzija od 0,04x0,02 mm do 5x5 mm. Karakteriziraju ga svjež izgled, siva interferencijska boja I. reda i undulozno potamnjenje.

Plagioklas je zastupljen s 25-40% udjela. Pojavljuje se u obliku bezbojnih zrna četverostranog, izduženog hipidiomornog habitusa dimenzija od 0,16x0,1 mm do 3,35x1,35mm. Umjereno su trošeni, a pukotine nastale trošenjem ispunjene su sericitom. Pokazuje sive interferencijske boje I. reda te u većini slučajeva karakteristične polisintetske sraslačke lamele, dok manji broj zrna u uzorcima C10, C17a i C22a pokazuje zonalnost (slika 8a). U uzorku C10 sadrže malu količinu uklopaka biotita.

Ortoklas je zastupljen s 5-40% udjela. Pojavljuje se u obliku bezbojnih zrna alotriomornog do izduženog, četverostranog, hipidiomornog habitusa dimenzija od 0,06x0,04 mm do 1,75x1,3 mm. Umjereno je trošen što je vidljivo po višem reljefu na pojedinim dijelovima zrna. Moguća alteracija kao uzrok povišenju reljefa bila bi pojava kriptokristalastog coisita. Pojavljuju se pukotine ispunjene sericitom.

Biotit je zastupljen s 10-15% udjela. Pojavljuje se u obliku smeđih, u uzorcima C10 i C17a i zelenih, listića izduženog, četverostranog hipidiomorfno habitusa dimenzija od 0,06x0,04 do 2,2x0,3 mm. Ima izraženi plokroizam i pseudoapsorpciju te jednostruku kalavost. Pod uključenim analizatorom pokazuje prekrivanje vlastitom bojom. U uzorku C21 sadrži uklopke muskovita, cirkona i ortoklasa. U uzorku C10 prisutan je u trakastim nakupinama zbog čega uzorak pokazuje pseudoškrljavu teksturu te je prisutna opacitizacija biotita koja se očituje tamnim, gotovo opakim zrnima.

Muskovit je prisutan samo u uzorku C21 i to pretežito kao listići milimetarskih dimenzija uklopljeni u biotitu. Zastupljen je s manje od 1% udjela i pojavljuje se u obliku bezbojnih, sitnih listića izduženog, četverostranog, hipidiomorfno habitusa s izraženom pseudoapsorpcijom i jednostrukom kalavosti. Pod uključenim analizatorom pokazuje žive interferencijske boje II. reda.

Hornblenda je prisutna u uzorku C10 i zastupljena je s 5% udjela. Zelene je boje i pojavljuje se u obliku uzdužnih, četverostranih hipidiomorfno presjeka i šesterostranih hipidiomorfno presjeka do idiomorfno presjeka (slika 8b). prosječne dimenzije zrna su 2,3x0,6 mm. Pokazuje pleokroizam i kalavost u uzdužnom presjeku. Sadrži uklopke kvarca i cirkona.

Titanit je prisutan u uzorcima C10, C21 i C22. Bezbojan je do blago smeđ, zrna su zaobljenog do izduženog alotriomorfno habitusa dimenzija od 0,025x0,015 mm do 0,6x0,2 mm. Zrna sadrže puno poprečnih pukotina i vrlo visokog su reljefa. Pod uključenim analizatorom pokazuje bijelu interferencijsku boju višeg reda ili prekrivanje vlastitom bojom.

Beril je prisutan u uzorku C10 u obliku sitnih, bezbojnih zrna izduženog, četverostranog, hipidiomorfno habitusa dimenzija 0,1x0,5 mm. Pod uključenim analizatorom pokazuje sivu interferencijsku boju I. reda i potamnjenje paralelno izduženju. Negativnog je optičkog karaktera izduženja.

Apatit se pojavljuje u uzorku C21 u obliku bezbojnih zrna, izduženog, hipidiomorfno habitusa dimenzija 0,18x0,08 mm. Visokog je reljefa i pod uključenim analizatorom pokazuje potamnjenje paralelno izduženju.

Cirkon se pojavljuje u uzorcima C10 i C21 u obliku bezbojnih zrna izduženog, hipidiomornog habitusa dimenzija od 0,045x0,03 do 0,1x0,05 mm. Vrlo su visokog reljefa i pod uključenim analizatorom pokazuju žarke interferencijske boje III. i IV. reda (slike 8b i 9b).

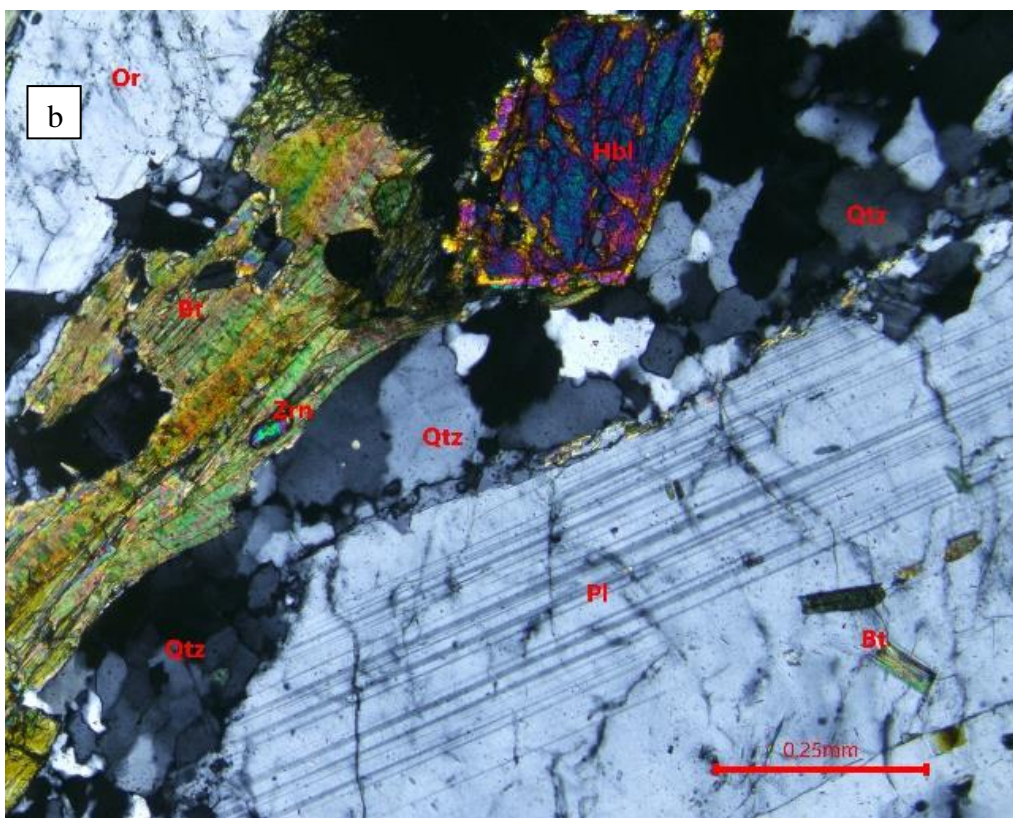
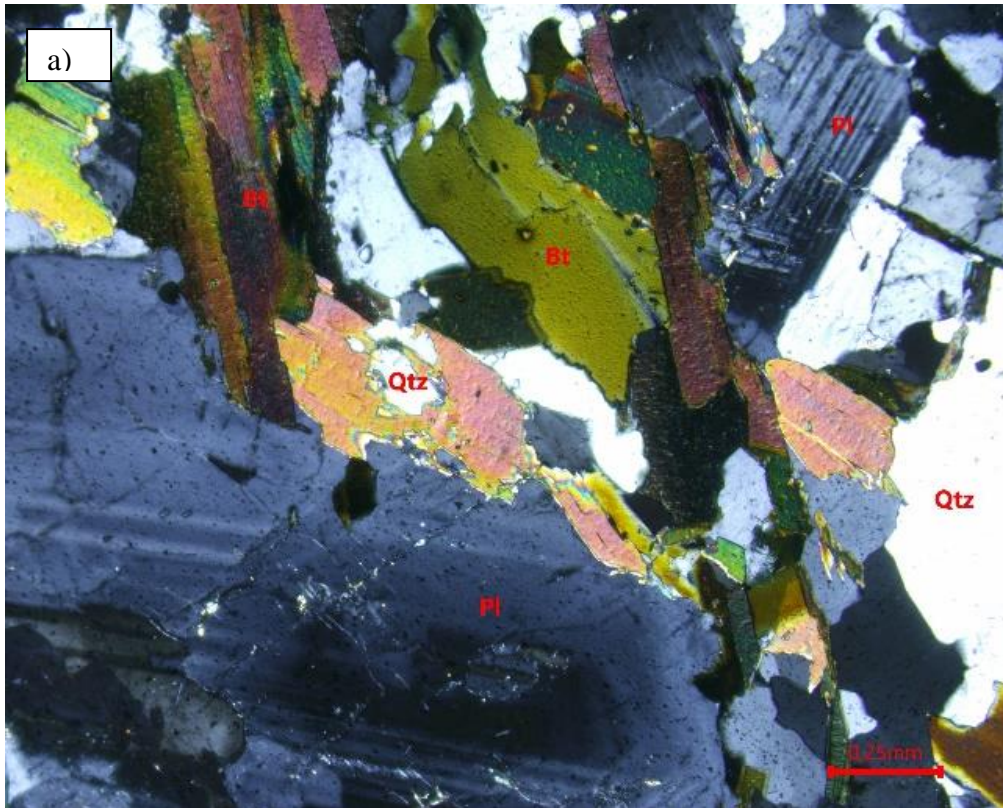
Turmalin je prisutan u uzorcima C17a i C21a u obliku smeđih zrna izduženog, hipidiomornog habitusa ili u obliku hipidiomornog izometričnog habitusa. Prosječnih dimenzija 0,6x0,2 mm. Ima poprečne pukotine i izražen pleokroizam.

