

# Mafitne enklave u granatnom granitu S-tipa kamenoloma Puklica, sjeverozapadni Papuk

---

**Obradović, Robert**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:144712>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-23**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij geološkog inženjerstva

**MAFITNE ENKLAVE U GRANATNOM GRANITU S-TIPA  
KAMENOLOMA PUKLICA, SJEVEROZAPADNI PAPUK**

Završni rad

Robert Obradović

GI-2017

Zagreb, 2022.



KLASA: 602-01/22-01/20  
URBROJ: 251-70-15-22-2  
U Zagrebu, 2. 2. 2022.

**Robert Obradović, student**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/20, URBROJ: 251-70-15-22-1 od 27. 1. 2022. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### MAFITNE ENKLAVE U GRANATNOM GRANITU S-TIPA KAMENOLOMA PUKLICA, SJEVEROZAPADNI PAPUK

Za mentoricu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Izv. prof. dr. sc. Vesnica Garašić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentorica:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Vesnica Garašić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Završni rad

**MAFITNE ENKLAVE U GRANATNOM GRANITU S-TIPA  
KAMENOLOMA PUKLICA, SJEVEROZAPADNI PAPUK**

ROBERT OBRADOVIĆ

Rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

**Sažetak:**

Istraženo je pet uzoraka mafitnih enklava u granatnom S-tipu granita u kamenolomu Puklica, nedaleko od naselja Đulovac na sjeverozapadnim obroncima Papuka. U svim uzorcima mafitnih enklava nađeni su plagioklas, ortoklas, kvarc i biotit kao glavni minerali. Plagioklas je zastupljen u puno većoj mjeri nego ortoklas. Akcesorni minerali su cirkon i apatit. Plagioklas i ortoklas su djelomično alterirani u sericit i kalcit, a biotit u klorit, igličasti agregat rutila i epidot. Struktura stijene je mikroznata, a tekstura mjestimice okarakterizirana paralelnom do subparalelnom orijentacijom biotitnih listića. Stijena je klasificirana kao mafitna enklava tonalitnog sastava. Stijena domaćin mafitnim enklavama, granit, sadrži kao glavne minerale kvarc, plagioklas, ortoklas i mikroklin, akcesorni su cirkon, apatit i fibrolit. Feldspati su djelomice alterirani u minerale glina, sericit i kalcit, dok je biotit kloritiziran i sadrži igličaste agregate rutila i epidota kao posljedicu alteracije. U stijeni su prisutni pertit i mirmekit. Mineralni sastav mafitnih enklava sličan je stijeni domaćinu granitu, ali sadrži značajno manje K-feldspata, a puno više biotita, što uzrokuje tamnu boju enklava. Dodatno, struktura mafitnih enklava je puno sitnozrnatija nego što je struktura granita. Na temelju mineralnog sastava, strukture i teksture zaključeno je da istražene mafitne enklave

najvjerojatnije odgovaraju mikrogranitoidnom tipu enklava, magmatskog postanka, no za precizniju odredbu potrebno je napraviti geokemijska istraživanja mafitnih enklava i granita.

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| <b>Ključne riječi:</b>        | Mafitne enklave, granatni granit, Puklica, Papuk   |
| <b>Završni rad sadrži:</b>    | 41 stranicu, 24 slike i 33 reference   |
| <b>Jezik izvornika:</b>       | hrvatski   |
| <b>Završni rad pohranjen:</b> | Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta  |
| <b>Mentor:</b>                | Dr. sc. Vesnica Garašić, izvanredna profesorica, RGNF  |
| <b>Ocjenjivači:</b>           | Dr. sc. Vesnica Garašić, izvanredna profesorica, RGNF<br>Dr. sc. Dunja Aljinović, redovita profesorica, RGNF<br>Dr. sc. Marija Horvat, naslovna izvanredna profesorica, RGNF |
| <b>Datum obrane:</b>          | 11.02.2022.  |

## ZAHVALA

*Tehničaru Zavoda za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu, gospodinu Mariu Valentu, zahvaljujem za uloženi trud pri izradi mikroskopskih preparata istraživanih uzoraka.*

*Mentorici izv. prof. dr. sc. Vesnici Garašić zahvaljujem na svom uloženom trudu, vremenu, savjetima, te osobito na dostupnošću čak i u vrijeme vlastitog godišnjeg odmora kojima mi je omogućila izradu ovoga rada.*

## SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD.....  | 1  |
| 2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ I ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....       | 2  |
| 3. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....             | 5  |
| 4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA.....                          | 8  |
| 5. UZORKOVANJE NA TERENU.....                                     | 10 |
| 6. ANALITIČKE METODE ISTRAŽIVANJA.....                            | 12 |
| 6.1. Metoda polarizacijske mikroskopije.....                      | 12 |
| 7. REZULTATI ANALITIČKIH METODA ISTRAŽIVANJA.....                 | 13 |
| 7.1. Mikroskopska determinacija uzoraka.....                      | 13 |
| 7.1.1. Uzorak PUK-20 1C - stijena domaćin.....                    | 13 |
| 7.1.2. Uzorak PUK-20 1C - mafitna enklava.....                    | 16 |
| 7.1.3. Uzorak PUK-20 2C.....                                      | 22 |
| 7.1.4. Uzorak PUK-20 3C.....                                      | 26 |
| 7.1.5. Uzorak PUK-20 4C.....                                      | 29 |
| 7.1.6. Uzorak PUK-20 5C.....                                      | 32 |
| 8. DISKUSIJA.....   | 35 |
| 8.1. Mineralni sastav, struktura i tekstura mafitnih enklava..... | 35 |
| 8.2. Postanak mafitnih enklava.....                               | 36 |
| 9. ZAKLJUČAK.....   | 38 |
| 10. POPIS LITERATURE.....   | 39 |

POPIS SLIKA:

|   |    |
|---|----|
| <b>Slika 2-1.</b> Geografski položaj kamenoloma Puklica.....  | 3  |
| <b>Slika 3-1:</b> Isječak osnovne geološke karte SFRJ, Daruvar, L33-95.....   | 5  |
| <b>Slika 5-1.</b> Mjesta uzimanja uzoraka mafitnih enklava.....   | 10 |
| <b>Slika 5-2.</b> Izdužene mafitne enklave u granitoidnoj stijeni kamenoloma Puklica.....   | 11 |
| <b>Slika 7-1.</b> Kontakt između stijene domaćina i mafitne enklave u uzorku PUK-20-1C.....   | 15 |
| <b>Slika 7-2 a, b) )</b> Kloritizirani biotit sa eksolucijom rutila i uklopljenim zrnima cirkona u uzorku PUK-20-1C.....                                | 18 |
| <b>Slika 7-3. a, b)</b> Pojavljivanje epidota u uzorku PUK-20-1C.....   | 20 |
| <b>Slika 7-4. a, b)</b> Lamelarni plagioklas djelomično alteriran u kalcit i sericit. Kloritizacija te akcesorni cirkon u biotitu uzorka PUK-20-2C..... | 23 |
| <b>Slika 7-5. a, b)</b> Prorastanje muskovita i biotita u uzorku PUK-20-2C.....   | 24 |
| <b>Slika 7-6.</b> Epidot u uzorku PUK-20-2C.....  | 25 |
| <b>Slika 7-7. a, b)</b> Djelomična kloritizacija u biotitu te eksolucija rutila u uzorku PUK-20-3C..  | 27 |
| <b>Slika 7-8. a, b)</b> Alteracija zonalnih i lamelarnih plagioklasa u sericit. PUK-20-3C.....  | 28 |
| <b>Slika 7-9.</b> Agregat biotita duljine 7,5 mm s uklopljenim cirkonom u uzorku PUK-20-4C.....   | 30 |
| <b>Slika 7-10. a, b)</b> Izrazito kloritizirani biotit sa eksolucijom rutila u uzorku PUK-20-4C.....  | 31 |
| <b>Slika 7-11. a, b)</b> Kloritizacija biotita te eksolucija igličastih agregata rutila u uzorku PUK-20-5C.....   | 33 |
| <b>Slika 7-12.</b> Epidot u mafitnim enklavama u uzorku PUK-20-5C.....  | 34 |



## 1. UVOD

U kamenolomu Puklica koji se nalazi na sjeverozapadnom Papuku, nedaleko od naselja Đulovac, koje pripada široj okolini Daruvara, vidljivi su različiti tipovi granita, pegmatiti i apliti, raznovrsni tipovi gnajseva i migmatita, te amfiboliti i amfibolski škriljavci. Mlađi dajkovi bazalta i andezita probijaju ovaj granitno-metamorfni kompleks.

JAMIČIĆ i dr. (1989) su mišljenja da je granitno-metamorfni kompleks formiran u starijem paleozoiku. HORVAT i dr. (2018) su primjenom U-Pb metode određivanja apsolutne starosti, između ostalog, i na cirkonu iz monzogranita kamenoloma Puklice, dobili starost od  $382 \pm 2$  milijuna godina. Za mlađe bazaltne i andezitne dajkove smatra se da su miocenske starosti (LUGOVIĆ I DR., 1983; JAMIČIĆ I DR., 1989).

U zapadnom dijelu kamenoloma Puklica u granitoidnoj stijeni se pojavljuju mafitne enklave, koje do sada nisu istraživane.

Cilj ovoga rada je petrografski temeljito analizirati pojave mafitnih enklava u granitoidnoj stijeni. Metodom polarizacijske mikroskopije biti će određen mineralni sastav i struktura pet uzoraka mafitnih enklava. Na temelju analiziranih mineralnih parageneza postaviti će se hipoteza o mogućem porijeklu mafitnih enklava i dati njihova klasifikacija.

## 2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ I ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

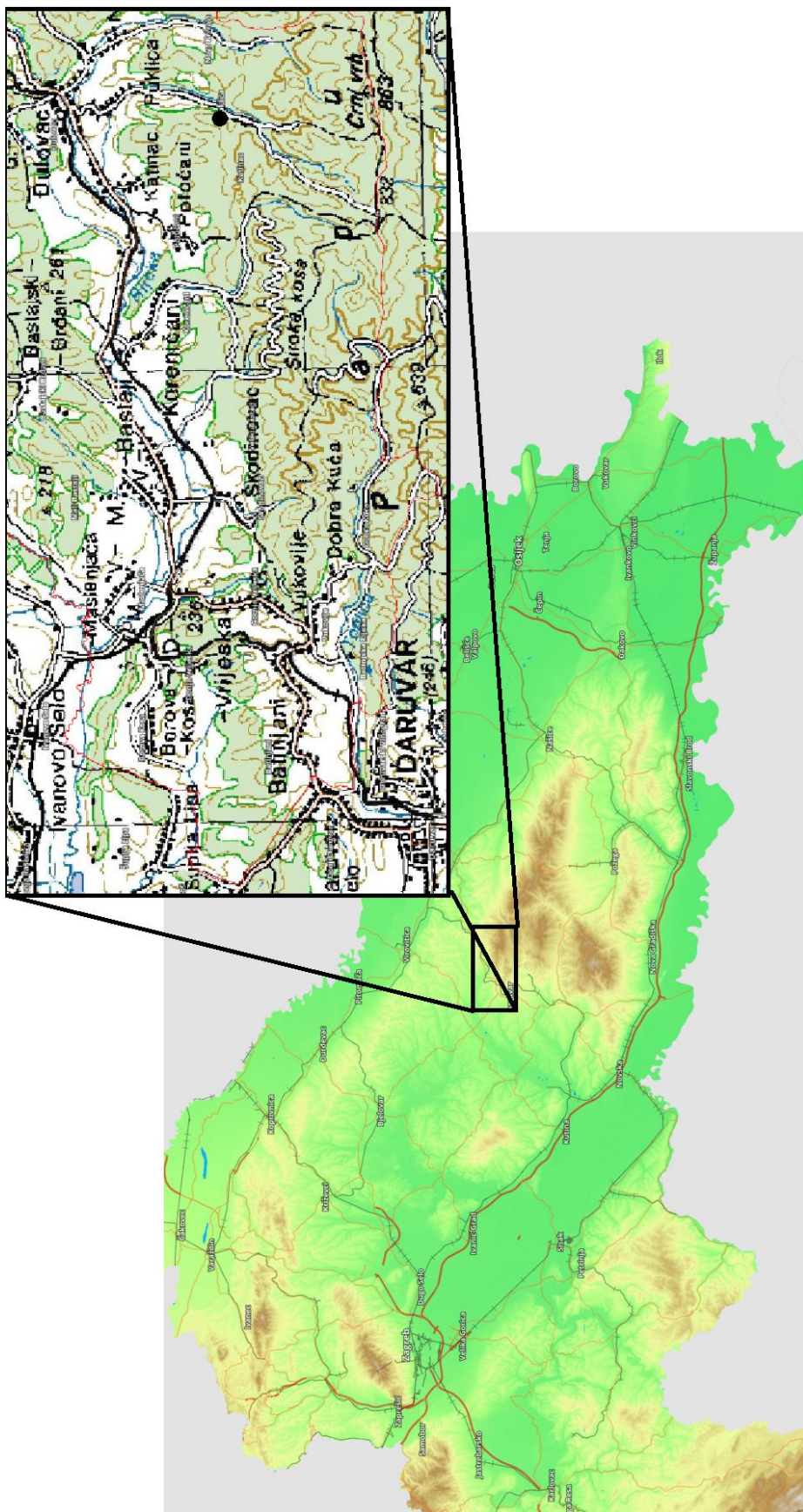
Istraživani uzorci uzeti su na zapadnoj strani kamenoloma Puklica, koji je inače poznat i pod imenom Šandrovac, na Papuku. Kamenolom je oko 4 km udaljen od istoimenog malog naselja Puklica, koje pripada općini Đulovac, smještenoj sjevernoistočno od Daruvara i sjeverno od Crnog vrha na Papuku (Slika 2.1).

Papuk je gora koja se nalazi u središnjoj Hrvatskoj, u sjeverozapadnom dijelu Požeške kotline. Najviši vrh joj je Papuk visine 953 m. Papuk je 1999. godine proglašen Parkom prirode, a 2007. godine prvim hrvatskim Geoparkom.

Općina Đulovac, koja se do 1991. zvala Miokovićevo sastoji se od 29 naselja i prostire se na površini od 19 km<sup>2</sup>. Prema Popisu stanovništva iz 2011. godine imala je 3245 stanovnika. Općina obuhvaća zapadne obronke Papuka te južne obronke Bilogore. Područje općine pretežito je prekriveno šumom. Jugozapadno od Đulovca nalazi se grad Daruvar.

Grad Daruvar sastoji se od 9 naselja te se prostire na 64 km<sup>2</sup>, a prema Popisu stanovništva iz 2011. godine imao je 11633 stanovnika. Njegova urbana povijest seže unatrag 2000 godina, kada je u doba Rimskog Carstva pod nazivom *Aquae Balissae*, Daruvar bio poznat po svojim toplicama koje su imale iscjeliteljska svojstva.

Geomorfološke te klimatske karakteristike ovog područja vrlo povoljno utječu na raznovrsnu i mnogobrojnu floru i faunu. Klima je umjereno topla i vlažna. Stanovništvo se pretežito bavi poljoprivredom i šumarstvom.



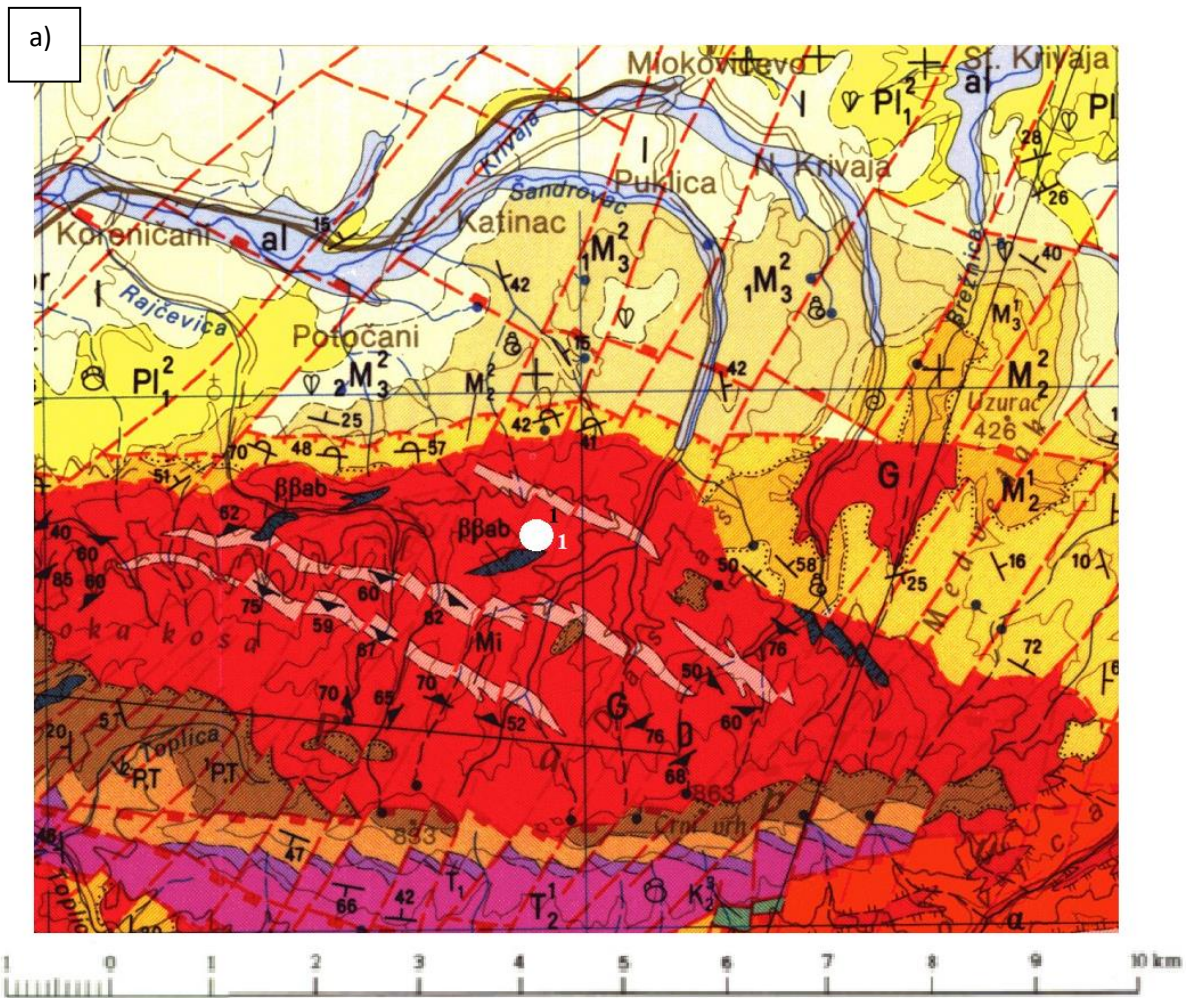
*Slika 2-1. Geografski položaj kamenoloma Puklica  
 označen je crnim kružićem  
 Preuzeto s: Geoportala Državne geodetske uprave  
 Republike Hrvatske*

### 3. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE

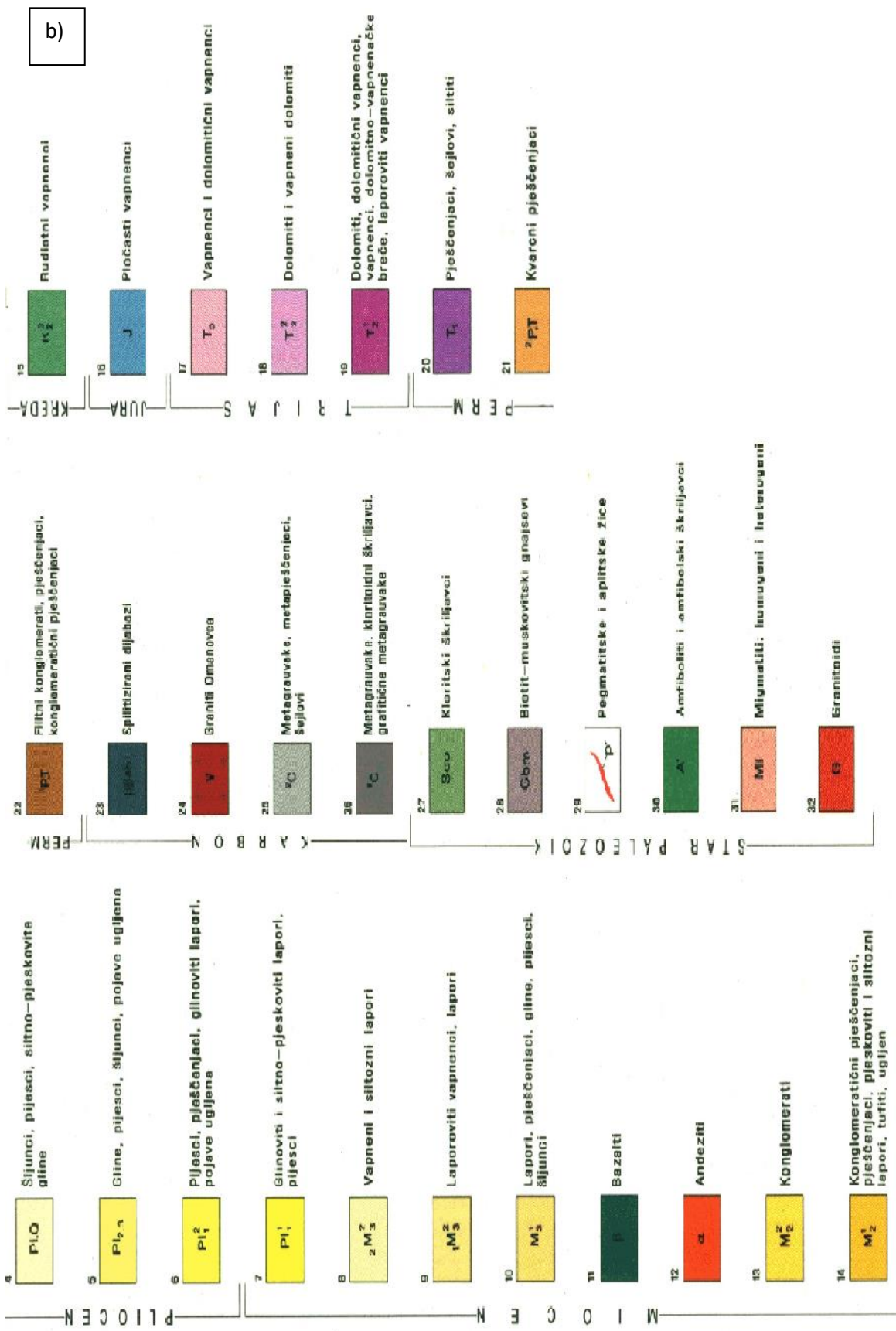
Planina Papuk, kao i ostale slavonske planine, Psunj, Ravna gora i Krndija uzdignuti su dijelovi predalpske kristalinske podloge Panonskog bazena, a koja predstavlja južni dio tektonske jedinice Tisija. SCHMIDT i dr. (2008) smatraju da je Tisija odlomljena s južnog ruba europskog kontinenta u srednjoj juri za vrijeme otvaranja istočnog ogranka alpskog Tetisa.