Opaki minerali su prisutni uzorcima C17a, C21 i C22a. Zrna su potpuno tamna i alotriomornog habitusa. S obzirom na to da je u makroskopskim opisima C17a i C22a primijećen pirit u formi diseminiranih zrna, moguće je da je u tim uzorcima kao opaki mineral prisutan pirit.

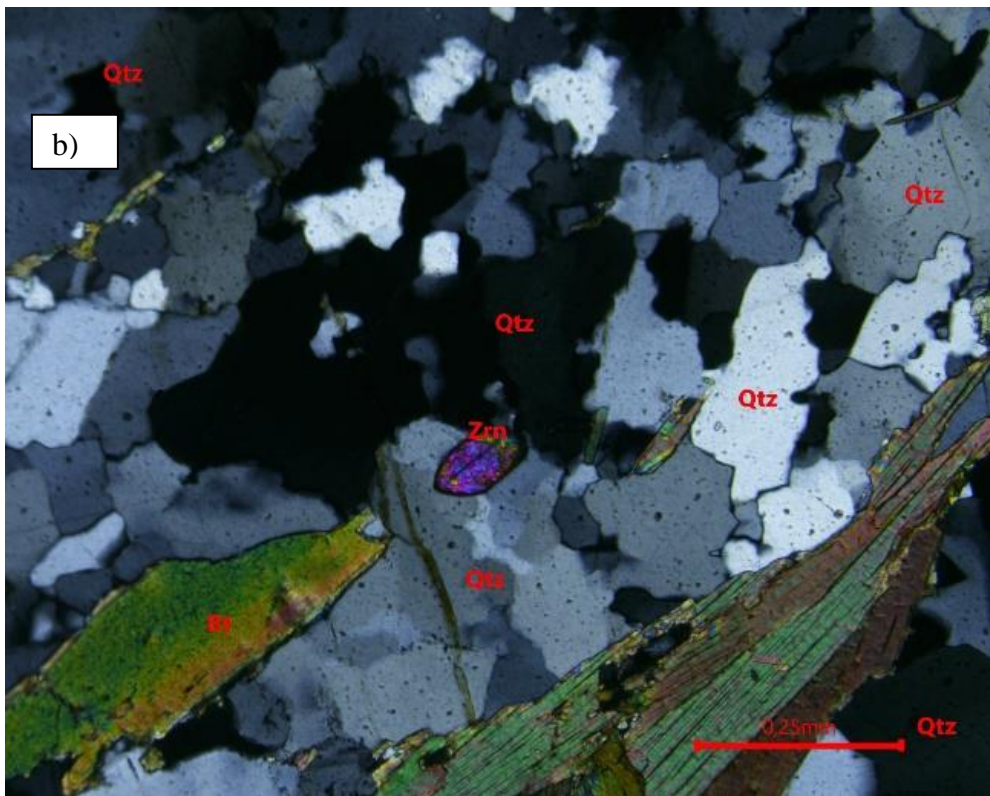
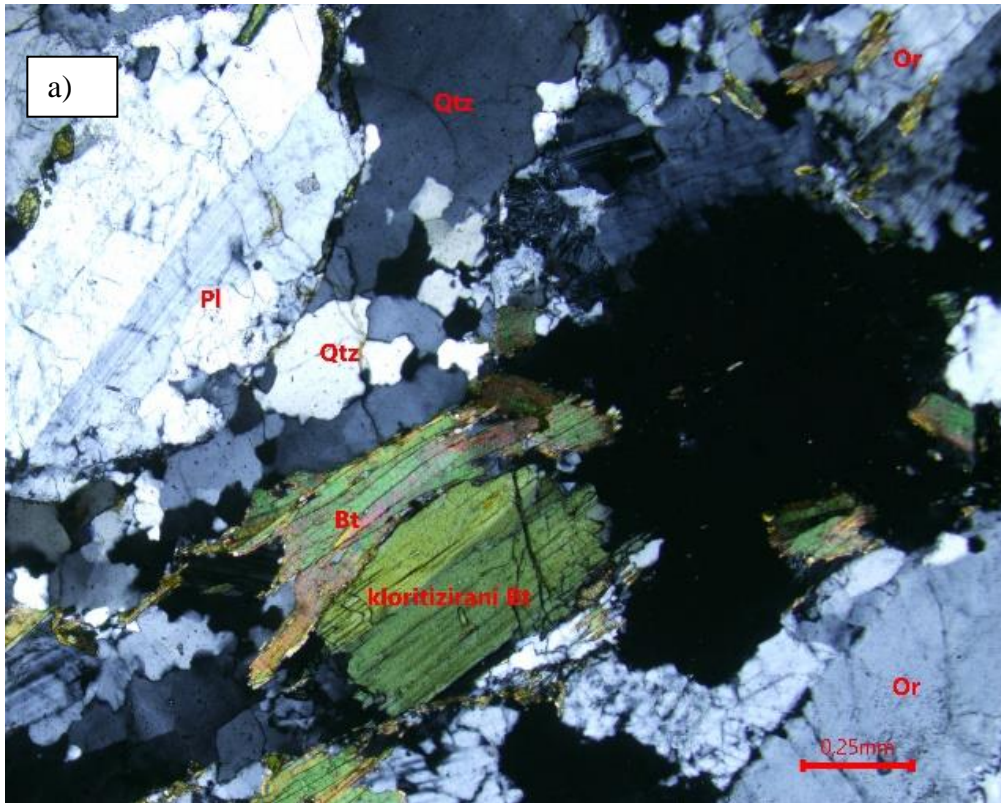
Klorit je nastao kao produkt alteracije biotita (slika 9a), i u slučaju uzorka C10 hornblende. Zastupljen je s 5% udjela. Zelene je boje i pokazuje pleokroizam, a u uzorku C22a pod uključenim analizatorom pokazuje karakterističnu anomalnu lavendulasto plavu interferencijsku boju.