JAMIČIĆ (1983, 1988) i HORVAT i dr. (2018) su kristalinsku podlogu ovog područja podijelili na Papučko-jankovački (Papučki), Radlovački i Psunjsko-kutjevački (Psunjski ili Psunjsko-Krndijski) kompleks. Papučko-jankovački kompleks sadrži stijene srednjeg do visokog stupnja metamorfizma, migmatite (homogeni i heterogeni), S-tip granite i pegmatite. Tinjčevi škriljavci, amfibolski škriljavci i različiti tipovi gnajseva su tipične metamorfne stijene, a odgovaraju starijem paleozoiku (JAMIČIĆ I DR., 1989). Radlovački kompleks obuhvaća nemetamorfozirane i metamorfozirane stijene vrlo niskog stupnja metamorfizma, kao što su metagrauvake, metakonglomerati, slejtovi i filiti unutar kojih se javljaju prodori dijabaza i metadijabaz. Pri tome je određena devon-karbonska starost grafitičnih metagrauvaka i permotrijaska starost filita i konglomerata (JAMIČIĆ I DR., 1989). Metamorfne stijene niskog do srednjeg stupnja metamorfizma karakteriziraju Psunjsko-kutjevački kompleks, a predstavljene su zelenim škriljancima, tinjčevim škriljancima, gnajsevima, amfibolitima, metagabrovima. S njima su asocirani granitoidi I-tipa (PAMIĆ i LANPHERE, 1991; PAMIĆ, LANPHERE & BELAK, 1996). JAMIČIĆ i dr. (1989) smatraju da su stijene Psunjsko-kutjevačkog kompleksa prekambrijske starosti, formirane bajkalskom orogenezom, a kasnije da su pretrpjele retrogradnu metamorfozu. Najnovijim istraživanjima, U-Pb metodom datiranja na cirkonu monzogranita iz kamenoloma Puklica na Papuku utvrđena je starost kristalizacije od  $382 \pm 2$  milijuna godina (HORVAT I DR., 2018).

Pregled geoloških odnosa na području sjevernog i sjeverozapadnog Papuka prikazan je pomoću isječka Osnovne geološke karte SFRJ, list Daruvar (JAMIČIĆ, 1989) na Slici 3-1. Na slici je bijelim kružićem označeno mjesto uzorkovanja.



*Slika 3-1: Isječak Osnovne geološke karte SFRJ, list Daruvar, L33-95, M1:100 000 (JAMIČIĆ, 1989). Bijeli kružić označava mjesto uzorkovanja stijena. Slika a) Isječak OGK SFRJ 1:100 000, list Daruvar, slika b) pripadajuća litološka legenda*



Kambrijske naslage karakteriziraju migmatitski gnajsevi, granitoidne stijene te kloritni i tinjčevi škriljavci. Migmatitski gnajsevi (Mi) najzastupljeniji su u središnjem dijelu Papuka. Granitoidne stijene (G) se javljaju kao leće ili žile granita u migmatitskim gnajsevima (Mi). Tinjčevi gnajsevi i tinjčevi škriljavci (Gbm) se pojavljuju kao sitnozrnate do srednjezrnate stijene koje odlikuje izražena folijacija (JAMIČIĆ I DR., 1989).

Permsko-trijaske naslage čine dva paketa (<sup>1</sup>PT i <sup>2</sup>PT). (<sup>1</sup>PT) čine konglomerati rijeke Toplice te filitni konglomerati, a (<sup>2</sup>PT) čine naslage kvarcnih pješčenjaka. (JAMIČIĆ I DR., 1989).

Donjotrijaske naslage (T<sub>1</sub>) karakterizirane su pješčenjacima te glinama. U tim naslagama dobro je očuvan prijelaz prema karbonatnim stijenama srednjotrijaske starosti. Naslage srednjeg trijasa (T<sub>2</sub>) čine dolomiti, vapnenci, dolomitične i vapnenačke breče, laporoviti vapnenci te rijetko lapori. Gornjotrijaske naslage (T<sub>3</sub>) sastoje se od dobro uslojenih dolomita i dolomitičnih vapnenaca koji se izmjenjuju sa tanje uslojenim pelitnim klastitima. U gornjotrijaskim dolomitima javljaju se i dijabazi u obliku žila koje imaju pružanje sjeverozapad-jugoistok (JAMIČIĆ I DR., 1989).

Jura je karakterizirana tankopločastim, sivim vapnencima (JAMIČIĆ, 1989).

Gornja kreda je dokazana pojavom grebenskih vapnenaca bijele boje, koji su intenzivno raspucani, a sadrže ostatke rudista (JAMIČIĆ, 1989).

Neogenski sedimenti okružuju kristalinske masive Papuka, Psunja i Krndije.

U miocenske naslage pripadaju riječni i jezerski sedimenti, a kasnije se javljaju i marinski sedimenti koji su popraćeni vulkanskom aktivnošću. Za vulkansku aktivnost se smatra da je počela u helvetu i da traje s prekidima cijeli srednji miocen, a karakterizirana je polifaznim submarinskim izljevima bazalta i andezita, te piroklastičnim brečama, tufom i tufitom (JAMIČIĆ I DR., 1989).

Pliocenske naslage su sačuvane na obodnim dijelovima Papuka i Psunja, i većim su dijelom prekrivene kvartarnim naslagama (JAMIČIĆ I DR., 1989), a sastoje se od izmjene glinovitih, sitno-pjeskovitih i kalcitičnih lapora s ulošcima pijeska (donji pont) te od nevezanih i slabovezanih pijesaka, pjeskovitog i glinovitog lapora s proslojcima pješčenjaka i laporovitog vapnenca (gornji pont).

#### 4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Papučko-jankovački (ili Papučki) magmatsko-metamorfni kristalinski kompleks Papuka i okolice do sada je istraživalo mnogo istraživača.

WODICZKA (1855) je prikazao prve podatke o geološkoj građi slavonskog gorja.

STUR (1862) je zaključio, vršeći geološka opažanja na području Slavonije u svrhu izrade pregledne geološke karte Austrijske monarhije, da su na tom području najstarije stijene gnajsevi i graniti, koji leže ispod kristalastih škriljavaca, dok je raznobojnim škriljancima Papuke i Krndije pripisao donjotrijasku starost.

POLJAK (1952) je smatrao da je jezgra Papuka izgrađena samo od gnajsa, škriljavaca i filita.

VRAGOVIĆ (1965) je detaljnim istraživanjima središnjeg i zapadnog Papuka dokazao da su graniti, migmatiti i škriljavci nastali u više sukcesivnih faza, a da su procesi granitizacije i asimilacije uzrokovali nastajanje heterogenih migmatita različitih tekstura i struktura.

MARCI (1967) je proučavala porijeklo enklava u granitima Papuka i usporedila dobivene rezultate s rezultatima istraživanja ortognajsa i paragnajsa Papuka.

TAJDER (1969) je istražujući magmatizam i metamorfizam na području Papuka i Psunja zaključio da je paleozoik bio karakteriziran submarinskim efuzijama bazalta i dijabaznim intruzijama, a da je kasnije u okviru orogenetskih procesa formirano veće kiselo intruzivno tijelo, s pojavom kvarcdiorita i alkalnog granita. Među njima ima intruziva s porfiroidnom strukturom. Na kontaktu granitne magme sa sedimentnim stijenama formirani su kontaktno-metamorfni hornfelsi, a gnajs je nastao kao produkt migmatizacije sedimenata i niskometamorfni škriljavaca.

SLOVENEK (1982) je odredio kemijski sastav biotita, granata i amfibola iz različitih granitno-metamorfni stijenama Papuka te na osnovu toga odredio relativne temperature formiranja ovih stijena.

JAMIČIĆ (1979) je istraživanjima na Krndiji i Papuku dokazao da su metamorfne stijene više puta bile podvrgnute procesima metamorfoze i deformaciji, te da ne pripadaju istoj orogenezi.



JAMIČIĆ (1983a) je pisao o strukturnom sklopu metamorfnih stijena Krndije i južnih padina Papuka.

LUGOVIĆ (1983) je istražujući bazalte i andezite sjeverozapadnih dijelova Papuka odredio da pripadaju toleitskoj seriji i da su postkredne do miocenske starosti.

JAMIČIĆ (1988) u svojoj disertaciji razdvaja metamorfni kompleks Psunja, od metamorfnih kompleksa Papuka i Radlovačkog kompleksa.

JAMIČIĆ i dr. (1989) su izradili osnovnu geološku kartu i tumač za list Daruvar u mjerilu 1:100 000.

PAMIĆ & LANPHERE (1991) su istražujući hercinske granitne i metamorfne stijene Papuka, Psunja, Krndije i podloge Panonskog bazena odredili da granitoidni plutoni unutar papučkog migmatitnog kompleksa odgovaraju S-tipu. Oni uobičajeno sadrže kvarc, feldspat, tinjac, amfibol te manje granata i silimanita, uz različite sekundarne i akcesorne minerale.

HORVAT (2004) je geokemijski i petrološki obradila granitoide Papuka i Psunja.

BALEN & PETRINEC (2014) su proučavali stupasto lučenje albitnog riolita na zaštićenom lokalitetu Rupnica, kraj Voćina na Papuku.

HORVAT i dr. (2018) su publicirali nove starosti za granitoidne stijene na Papuku i Psunju U-Pb metodom apsolutnog datiranja na cirkonu.

## 5. UZORKOVANJE NA TERENU

Uzorkovanje je izvršeno u zapadnom dijelu kamenoloma Puklica, nedaleko od naselja Đulovac, koje je smješteno sjeveroistočno od grada Daruvara. Uzeto je 5 uzoraka (PUK-20-1C, PUK-20-2C, PUK-20-3C, PUK-20-4C i PUK-20-5C) koji predstavljaju 5 mafitnih enklava uklopljenih u granitoidnu stijenu. Mjesta uzimanja svakog uzorka označena su na Slici 5-1. Na slici 5-2 mafitne enklave su snimljene iz veće blizine.



*Slika 5-1. Mjesta uzimanja uzoraka mafitnih enklava. Crveni krug označava mjesto uzorkovanja svakog, pojedinog uzorka.*



*Slika 5-2. Izdužene mafitne enklave u granitoidnoj stijeni kamenoloma Puklica.*

## **6. ANALITIČKE METODE ISTRAŽIVANJA**

Analitička metoda istraživanja primijenjena tijekom izrade ovog završnog rada je metoda polarizacijske mikroskopije.

### **6.1. METODA POLARIZACIJSKE MIKROSKOPIJE**

Uzorkovanjem na terenu, uzeto je pet uzoraka mafitnih enklava u svrhu izrade mikroskopskih izbrusaka. Proces pripreme izbrusaka sastojao se od rezanja dijamantnom pilom kako bi se izradile tanke pločice veličine pokrovnog stakalca. Izbrusci su nakon toga lijepljeni kanada balzomom ( $n=1,537$ ) na objektno stakalce. Pločice su zatim izbrušene na debljinu 0,03 mm. Završna faza pripreme izbrusaka sastojala se od poliranja te lijepljenja pokrovnog stakalca kanada balzomom.

Na temelju različitih optičkih svojstava minerala pomoću polarizacijskog mikroskopa određen je mineralni sastav stijene, uočeni procesi alteracija i trošenja minerala te izvršena klasifikacija stijene.

Za potrebe mikroskopiranja korišten je polarizacijski mikroskop LEICA DM EP s objektivima povećanja 4x, 10x i 40x. Mikrofotografije su izrađene pomoću CANON EOS 1300D fotoaparata. Kratice minerala na mikrofotografijama uzete su iz (SLOVENEK I DR., 2006). Proces izrade izbrusaka, njihova analiza metodom polarizacijske mikroskopije, kao i snimanje mikrofotografija provedena je u Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

## 7. REZULTATI ANALITIČKIH METODA ISTRAŽIVANJA

### 7.1. Mikroskopska determinacija uzoraka

#### 7.1.1. Uzorak PUK-20-1C - dio uzorka koji predstavlja stijenu domaćin mafitnih enklava

Glavni minerali u stijeni su kvarc, plagioklas, ortoklas i mikroklin. Sporedni mineral je biotit i muskovit, a akcesorni minerali su silimanit odnosno fibrolit, apatit i cirkon. Sekundarni minerali su: minerali glina, sericit, kalcit, klorit i opaki mineral.

U stijeni su prisutne eksolucije, i to izdvajanje albitnih lamela u K-feldspatu, poznatim pod imenom pertit, i izdvajanje sitnih iglica rutila ± titanit u biotitu, poznato kao sagenit.

Prorastanja prisutna u stijeni su mirmekit koji se sastoji od kvarca i plagioklasa, te simplektit u kojem muskovit prorasta zajedno s kvarcom.

**Kvarc** se javlja u obliku alotriomorfni zrna čija veličina varira u rasponu od 0,4 do 2,5 mm. Zrna pokazuju undulozno potamnjenje, migraciju granica zrna i razvoj subdomena. Dodatno se javlja u mikrostrukturama prorastanja kao što je mirmekit i simplektit.

**Plagioklas** se javlja u obliku izduženih hipidiomorfni prizmi do alotriomorfni habitusa, također veličine 0,4 do 2,5 mm. Pokazuje i zonalnu i lamelarnu građu. Djelomično je alteriran u sericit, i to intenzivnije u jezgri, nego na rubovima, te u minerale glina, a rijetko i u kalcit. Česta je pojava mirmekita, prorastanja plagioklasa i kvarca, i to na rubovima većih K-feldspata.

**Ortoklas** je alotriomorfni habitusa, pri čemu je veličina zrna približno jednaka onoj plagioklasa, varira u rasponu od 0,4 do 3 mm. U većim zrnima ortoklasa se uočava eksolucija albita, pojava poznata pod imenom pertit. Karakteriziran je intenzivnom alteracijom u minerale glina i sericit, a u manjoj mjeri i u kalcit.

**Mikroklin** je alotriomorfni habitusa. Zrna su mu veličine od 0,25 do 3,5 mm. I on pokazuje eksolucijske lamele albita i alteriran je poput ortoklasa u minerale glina i sericit, te rjeđe u kalcit.

**Biotit** se javlja u listićima hipidiomorfno do alotriomornog habitusa, veličine između 0,24 i 1,5 mm. Karakteriziran je pleokroizmom u smeđoj do blijedo smeđoj boji, ali je u velikoj mjeri kloritiziran, u kojem slučaju pokazuje pleokroizam u gotovo bezbojnoj do blijedo zelenoj boju u drugom titrajnom pravcu. U biotitu su vidljive iglice rutila ± titanit, vjerojatno nastale eksolucijom. Ovakvu eksoluciju nazivamo sagenitom. Mjestimično biotit se javlja u asocijaciji s muskovitom.

**Muskovit** ima hipidiomorfni do alotriomorfni habitus, a veličina listića varira između 0,24 i 1,5 mm. Bezbojan je, pokazuje žive interferencijske boje II reda. Puno je rijedi od biotita, i obično sitniji. Javlja se i duž pukotina u plagioklasu. Na rubovima većih listića uočava se simplektit, prorastanje muskovita i kvarca.

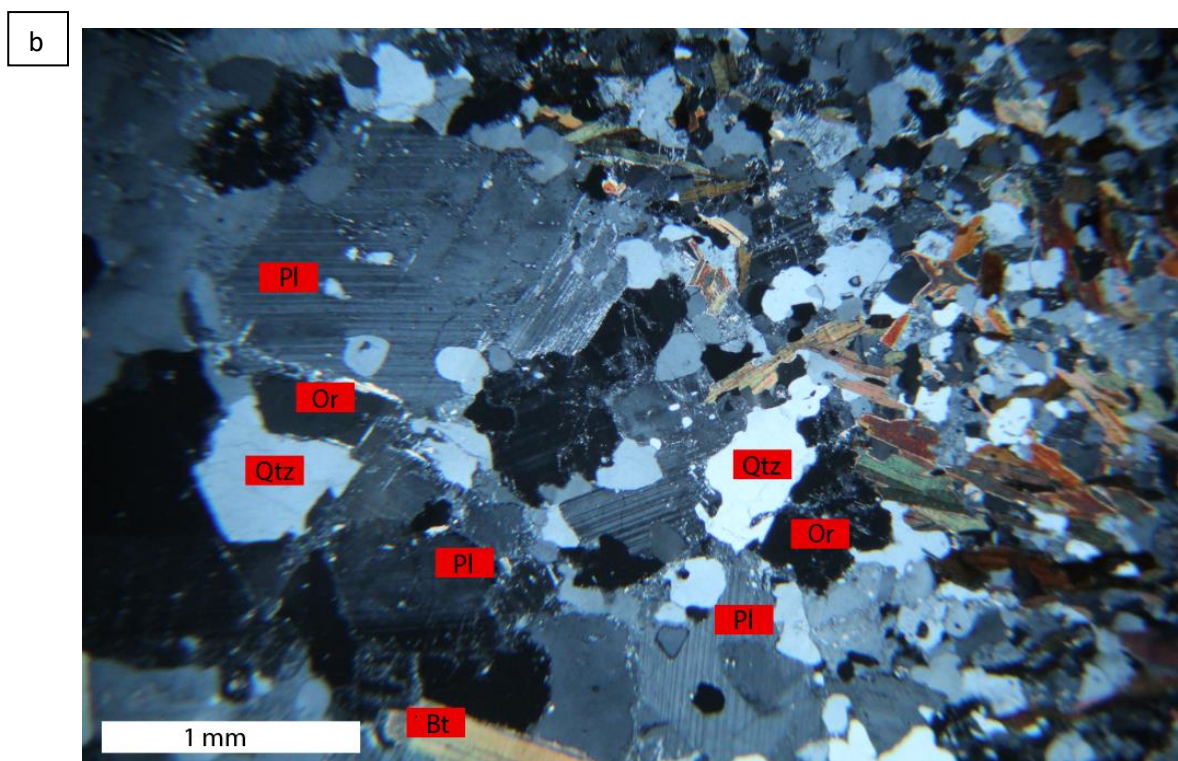
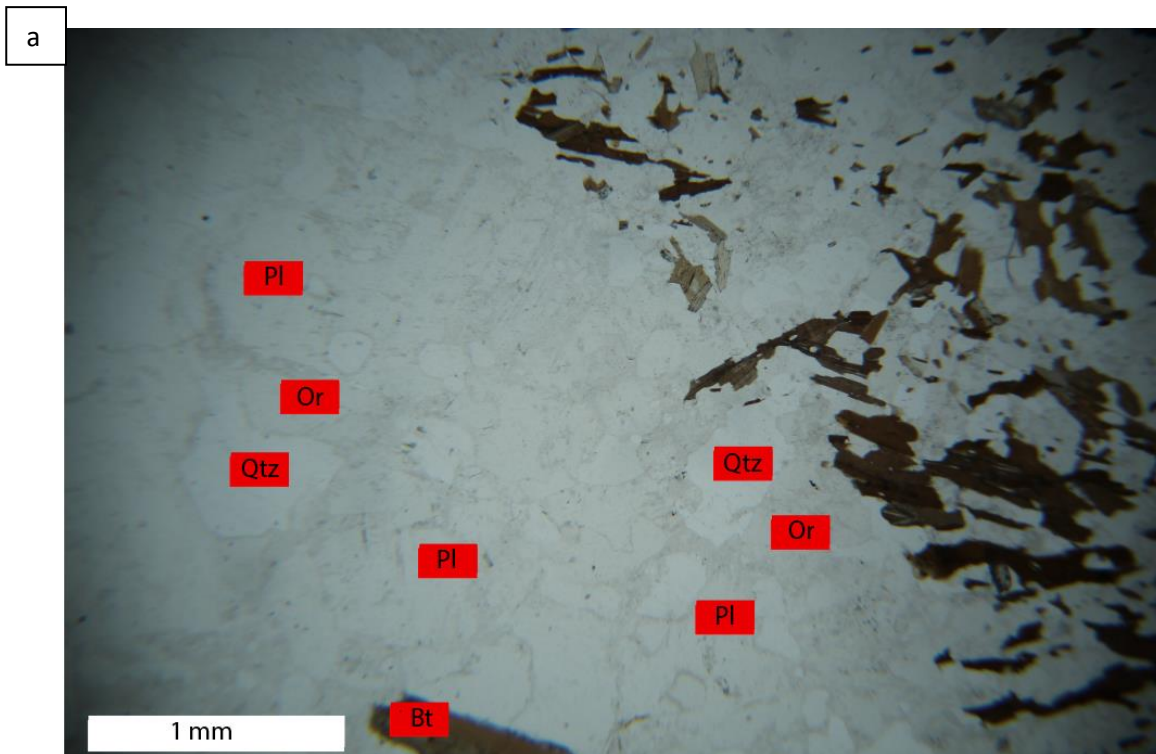
**Silimanit** se javlja prvenstveno u obliku fibriolita, duž granica zrna ili kao uklopak u K-feldspatu.

**Cirkon** je hipidiomorfno oblika, veličine od 0,06 do 0,02 mm i uobičajeno je uklopljen u druge minerale. Najlakše se uočava u biotitu, u kojem je oko njega razvijena tamna aureola, odnosno metamiktni ovoj nastao radioaktivnim procesima u cirkonu.

**Apatit** se rijetko pojavljuje, pokazuje hipidiomorfni, obično izduženi štapićasti habitus, umjerenog reljefa. Veličine zrna variraju od 0,02, do 0,05 mm.