Limonit se pojavljuje u uzorcima C10 i C17a i zastupljen je s 2-5%. Nastaje alteracijom biotita i opakih minerala. Crvene do smeđe boje je i zapunjava prostor i pukotine između zrna.

Sericit se pojavljuje u uzorku C22a i zastupljen je s 5% udjela. Zapunjava pukotine u ortoklasu i plagioklasima i karakteriziran je živim interferencijskim bojama.



Slika 8. a) Zonalan plagioklas u uzorku C22a. N+. b) Biotit s uklopkom cirkona u uzorku C10. N+



Slika 9. a) Kloritizirani biotit u uzorku C10. N+ b) Cirkon u uzorku C10. N+

7.2.2. DVOTINJČASTI GRANITOIDI Ms>Bt

Uzorci C2, C12, C14 i C23 imaju zrnatu strukturu koja kod uzorka C12 prelazi u porfiroidnu. Kod uzorka C14 prisutan je pertit, a kod uzorka C23 mirmekitno proraštanje kvarca i plagioklasa.

Primarni minerali u navedenim uzorcima su kvarc, plagioklas, ortoklas, biotit i muskovit, a akcesorni granat, cirkon, glaukofan-riebeckit i aktinolit. Sekundarni su minerali klorit, sericit i minerali glina te mineraloid limonit.

Kvarc je zastupljen s 20-30% udjela. Pojavljuje se u obliku bezbojnih zrna alotriomornog habitusa dimenzija od 0,05x0,025 mm do 1,35x0,6 mm. Svjež je i ne pokazuje znakove trošenja. Pod uključenim analizatorom pokazuje sivu interferencijsku boju I. reda i undulozno potamnjenje. U uzorku C23 sadrži uklopke muskovita.

Plagioklas je zastupljen s 10-25% udjela. Pojavljuje se u obliku bezbojnih zrna izduženog, četverostranog, hipidiomornog habitusa dimenzija od 0,45x0,2 mm do 2,25x0,95 mm. Po površini zrna vidljivi su znakovi trošenja u sericit, posebno u uzorku C2. Pod uključenim analizatorom pokazuje sivu interferencijsku boju I. reda, potamnjenje koso prema izduženju i karakteristične polisintetske sraslačke lamele.

Ortoklas je prisutan je 25-55% udjela. Pojavljuje se u obliku bezbojnih zrna četverostranog hipidiomornog do alotriomornog habitusa dimenzija od 0,2x0,12 mm do 3x2,5 mm. Zrna su raspucala i unutar pukotina se nalazi sericit. Pokazuju izrazito trošenje koje se pojavljuje kao povišenje reljefa po cijelom zrnju, moguće zbog alteracije u coisist. U uzorku C23 vidljiva je alteracija feldspata u minerale glina. Pod uključenim analizatorom pokazuje sivu interferencijsku boju I. reda. Zrna u uzorcima C14 i C23 sadrže uklopke muskovita, a zrna u uzorku C14 sadrže uklopke sericita.

Biotit je zastupljen s 3-5% udjela. Pojavljuje se u obliku smeđih listića izduženog, četverostranog, hipidiomornog habitusa dimenzija od 0,1x0,05 mm do 2,25x0,25 mm. Pokazuje pleokroizam i ima izraženu jednostruku kalavost. Pod uključenim analizatorom pokazuje prekrivanje vlastitom bojom i u uzorku C2 strukturu ptičjeg oka. Zrna u uzorku C12 sadrže uklopke muskovita.

U uzorku C2 prisutan je mineral smeđe do žutozelene boje u obliku radijalno zrakastih agregata, sličnih karakteritika biotitu, no nije bilo moguće sa sigurnošću odrediti radi li se o biotitu ili stilpnomelanu.

Muskovit je zastupljen s 5-10% udjela. Pojavljuje se u obliku bezbojnih listića izduženog, četverostranog, hipidiomorfno habitusa dimenzija od 0,06x0,02 mm do 3,25x0,9 mm. Pokazuje izraženu pseudoapsorpciju i ima izraženu jednostruku kalavost. Pod uključenim analizatorom pokazuje žive interferencijske boje II. reda. Strukturu ptičjeg oka pokazuje u uzorku C2. U uzorcima C14 i C23 pojavljuje se i u obliku dvojnih sraslaca. U uzorku C2 zrna muskovita sadrže uklopke biotita (slika 10b). U uzorku C23 pokazuje blago undulozno potamnjenje.

Granat se pojavljuje u uzorcima C2, C14 i C23 u obliku zrna šesterostranog, hipidiomorfno do idiomorfno habitusa dimenzija od 0,15x0,15 mm do 2,075x1,7 mm. Zrna su bezbojna do blago smeđe boje. U uzorku C2 pukotine duž cijelog zrna su ispunjene sericitom. U uzorcima C14 i C23 pokazuju blagu anizotropiju, zrna su dezintegrirana i sadrže uklopke kvarca (slika 10a).

Cirkon se pojavljuje u uzorku C23 u obliku bezbojnih, vrlo sitnih zrna izduženog, hipidiomorfno habitusa i vrlo visokog reljefa, dimenzija 0,03x0,05 mm. Pod uključenim analizatorom pokazuju žive interferencijske boje III. i IV. reda.

Mineral iz niza glaukofan-riebeckit pojavljuje se u uzorku C23 u obliku plavih zrna četverostranog hipidiomorfno do alotriomorfno habitusa dimenzija od 0,16x0,06 mm do 2,2x0,8 mm. Zrna su dezintegrirana, plave boje i izraženog pleokroizma od svijetlo plave do tamno plave boje te neka pokazuju jednostruku kalavost (slike 11a i 11b). Pod uključenim analizatorom pokazuju prekrivanje vlastitom bojom i potamnjenje gotovo paralelno prema kalavosti. Prema negativnom optičkom karakteru izduženja određeno je da se radi o riebeckitu.

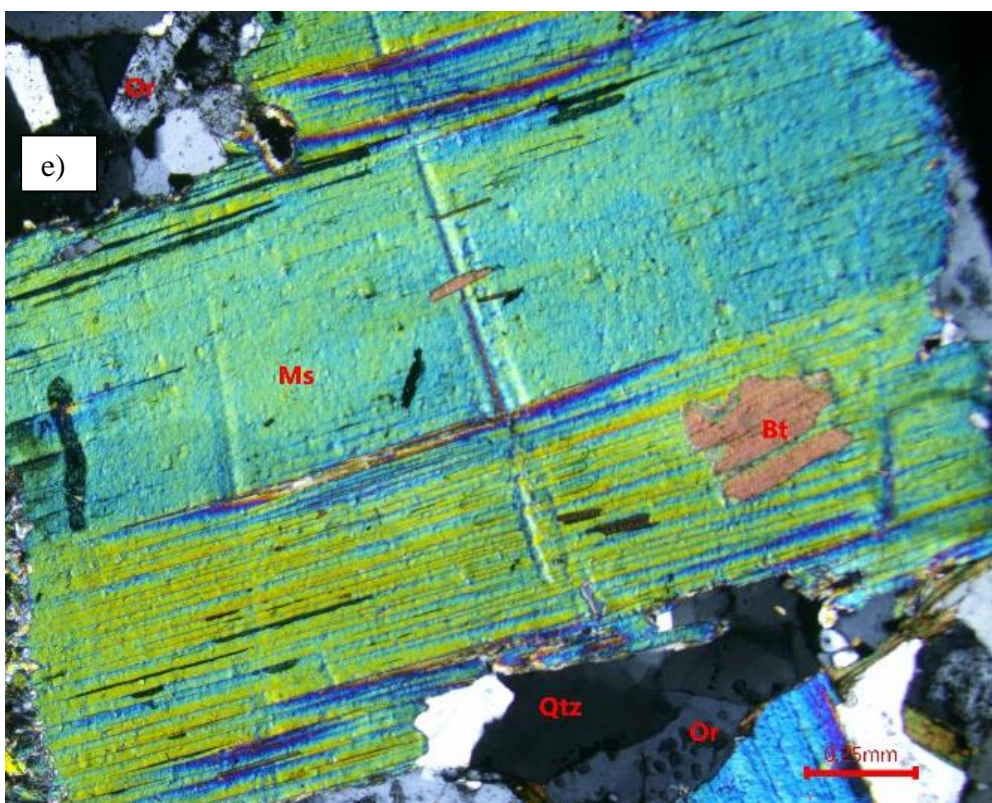
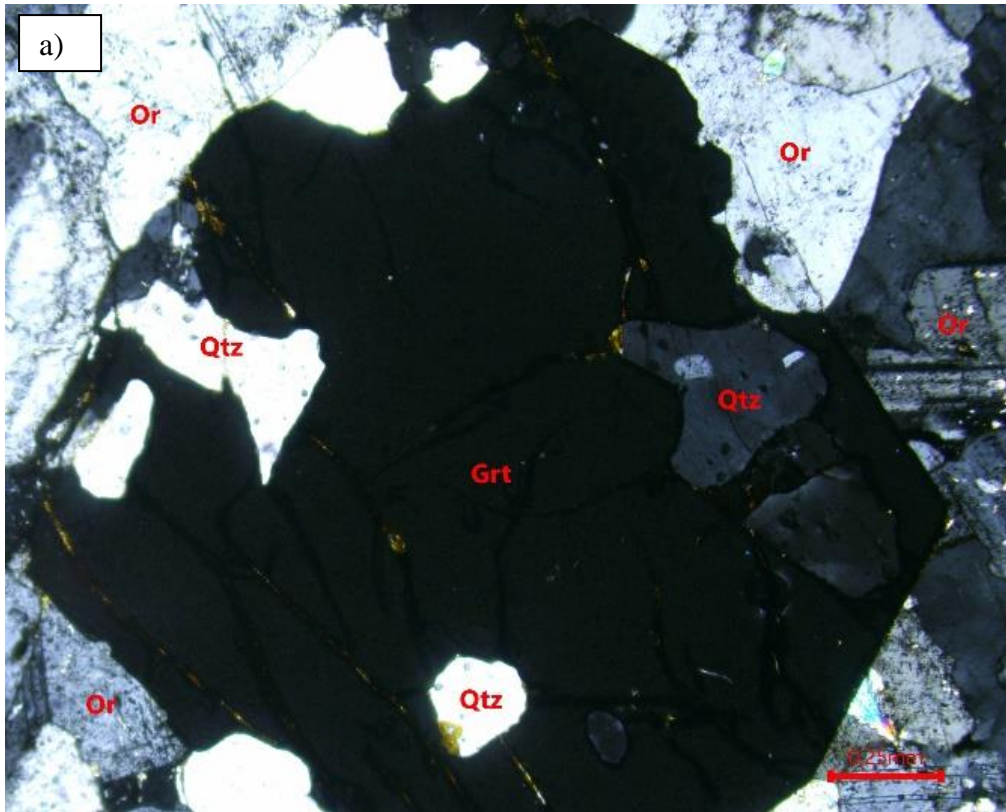
Aktinolit se pojavljuje u uzorku C14 u obliku bezbojnih, radijalnozrakastih agregata koji pod uključenim analiza Limonit je prisutan u svim navedenim uzorcima s udjelima od 2-5% u obliku smeđih do crvenih alotriomorfno zrna koja se nalaze u pukotinama ili okružuju opake i feromagnezijske minerale (slika 9f).

Klorit se pojavljuje u uzorku C12 i zastupljen je s 2% udjela. Nastao je kao produkt alteracije biotita, zelene je boje i pod uključenim analizatorom pokazuje anomalno plave interferencijske boje.