Od sekundarnih minerala **sericit**, **minerali glina** i **kalcit** su nastali alteracijom feldspata, dok je **klorit** prvenstveno formiran alteracijom biotita. **Opaki** mineral se javlja u obliku vrlo sitnog tamnog zrnja duž rubova i pukotina minerala.

Na kontaktu stijene domaćina i mafitne enklave postoji oštar prijelaz, koji se očituje u smanjenju veličine zrna u mafitnoj enklavi, uz istovremeno povećanje količine biotita. (Slika 7-1. a,b). Stijena je kiseli magmatski intruziv sa udjelom plagioklasa od 45% u odnosu na alkalijske feldspate, ima homogenu teksturu, zrnatu strukturu i klasificirana je kao granit.



*Slika 7-1 . Kontakt između stijene domaćina granita (lijevo) i mafitne enklave (desno gore) u uzorku PUK-20-1C. Minerali koji čine stijenu domaćin su plagioklas (Pl), kvarc (Qtz), ortoklas (Or) i biotit (Bt). a) bez analizatora N, b) s analizatorom N+*

### 7.1.2. Uzorak PUK-20 1C

Glavni minerali u ovome uzorku su kvarc, plagioklas, ortoklas i biotit. Plagioklasa ima znatno više u odnosu na ortoklas. Akcesorni minerali su cirkon i apatit. Sekundarne minerale čine sericit, kalcit, klorit, epidot i rutil.

**Kvarc** se javlja u obliku sitnih alotriomorfni zrna veličine 0,1-0,55 mm. Odlikuju ga undulozno potamnjenje i svježja površina minerala. Uklapa mnogobrojne štapiće apatita i listiće biotita (Slika 7-2 a, b).

**Plagioklas** u ovom uzorku ima veličinu u rasponu 0,2-0,5 mm. Pojavljuje se u obliku lamelarnih i zonalnih plagioklasa. Oblik zrna je hipidiomorfan do alotriomorfan. Pokazuje alteracije u u sericit i u manjoj mjeri u kalcit (Slika 7-2 a, b).

**Ortoklas** se pojavljuje u obliku alotriomorfni zrna veličine 0,1-0,35 mm. Karakteriziran je izraženom alteracijom u sericit, i tek djelomično u kalcit.

**Biotit** je u uzorku prisutan kao hipidiomorfn do alotriomorfn agregat listićavih minerala duljine 0,04-2,35 mm. Odlikuje se jakim pleokroizmom u smeđoj do blijedo smeđoj boji. Karakteriziran je intenzivnom eksolucijom igličastog minerala, najvjerojatnije rutila, koja je najviše izražena u kloritiziranim dijelovima biotitima. Mjestimično pokazuje i alteraciju u epidot. Sadrži mnogobrojne uklopke cirkona, okružene metamiktnim ovojem. Uočava se subparalelna orijentacija listića biotita (Slika 7-2 a, b).

**Cirkon** je karakteriziran zrnima veličine 0,01-0,06 mm. Ima jako visok reljef te žive interferencijske boje višeg reda. Zrna su najviše uklopljena u biotitima, ali i raspršena kroz uzorak (Slika 7-2 a, b).

**Apatit** se javlja kao akcesorni mineral u obliku bezbojnih štapićastih zrna veličine 0,2-0,22 mm. Odlikuju ga paralelno potamnjenje i siva interferencijska boja I. reda. Prvenstveno je uklopljen u kvarcu, a u manjoj mjeri i u biotitu (Slika 7-2 a, b).

**Sericit** se javlja u obliku sitnolistićavnih agregata, kao alteracija po feldspatima, i to intenzivnije po ortoklasu.

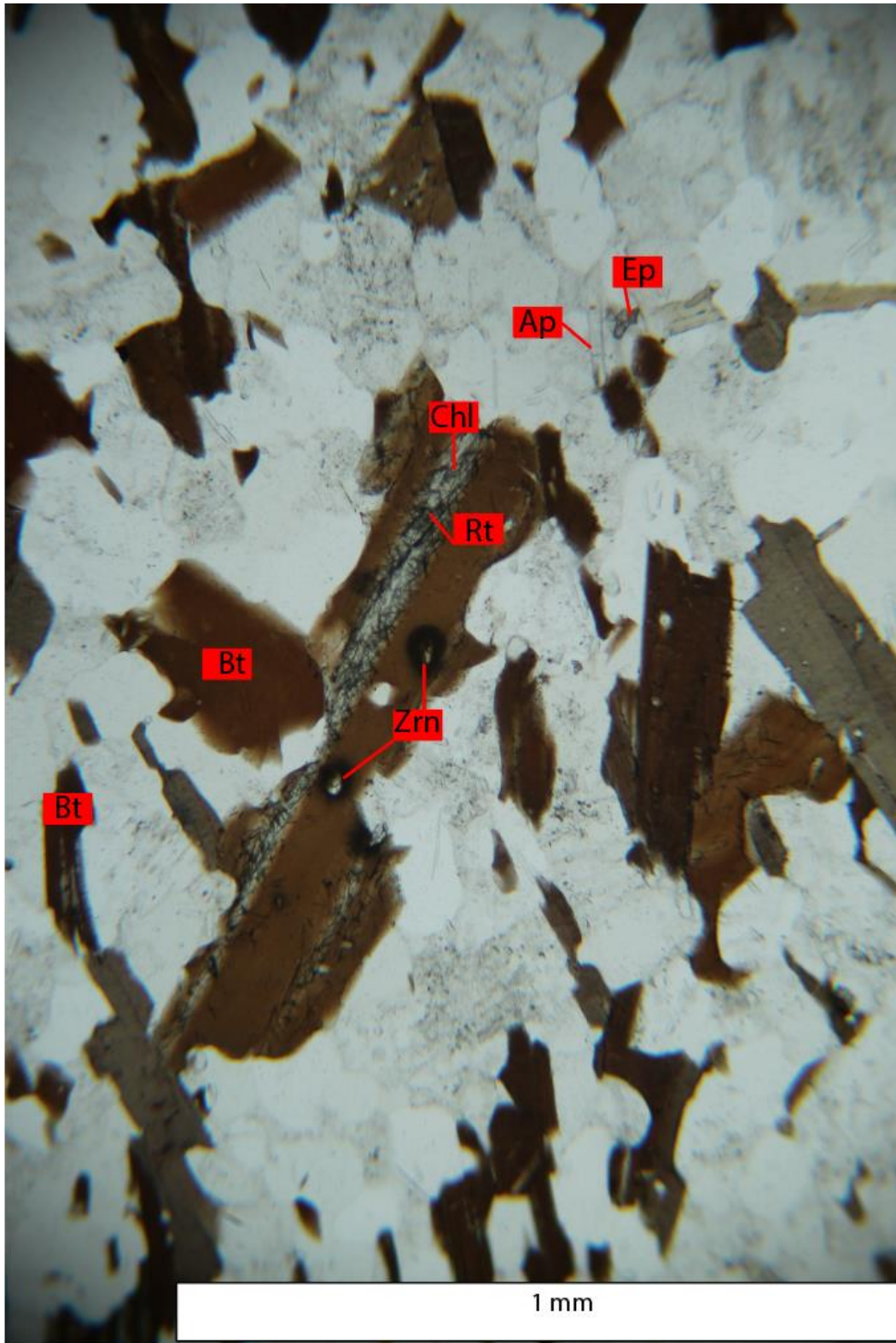


**Kalcit** je također sekundarni mineral, produkt alteracije i to prije svega feldspata, u kojima se javlja u obliku nepravilnog zrnja. Prepoznaje se po izraženoj pseudoapsorciji i interferencijskoj bijeloj boji višeg reda.

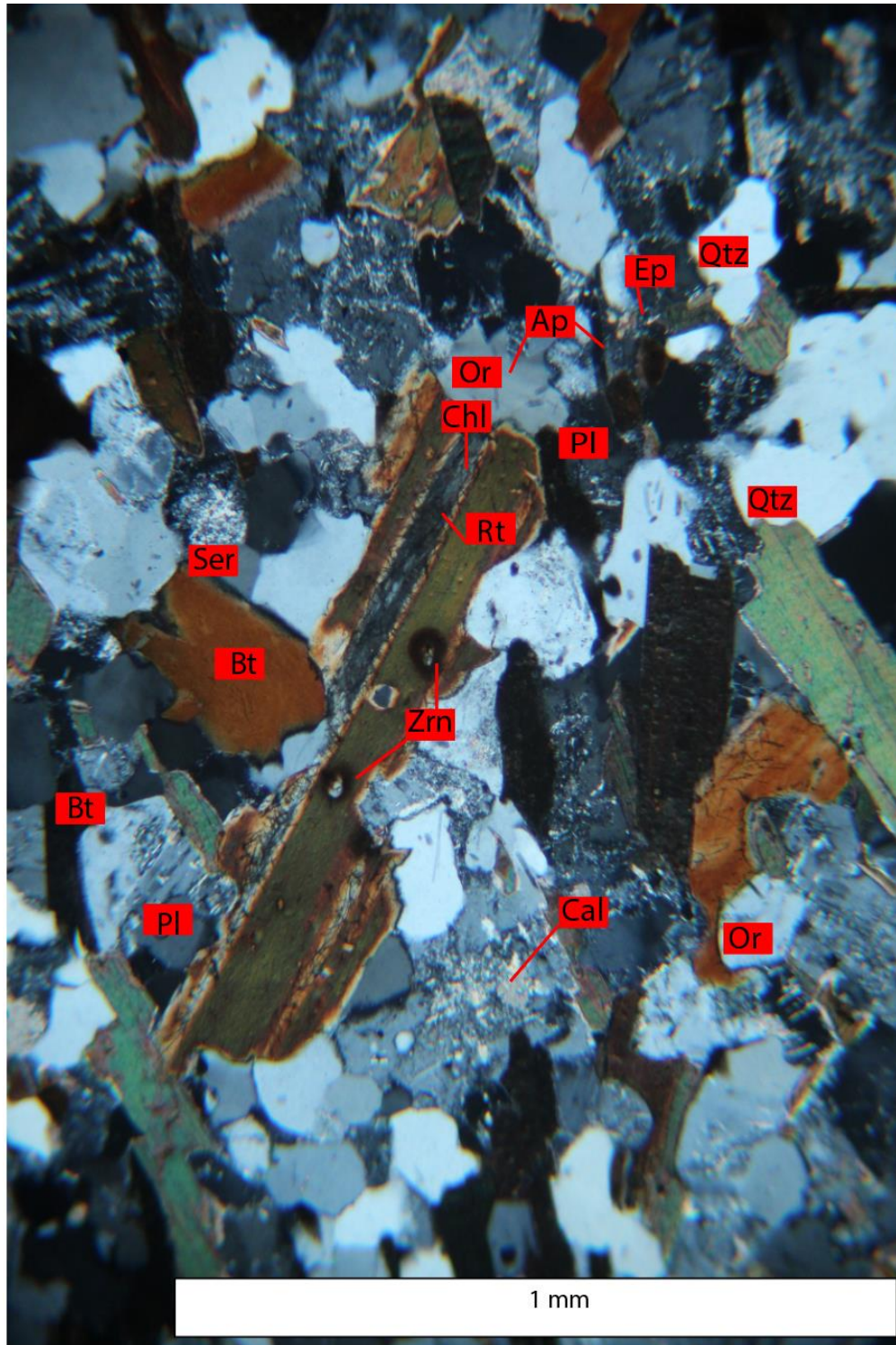
**Klorit** je razvijen isključivo kao alteracija po biotitu. Njegove listiće odlikuje vrlo blagi pleokroizam u bezbojnoj do blijedo zelenoj boji u drugom titrajnom pravcu te interferencijska sivkasto lavandulasto plava boja.