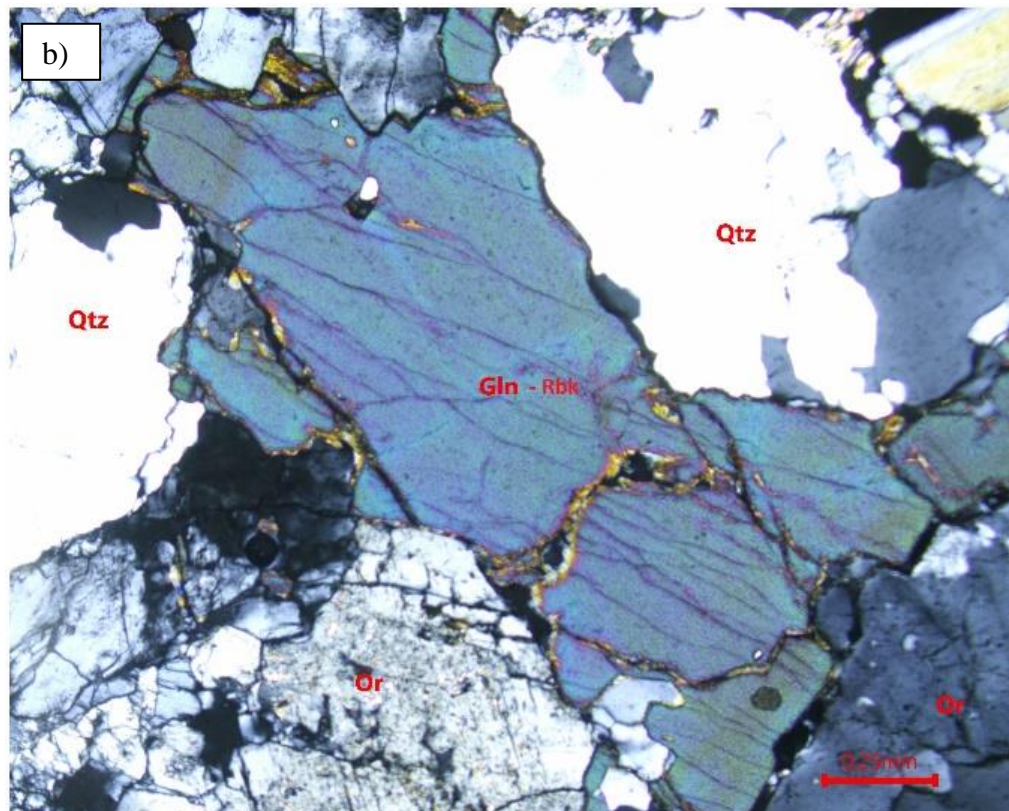
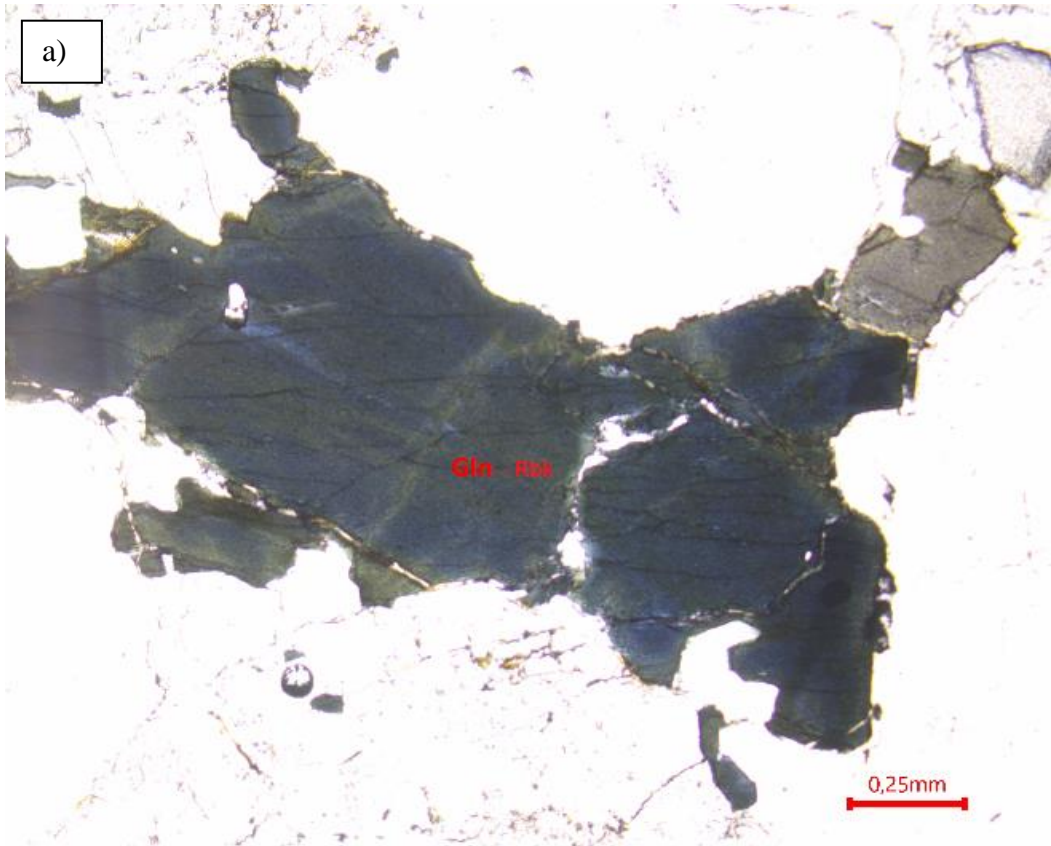
Sericit se pojavljuje u uzorcima C2, C12 i C14 i zastupljen je s 3-5% udjela. Pojavljuje se u pukotinama između zrna kao produkt alteracije feldspata i pod uključenim analizatorom pokazuje žive interferencijske boje. torom pokazuju žutu interferencijsku boju II. reda.

Minerali glina prisutni su u uzorku C23 kao produkt alteracije feldspata. Uzrokuju prividno zamućenje zrna te su vrlo sitnih dimenzija.

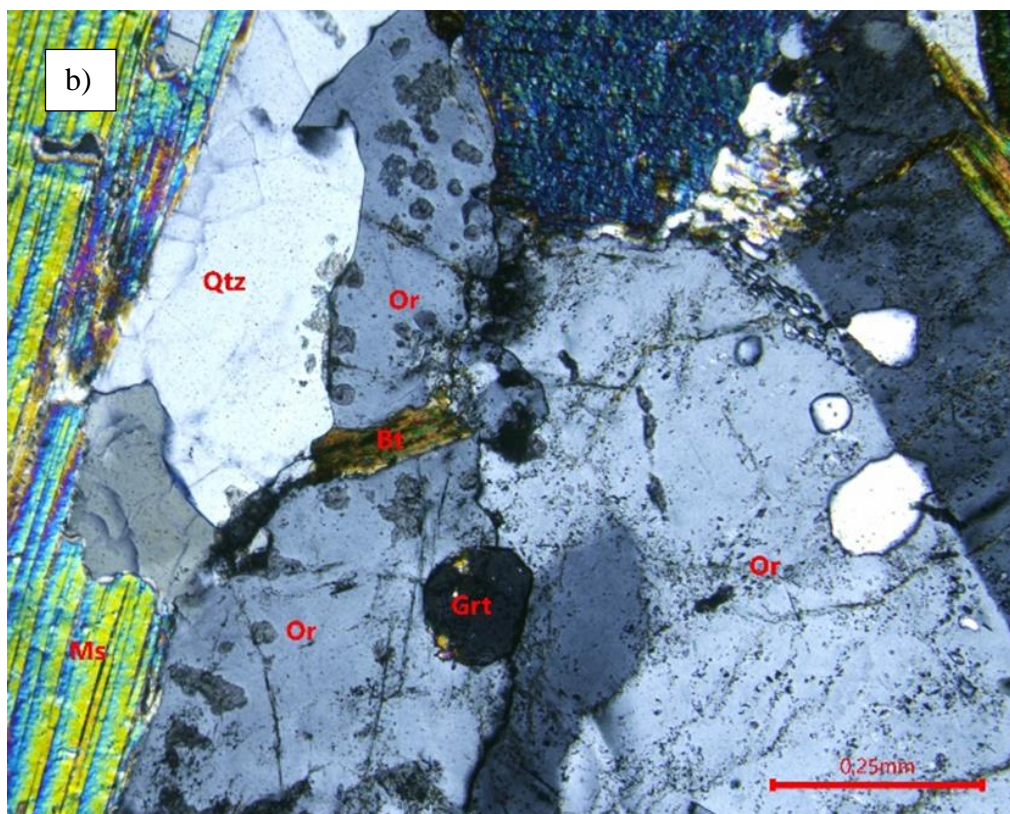
Mineraloid limonit nastaje alteracijom biotita te se nalazi uz rubove zrna biotita, granata ili u pukotinama. Alotriomorfan je, smeđe boje.



Slika 10 a) Granat s uklopcima kvarca u uzorku C14. N+. b) Muskovit s uklopcima biotita u uzorku C2. N+.



Slika 11 a) Mineral iz niza Gln-Rbk u uzorku C23. N. b) Mineral iz niza Gln-Rbk u uzorku C23. N+.



Slika 12. a) Limonitizacija u uzorku C23. N. b) Područja povišenja reljefa u ortoklasu u uzorku C2. N+.

7.2.3. PEGMATITI

Uzorci C17b i C22b imaju krupnozrnatu strukturu i kod njih je prisutan pertit kao struktura lučenja (slika 13a)

Glavni minerali su kvarc, plagioklas i ortoklas, a u uzorku C17b i muskovit. Akcesorni minerali su opaki. Sekundarni mineral je sericit.

Kvarc je zastupljen s 10-35% udjela. Pojavljuje se u obliku bezbojnih zrna alotriomornog habitusa dimenzija od milimetra do pola centimetra. Svjež je, bez pukotina. Pod uključenim analizatorom pokazuje sivu interferencijsku boju I. reda i undulozno potamnjenje.

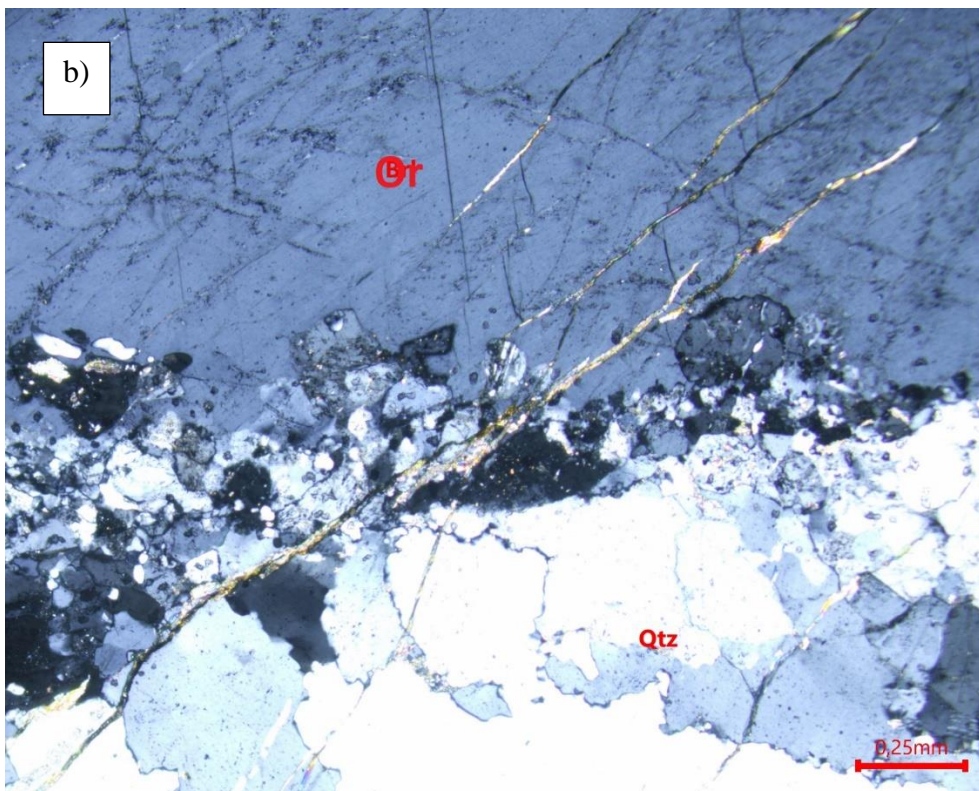
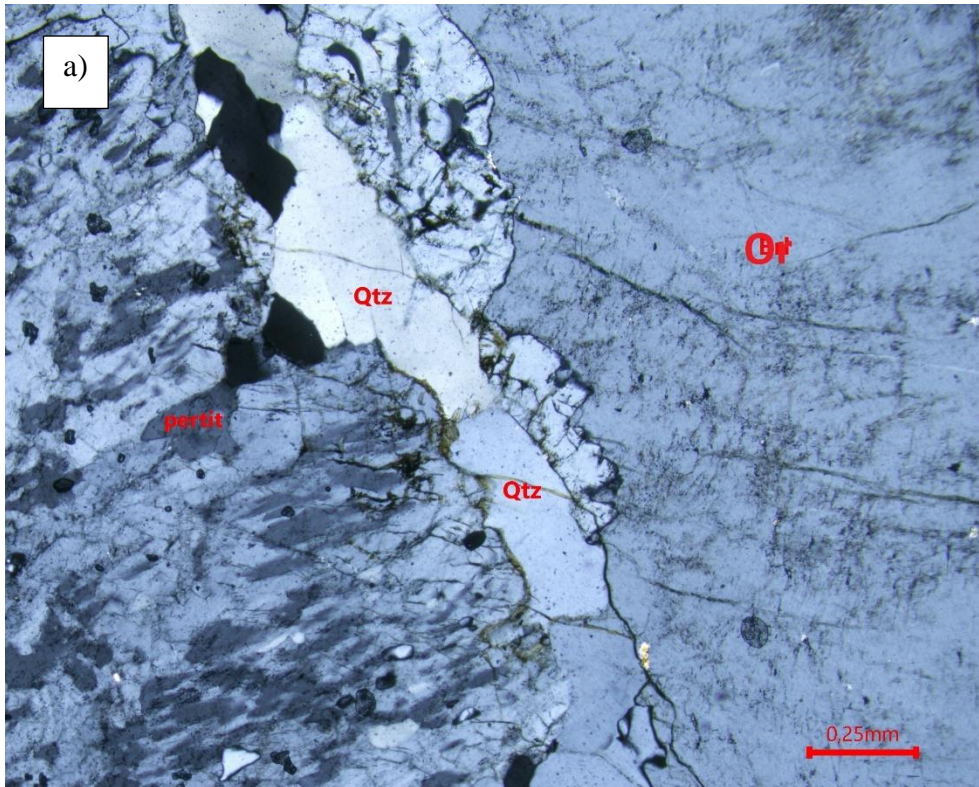
Plagioklas je zastupljen s 5-10% udjela. Pojavljuje se u obliku bezbojnih zrna izduženog, četverostranog, hipidiomornog do alotriomornog habitusa milimetarskih dimenzija. Duž zrna postoji malo pukotina i prisutna je blaga sericitizacija. Pod uključenim analizatorom pokazuje sivu interferencijsku boju I. reda i polisintetske sraslačke lamene te kod uzorka C17b i zonalnost.

Ortoklas je prisutan s 20-70% udjela. Pojavljuje se u obliku bezbojnih zrna hipidiomornog do alotriomornog habitusa milimetarskih dimenzija. Zrna pokazuju blagu sericitizaciju i sadrže mali broj pukotina koje su ispunjene sericitom. U uzorku C22b zrna mjestimično pokazuju povišenje reljefa kao rezultat trošenja, moguće uzrokovanog alteracijom u coisit. Pod uključenim analizatorom pokazuje sivu interferencijsku boju I. reda.

Muskovit je prisutan u uzorku C22b s 5% udjela. Pojavljuje se u obliku bezbojnih listića izduženog, četverostranog, hipidomornog habitusa milimetarskih dimenzija. Ima izraženu pseudoapsorpciju i jednostruku kalavost. Pod uključenim analizatorom pokazuje žive interferencijske boje II. reda.