**Epidot** se javlja u obliku sitnog zrnja dimenzije 0,01-0,04 mm u asocijaciji s biotitom. U mikroskopskom preparatu je bezbojan, visokog reljefa i karakteriziran živim interferencijskim bojama višeg reda (Slika 7-3 a, b).

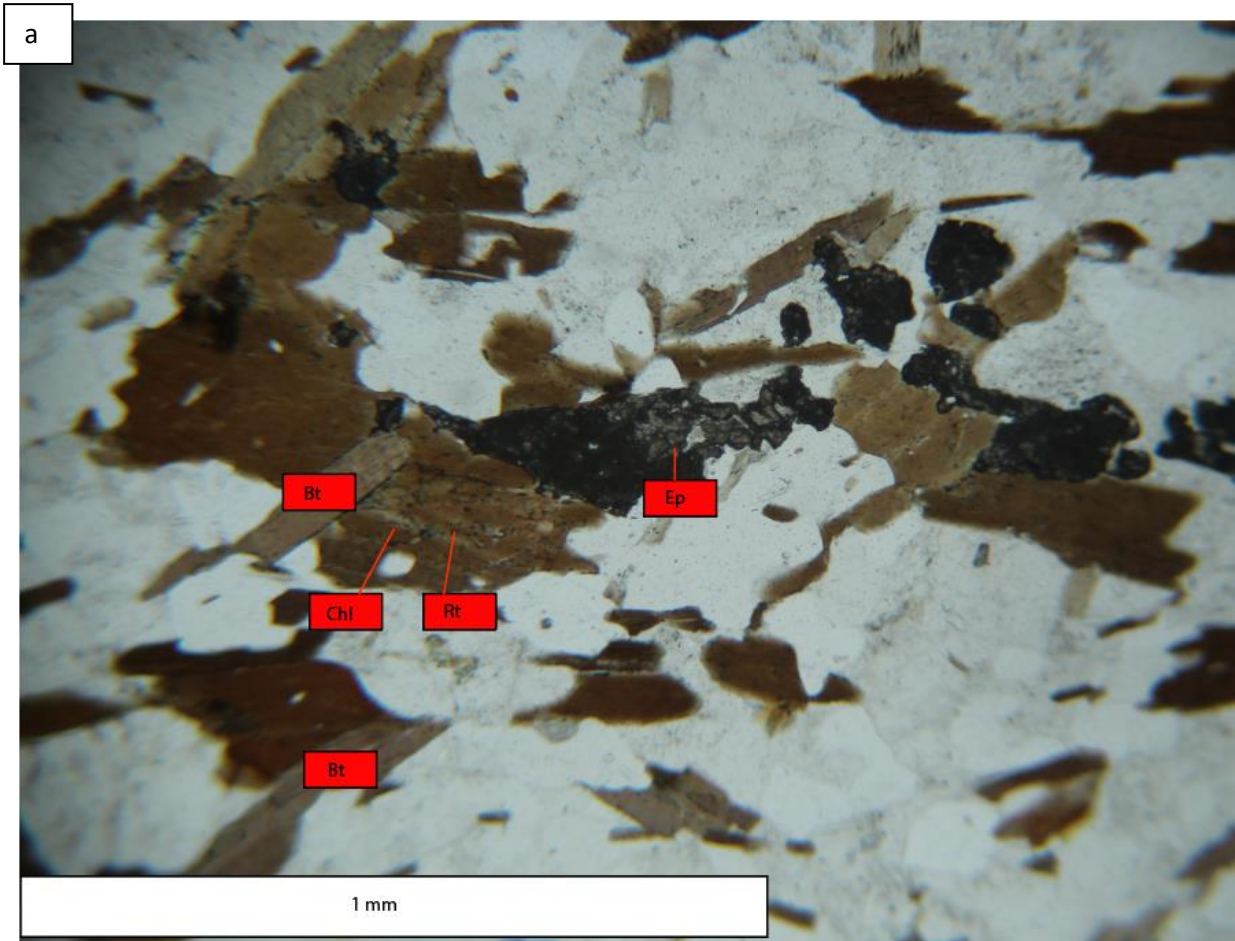
**Rutil** se pojavljuje u obliku igličastog agregata, isključivo unutar biotita. Pri tome je pojava igličastih agregata najizraženija u kloritiziranim dijelovima biotita.



*Slika 7-2 a) Kloritizirani biotit (Bt) s eksolucijom igličastog rutila (Ru) i uklopljenim zrnima cirkona (Zrn). Osim cirkona akcesorni su epidot (Ep) i apatit (Ap). N.*

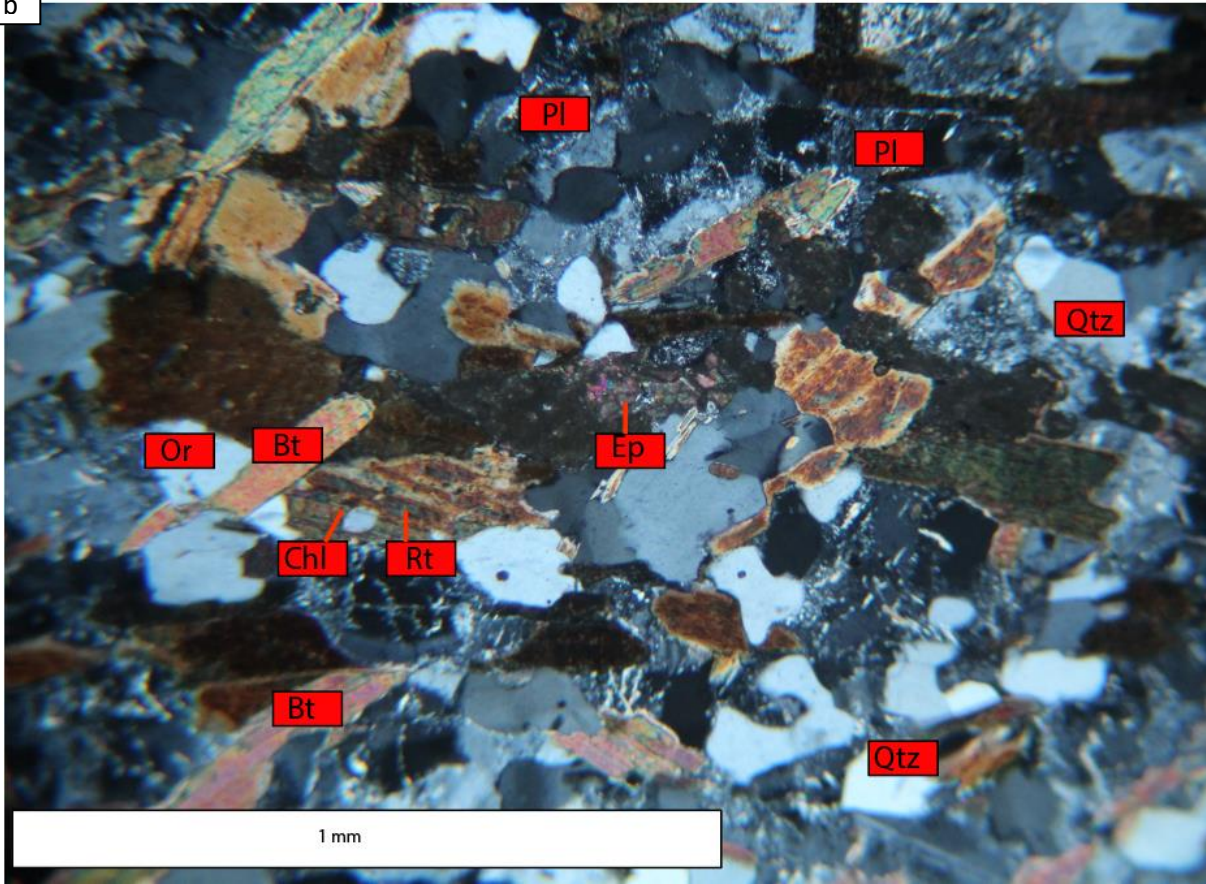


*Slika 7-2 b) Kloritizirani biotit (Bt) s eksolucijom rutila (Rt) i uklopljenim zrnima cirkona (Zrn), na kojima se uočava tamni metamiktni ovoj. Vidljivi su kvarc (Qtz), ortoklas (Or) i plagioklas (Pl) na kojima se uočavaju sericit (Ser) i kalcit (Cal) kao produkti alteracija. Osim cirkona akcesorni su epidot (Ep) i štipići apatita (Ap). N+.*



*Slika 7-3 a) Pojavljivanje epidota (Ep) u asocijaciji s biotitom. N.*

b



*Slika 7-3 b) Pojavljivanje epidota (Ep) u asocijaciji s biotitom (Bt). Vidljiva su alotriomorfna zrna kvarca te sericitizirani plagioklas (Pl) i ortoklas (Or). Biotit je karakteriziran djelomičnom kloritizacijom (Chl) i pojavom igličastog rutila (Rt) osobito na mjestu kloritizacije. N+.*

### 7.1.3. Uzorak PUK-20 2C

U ovome uzorku glavne minerale čine kvarc, plagioklas, ortoklas i biotit. Količina plagioklasa znatno je veća u odnosu na ortoklas. Akcesorni minerali su muskovit, cirkon i apatit. Sekundarni minerali su sericit, kalcit, klorit, rutil i epidot. **Kvarc** se u ovom uzorku pojavljuje u obliku sitnih alotriomorfni zrna veličine 0,05-0,65 mm. Površina mu je svjež i dobro očuvana, a potamnjenje je undulozno (Slika 7-4 a,b). Uklapa mnogobrojne štapiće apatita te pokoji listić biotita.

**Plagioklas** se javlja u obliku hipidiomorfni do alotriomorfni zrna veličine 0,1-0,45 mm. Pojavljuje se u obliku lamelarnih i zonalnih plagioklasa. Plagioklas je intenzivno sericitiziran i djelomice kalcitiziran (Slika 7-4 a,b; Slika 7-5 a,b).