Opaki minerali prisutni su u uzorku C22b na prijelazu iz granitnog u pegmatitni dio. Alotriomorfni su i potpuno tamni.

Sericit je prisutan u uzorku C22b unutar pukotina u ortoklasu i berilu (slika 13b). Pod uključenim analizatorom pokazuje žive interferencijske boje.



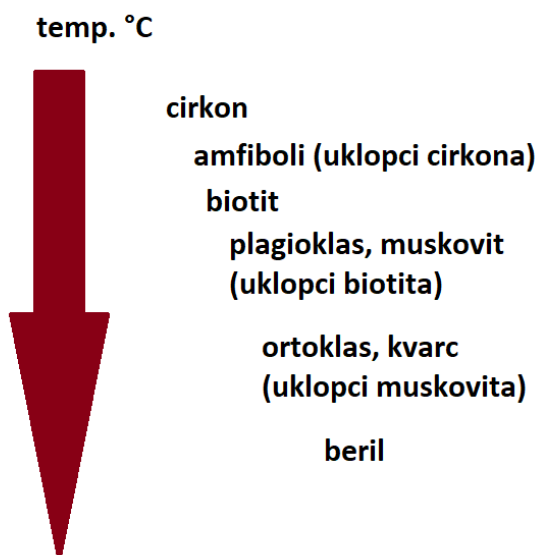
Slika 13.a) Pertit u uzorku C17b. N+ b) Kvarc i ortoklas s pukotinama ispunjenim sericitom u uzorku C22b. N+

8. DISKUSIJA

Granitoidi se mogu detaljnije klasificirati prema omjeru kalijskih feldspata i plagioklasa. Prema toj klasifikaciji, uzorci se mogu determinirati kao graniti, kvarc monzoniti i granodioriti, no ovo istraživanje temelji se na podjeli granitoida prema omjeru tinjaca i udelu mafitne komponente. Prema navedenim kriterijima, uzorci su svrstani u tri skupine: dvotinjčasti granitoidi $Bt \gg Ms$, dvotinjčasti granitoidi $Ms > Bt$ i pegmatiti. Također, kristalizacijski slijed razlikuje se kod pegmatita i granita, a nakon kristalizacije uzorci su bili podvrgnuti opacitizaciji, hidrotermalnim i supergenim alteracijama.

8.1. GRANITOIDI

Kristalizacije se, prema Bowenu, odvija u dva istodobna kristalizacijska niza s padom temperature. Jedan je diskontinuirani kristalizacijski niz feromagnezijskih minerala koji u ovom slučaju kreće od amfibola koji su prisutni kao hornblenda ili riebeckit iz niza glaukofan-riebeckit preko biotita do K-feldspata, muskovita i kvarca (slika 14.). Drugi kristalizacijski niz je niz plagioklasa od kalcijjskih do natrijskih (Slovenec, 2014.).



Slika 14. Kristalizacijski niz glavnih minerala u dvotinjčastim granitoidima

Muskovit u uzorku C2 sadrži uklopke biotita što ukazuje na to da je kristalizirao nakon biotita, što odgovara Bowenovom kristalizacijskom nizu. U uzorku C23, koji i na makroskopskoj razini pokazuje iznimno trošenje, muskovit pokazuje undulozno potamnjenje koje ukazuje na veći stupanj deformacija u navedenom uzorku.

Kvarc kao posljednji u kristalizacijskom nizu može sadržavati uklopke svih prethodno kristaliziranih minerala, pa tako u uzorku C23 sadrži uklopke muskovita.

Biotit prisutan u uzorcima primarno je smeđe i zelene boje što ukazuje na dvije faze kristalizacije. sekundarno je kloritiziran te i tada pokazuje zeleno obojenje. U oba slučaja pokazuje pleokroizam i kalavost.

Iz niza glaukofan-riebeckit prisutan je riebeckit, koji se obično pojavljuje u natrijem bogatim magmatskim stijenama (Slovenec i Bermanec, 2003.). Zrna ne sadrže uklopke drugih minerala niti se pojavljuju kao uklopki u ostalim mineralima

Od ostalih akcesornih minerala prisutni su cirkon, apatit, aktinolit, berili titanit i turmalin koji su kristalizirali u međuprostoru između ostalih zrna te granat koji je veći od ostalih akcesornih minerala. Cirkon se može pojaviti i kao uklopak u kvarcu (slika 8b), feldspatima, amfibolima i biotitu (slika 9b). Granat se može naći kao uklopki u feldspatima (slika 10b), ali sadrži i sitnije uklopke kvarca (slika 10a). Zrna granata većinom su dezintegrirana i trošena (slika 12a), a u uzorku C14 su svježi i sadrže uklopke kvarca što bi moglo ukazivati na njihovu naknadnu kristalizaciju. U uzorcima C14 i C23 pokazuju blagu anizotropiju.

8.2. PEGMATITI

Pegmatiti imaju jednostavniji mineralni sastav od granitoida. Glavni primarni minerali su kvarc, plagioklasi i (slika 11). Uz njih, makroskopski je na uzorcima primijećen beril. Minerali su puno krupniji nego kod granita te je struktura krupnozrnata U pegmatitnim uzorcima prisutan je pertit kao struktura lučenja.

Kako pegmatitni stadij kristalizacije slijedi nakon glavnog magmatskog stadija. U preostaloj taljevini velika je koncentracija lako hlapljivih komponenata i rijetkih elemenata, iz kojih u ovom slučaju kristaliziraju veliki kristali berila.

Zrna K-feldspata svježija su nego kod granitoida, ali je i ovdje prisutno mjestimično povišenje reljefa koje bi moglo biti uzrokovano nastajanjem coisita na račun feldspata.

S obzirom da se radi stadiju kristalizacije nakon magmatskog, prisutni su samo minerali s kraja kristalizacijskog niza počevši od plagioklasa preko muskovita, K-feldspata i na kraju kvarca.

Navedeni minerali su pravilnijih oblika i svježiji nego kod granita te su pukotine prisutne u manjoj mjeri.

8.3. OPACITIZACIJA

Opacitizacija je alteracija biotita pri kojoj je zrno obavijeno opakim mineralima kao što je magnetit (<https://moodle.srce.hr/eportfolio/view/view.php?id=6264>). Ukazuje na nagli pad tlaka u sustavu što bi moglo ukazivati na magmatsku ekstruziju ili trenutak izdvajanja pegmatita. Prisutna je u uzorku C10 i vidljiva je pod petrografskim mikroskopom kao potpuno tamni dijelovi zrna biotita pod uključenim analizatorom.

8.4. HIDROTERMALNE ALTERACIJE

Hidrotermalne alteracije nastaju zbog kontakta stijena s hidrotermalnim otopinama koje u sebi sadrže otopljene brojne spojeve. Događaju se na temperaturama nižim od temperatura na kojima je stijena prvotno kristalizirala, većinom između 400 i 100°C (Slovenec, 2014.)

U hidrotermalne alteracije spadaju sericitizacija, kloritizacija i coisitizacija, tj. nastanak kriptokristaastog coisita na račun kalijevog feldspata. Sve od navedenih prisutne su u granitima, dok su u pegmatitima prisutne sericitizacija i coisitizacija manjeg intenziteta.

Kloritizacija je hidrotermalna alteracija koja utječe Fe-Mg silikate, u ovom slučaju na promjenu biotita u klorit (Slovenec i Bermanec, 2003.). Navedena alteracija vidljiva je pod petrografskim mikroskopom kao promjena boje biotita iz smeđe u zelenu uz pad interferencijskih boja i uočavanje anomalne plave boje prvog reda, što je prisutno u uzorcima C10, C14, C21 i C22a.

Sericitizacija je hidrotermalna alteracija feldspata pri kojoj nastaje sitnolistićavi bijeli tinjac srebrnobijele boje. Sericitizirani dijelovi feldspata razlikuju se od svježih pod petrografskim mikroskopom po visokim interferencijskim bojama. U reakciji sericitizacije feldspati prelaze u muskovit i kvarc (Slovenec, 2014.). Navedena alteracija prisutna je u uzorcima C2, C12, C14, C22a i C22b.



K-feldspat

muskovit

kvarc

8.5. SUPERGENE ALTERACIJE

Limonitizacija je supergena alteracija pri kojoj se na relativno niskim temperaturama oksidacijom željezom bogatih minerala, na primjer pirita, stvara limonit. Limonit je smjesa ferioksihidroksida i ferioksihidrata žutosmeđe boje (Slovenec, 2014.).

Prisutna je u uzorcima C2, C10, C12, C14, C17a i C23. Pod petrografskim mikroskopom uočljiva je kao alotriomorfne, crvenosmeđe nakupine koje okružuju željezom bogate minerale i opake minerale, vjerojatno pirit koji je na makroskopskoj razini zamijećen u obliku diseminiranih zrna u uzorku C17a.

Nastanak minerala glina je supergena alteracija koja se odvija na relativno niskim temperaturama. Minerali glina nastaju na račun feldspata.

9. ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada istraživani su granitoidi i pegmatiti s područja planine Cer. Planina Cer je lakolitna, granitoidna intruzija oligocenske starosti. Pripada regionalnom plutonsko-vulkanskom pojasu koji se proteže između Dinarida i Panonskog bazena.

Osnovna podjela istraživanih uzoraka je na granitoide i pegmatite. Granitoidi su dalje klasificirani prema mineralnom sastavu i udjelu tinjaca na dvotinjčaste biotitne granitoide i dvotinjčaste muskovitne granitoide.

Dvotinjčasti graniti imaju sličan mineralni sastav. Glavni minerali su kvarc, plagioklasi, ortoklas i biotit i/ili muskovit. Kao akcesorni minerali pojavljuju se riebeckit, cirkon, titanit, hornblenda, granat i apatit. Prema Bowenovom kristalizacijskom nizu od navedenih prvi kristaliziraju amfiboli, od kojih su prisutni hornblenda i riebeckit. Oni se pojavljuju u uzorcima C10 i C23. Nakon njih, slijedi kristalizacija biotita kojeg slijede muskovit, ortoklas i kvarc.

Pegmatiti su kristalizirali nakon granitoida. Nastaju na nižim temperaturama te su jednostavnijeg mineralnog sastava. Glavni minerali su kvarc, ortoklas, plagioklas i beril, koji je prisutan u obliku velikih hipidiomorfni kristala. U kristalizacijskom nizu prvo kristalizira plagioklas, a s padom temperature slijede ortoklas te nakon njega kvarc. Prisutnost pertita ukazuje na polagani pad temperature.

Nakon kristalizacije stijene su bile izložene hidrotermalnim i supergenim alteracijama koje su izraženije kod granita. S padom temperature prvo slijede hidrotermalne alteracije. Biotiti su kloritizirani i rijede opacitizirani, a feldspati sericitizirani. Na nižim temperaturama od hidrotermalnih alteracija odvijala se limonitizacija koja spada u supergene alteracije. Limonitizirani su opaki minerali koji u svom sastavu imaju željezo.

S obzirom na rezultate prethodnih istraživanja, na području Cera moguća je pojava litijske mineralizacije u Li-bogatim pegmatitima i granitoidima u obliku litijskog piroksena spodumena, no pojava navedenog piroksena nije uočena u istraživanim uzorcima. Međutim, na makroskopskoj razini uočena je pojava berila u pegmatitima. Uzevši u obzir rezultate ovog, ali i prijašnjih istraživanja, buduća istraživanja trebala bi se usmjeriti prema pegmatitima kao mogućim nositeljima korisne mineralizacije.

10. LITERATURA

Atlas providnih minerala. Biotit. <https://moodle.srce.hr/eportfolio/view/view.php?id=6264>
(pristupljeno 4.9.2021.)

Cvetković, V., Koroneos, A., Christofides, G., Poli, G., Knežević, V., Erić, V., 2002.
Granitoids of Mt. Cer and Mt. Bukulja and their significance for geodynamics of the southern Pannonian realm. XVII Congress of CBGA

Knezevic, V., Karamata, S., & Cvetkovic, V., 1994. *Tertiary granitic rocks along the southern margin of the Pannonian Basin.* Acta Mineralogica-Petrologica, 35, 71-80.

Koroneos, A., Poli, G., Cvetković, V., Christofides, G., Krstić, D., & Pécskay, Z. 2011.
Petrogenetic and tectonic inferences from the study of the Mt Cer pluton (West Serbia). Geological magazine, 148(1), 89-111.

Lazić, B., Kahlenberg, V., Vulić, P., Pešić, L., Dimitrijević, R. 2009. *Meta-autunite from a Li-pegmatite of the Cer Mt., Serbia: Its mineralogical and XRD investigations.* Neues Jahrbuch für Mineralogie p. 333-344

Mojsilović, S., Filipović, I., Rodin, V., Navala, M., Baklačić, D., Đoković, I., Jovanović, Č., Živanović, D., Eremija, M., Cvetković, B. 1960.-1968. OGK L34-123 Zvornik. Beograd, Sarajevo.

Ridley, J., 2013. *Ore Deposit Geology.* New York: Cambridge University Press

Robb, L., 2005. *Introduction to Ore-Forming Processes.* Oxford: Blackwell Publishing

Slovenec, D., 2014. *Opća mineralogija.* Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Slovenec, D., Bermanec, V., 2003. *Sistematska mineralogija – mineralogija silikata.* Zagreb: Denona d.o.o.

Tancic, P., Poznanovic, M., Dimitrijevic, R. 2010. *Preliminary data on the crystal-chemical characteristics of beryl from Cer Mt.(Serbia)*. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Γεωλογίας (ΑΠΘ), 99, 341-346.

Vulić, P., Kahlenberg, V., Lazić, B., Dimitrijević, R., *Meta-autunite from a Li-pegmatite of the Cer Mt., Serbia*. XVII Conference of the Serbian Crystallographic Society-Abstracts(2010): 28-29.

Zavod za geološka i geofizička istraživanja. OGK L34-124 Vladimirci. Beograd, 1959-1966



KLASA: 602-04/21-01/80
URBROJ: 251-70-14-21-2
U Zagrebu, 9.9.2021.

Magdalena Mirt, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/80, URBROJ: 251-70-14-21-1 od 19.4.2021. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

MINERALOŠKO-PETEOGRAFSKA ANALIZA PEGMATITA I GRANITOIDA S PLANINE CER, SAVA-VARDAR ZONA

Za voditeljicu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Izv. prof. dr. sc. Sibila Borojević Šoštaric nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditeljica:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Sibila Borojević
Šoštaric

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Stanko
Ružičić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor
Kuhinek

(titula, ime i prezime)