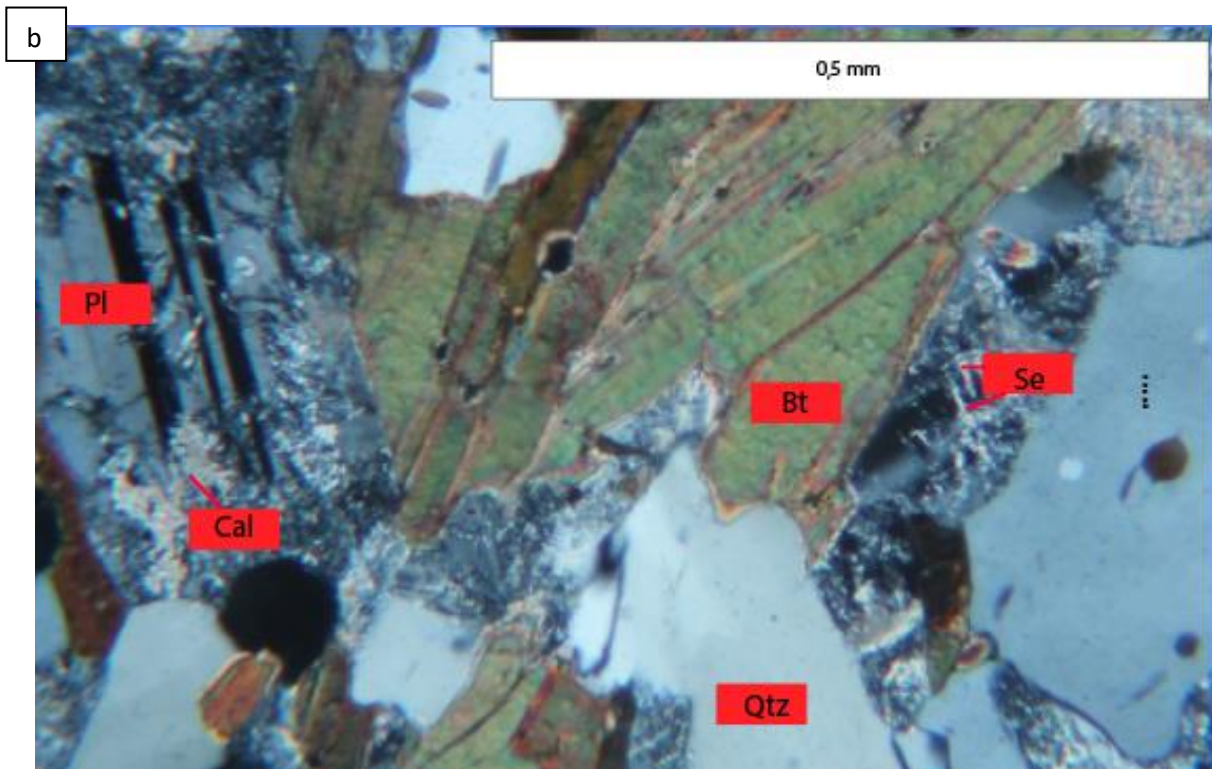
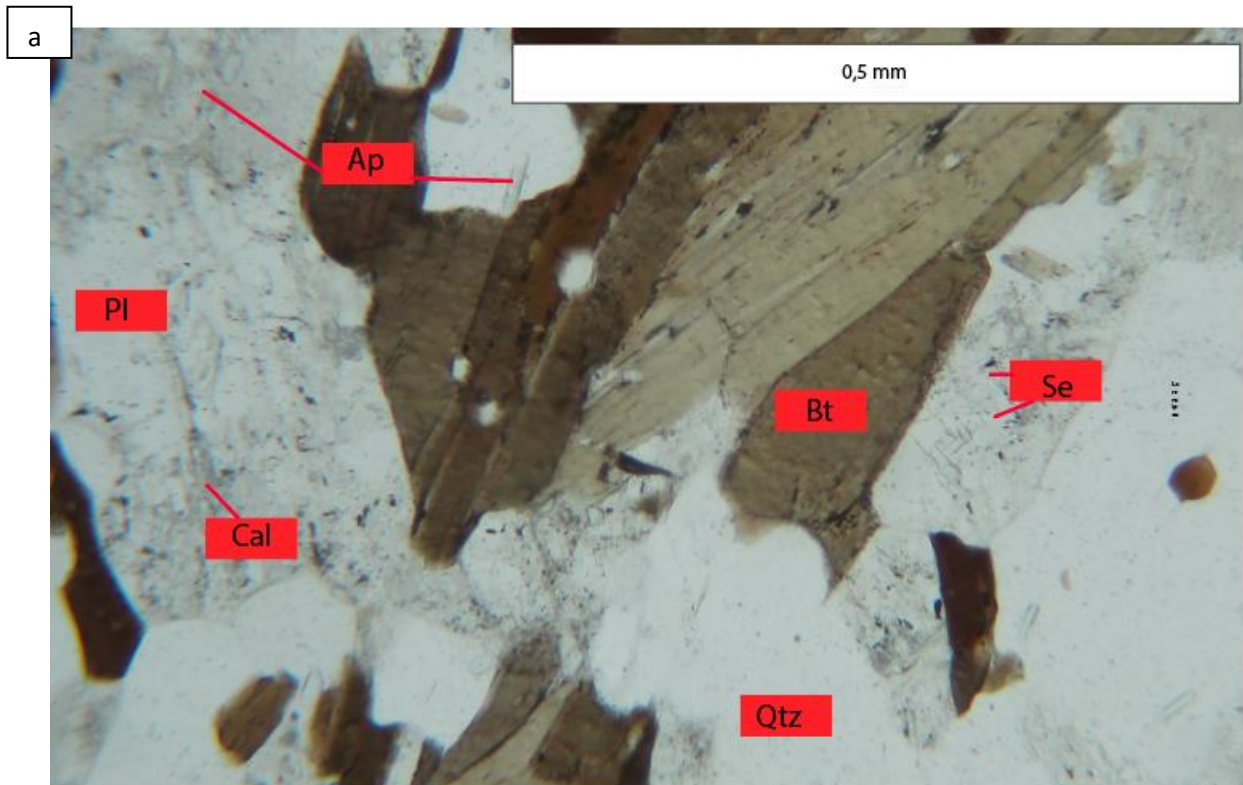
**Ortoklas** je prisutan u obliku alotriomorfni zrna veličine 0,15-0,45 mm. Intenzivno je alteriran u sericit. (Slika 7-5 a,b)

**Biotit** se pojavljuje kao hipidiomorfni do alotriomorfni listići veličine 0,24 do 1,8 mm. Karakteriziran je izraženim pleokroizmom u smeđoj do blijedo smeđoj boji. Uglavnom je svjež, samo mjestimično pokazuje alteraciju u klorit. Karakteriziran je i eksolucijom igličastog minerala, najvjerojatnije rutila, prvenstveno na mjestima kloritizacije. Sadrži mnogobrojne uklopke cirkona s izraženim metamiktnim ovojem oko njega (Slika 7-5 a,b). Listići biotita pokazuju paralelnu orijentaciju.

**Muskovit** se u uzorku pojavljuje vrlo rijetko i to isključivo prorasta s biotitom. Karakteriziran je interferencijskim živim bojama II reda.

**Cirkon** je akcesorni mineral, kristalići su mu veličine 0,015 do 0,032 mm. Prepoznatljiv je po bezbojnim kristalićima visokog reljefa, živih interferencijskih boja višeg reda (slika 7,4 a,b).

**Apatit** se pojavljuje u obliku štapićastih zrna veličine 0,015-0,32 mm. Ima paralelno potamnjenje i sive interferencijske boje I. reda (Slika 7,4 a).



*Slika 7-4. Lamelarni plagioklas (Pl) koji alterira u kalcit (Cal) i sericit (Ser). Dobro vidljivi štapići apatita (Ap) bez analizatora. a) bez analizatora N, b) s analizatorom N+.*

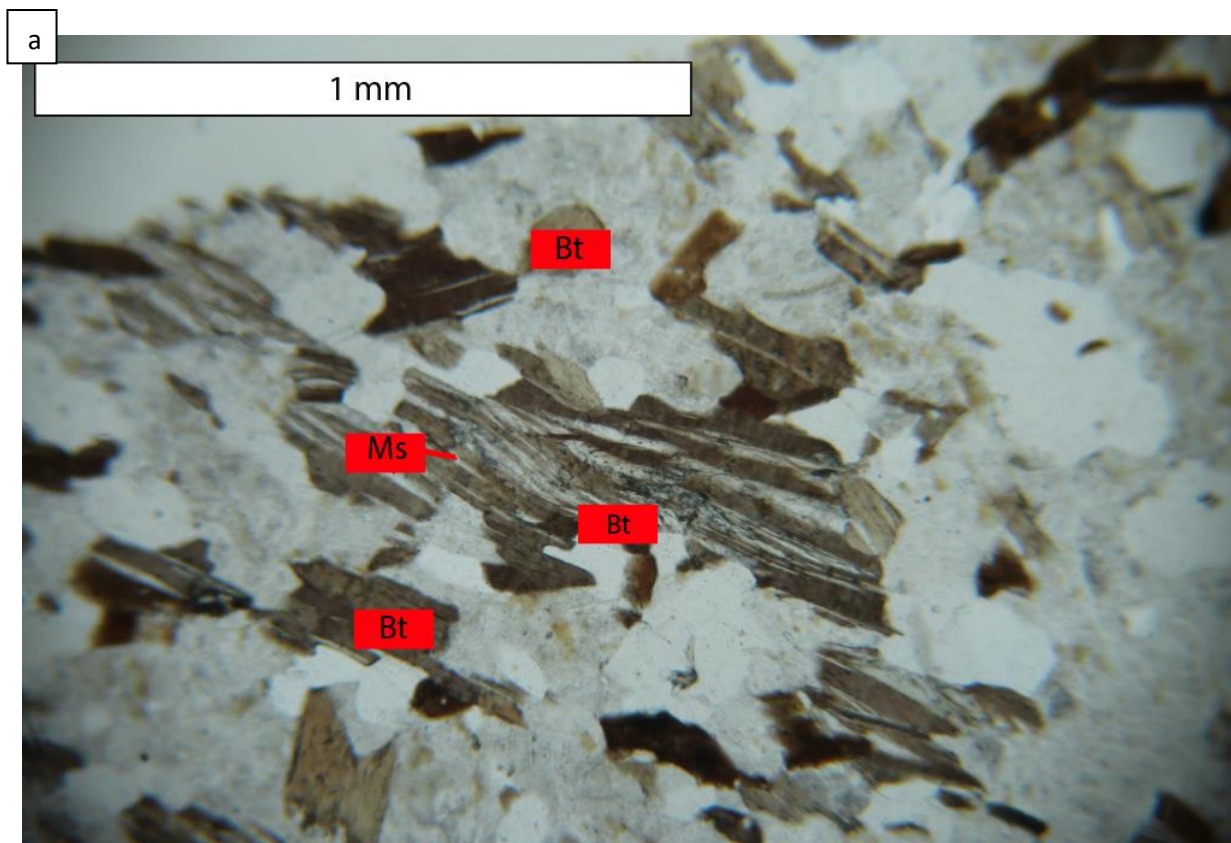
**Sericit** se pojavljuje u obliku sitnolistićavih agregata, živih interferencijskih boja višeg reda, prvenstveno kao alteracija po feldspatima (Slika 7-5 a,b).

**Kalcit** je prisutan u obliku bezbojnog alotriomornog zrnja, koje pokazuje izraženu pseudoapsorpciju. Nastaje kao produkt alteracije feldspata, (Slika 7-4 a,b).

**Klorit** se javlja u obliku listića, kao produkt alteracije biotita. Pokazuje blagi pleokroizam u blijedo zelenim do žutozelenim bojama (Slika 7-5 a, b).

**Rutil** se pojavljuje u obliku sitnih igličastih agregata u biotitu, i to prvenstvena na mjestima kloritizacije biotita (Slika 7-5 a, b).

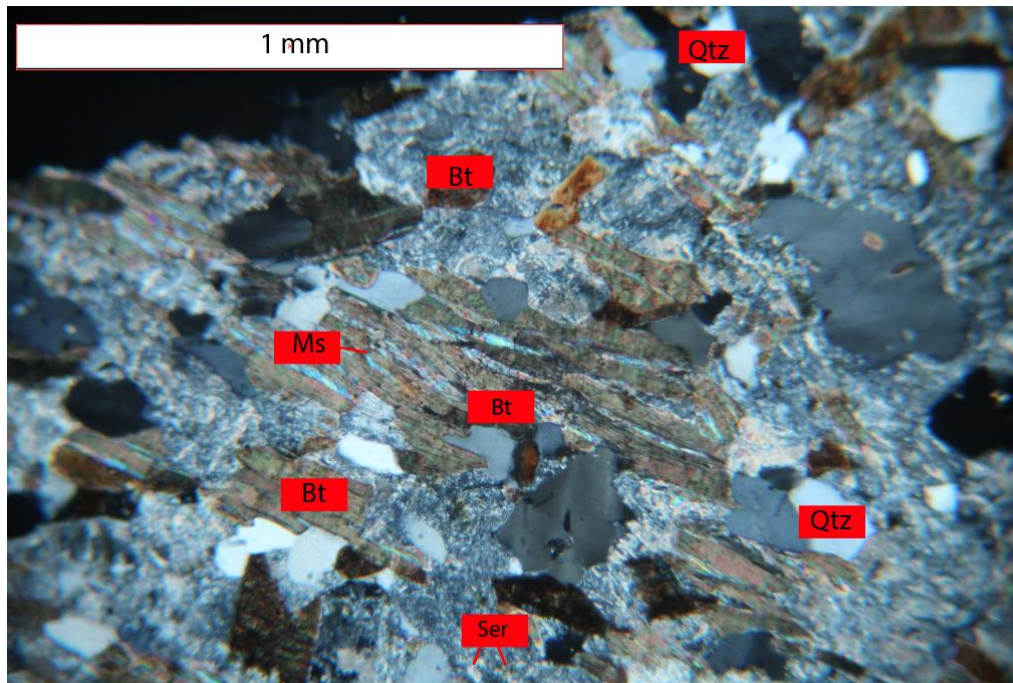
**Epidot** je prisutan u obliku zrnja veličine 0,02-0,04 mm, najčešće u asocijaciji s biotitom. Odlikuju ga jaki reljef te žive interferencijske boje višeg reda (Slika 7-6).



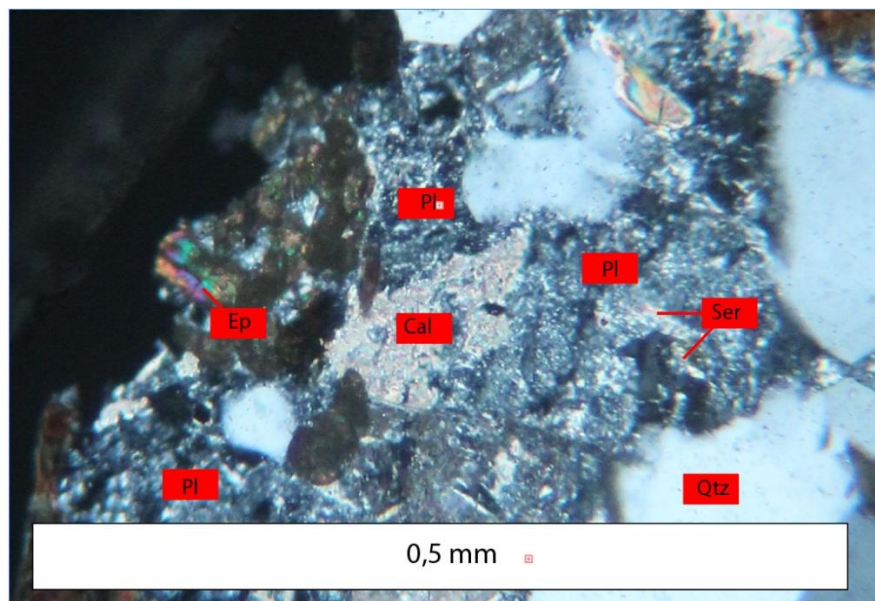
*Slika 7-5. a) Prorastanje muskovita (Ms) i biotita (Bt). Slikano bez analizatora N.*



b



*Slika 7-5. b* Prorastanje muskovita (*Ms*) s biotitom (*Bt*). Feldspati intenzivno alterirani u sericit (*Ser*). Slikano s analizatorom *N+*.



*Slika 7-6.* Nakupina zrna epidota (*Ep*) u asocijaciji s velikim listićem biotita, koji je u položaju potamnjenja. Dobro vidljiva sericitizacija (*Ser*) i nastajanje kalcita (*Cal*) u plagioklasu (*Pl*). Slikano s analizatorom *N+*.

#### 7.1.4. Uzorak PUK-20 3C

Kao i na prethodna dva uzorka mafitnih enkava glavni minerali su kvarc, plagioklas, ortoklas i biotit. Akcesorni minerali su cirkon i apatit. Sekundarne minerale čine sericit, kalcit, klorit, rutil i epidot.

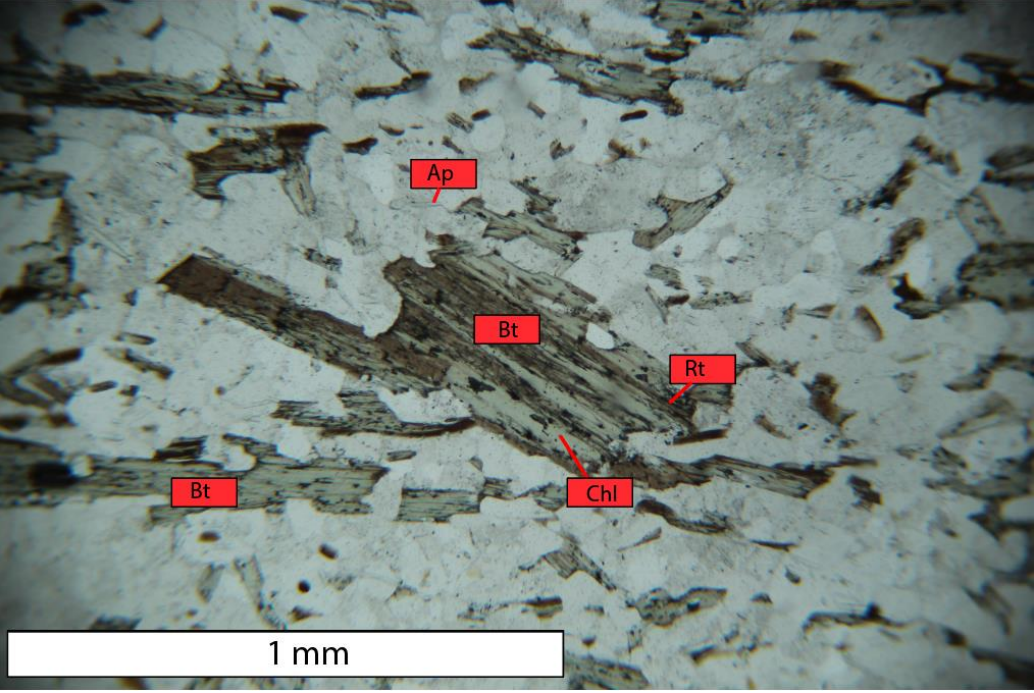
**Kvarc** se javlja u obliku bezbojnih alotriomorfni zrna veličine 0,05-0,7 mm. Karakteriziran je unduloznim potamnjenjem. Uklapa mnogobrojne štapiće apatita i poneki listić biotita (Slika 7-7 a,b).

**Plagioklas** je prisutan u obliku hipidiomorfni do alotriomorfni zrna veličine raspona 0,1-0,8 mm. Pokazuje zonalnu i lamelarnu građu. Alteriran je u sericit i u manjoj mjeri u kalcit (Slika 7-8).

**Ortoklas** je u obliku alotriomorfni zrna veličine 0,15-0,65 mm. Alteriran je u sericit (Slika 7-8).

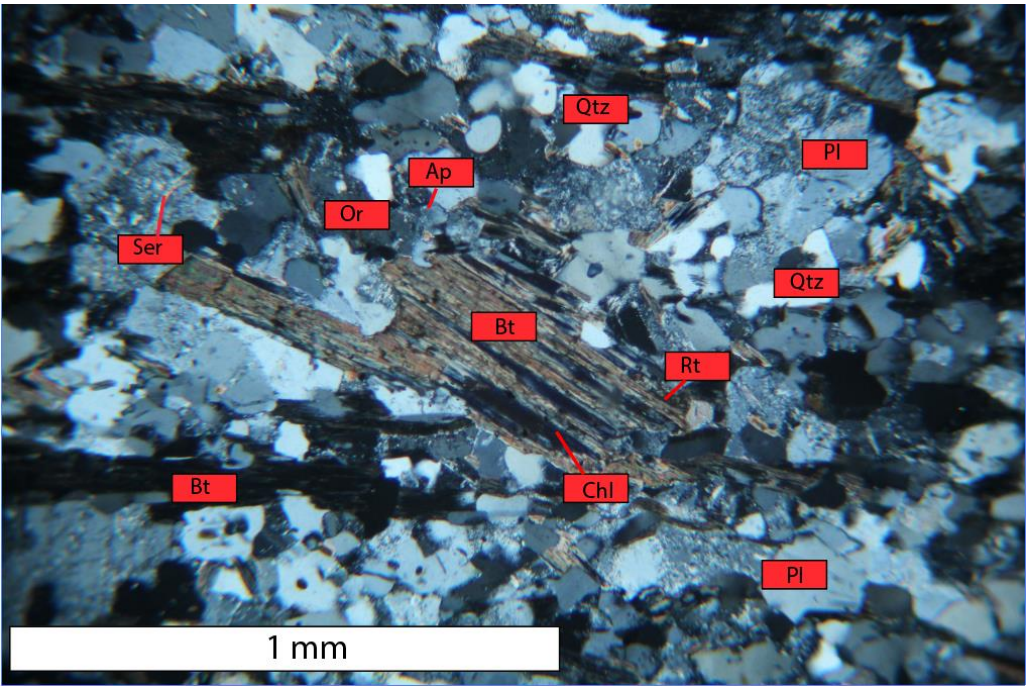
**Biotit** se javlja kao hipidiomorfni do alotriomorfni agregat listićavih minerala duljine 0,4-1,45 mm. Ima izraženi pleokroizam u smeđoj i blijedo smeđoj boji. Pokazuje alteraciju u klorit te igličaste agregate rutila, osobito na mjestima kloritizacije. Listići biotita pokazuju paralelnu orijentaciju (Slika 7-7 a,b).

a



*Slika 7-7. a) Svijetlo zelenkasti listići klorita (Chl) potiskuju biotit (Bt). U biotitu su vidljive sitne iglice rutila (Rt). N.*

b



*Slika 7-7. b) Kloritizacija (Chl) biotita (Bt) i pojava igličastog rutila (Rt). Plagioklas (Pl), i ortoklas (Or) pokazuju alteraciju u sericit (Ser). Kvarc sadrži štapićaste uklopke apatita i listićavog biotita. Slikano s analizatorom N+.*

**Cirkon** je akcesorni mineral veličine 0,01-0,04 mm. Odlikuju ga izrazito visok reljef te žive interferencijske boje višeg reda. Najčešće se javlja uklopljen u biotitu i pokazuje tamni metamiktni ovoj (Slika 7-8).

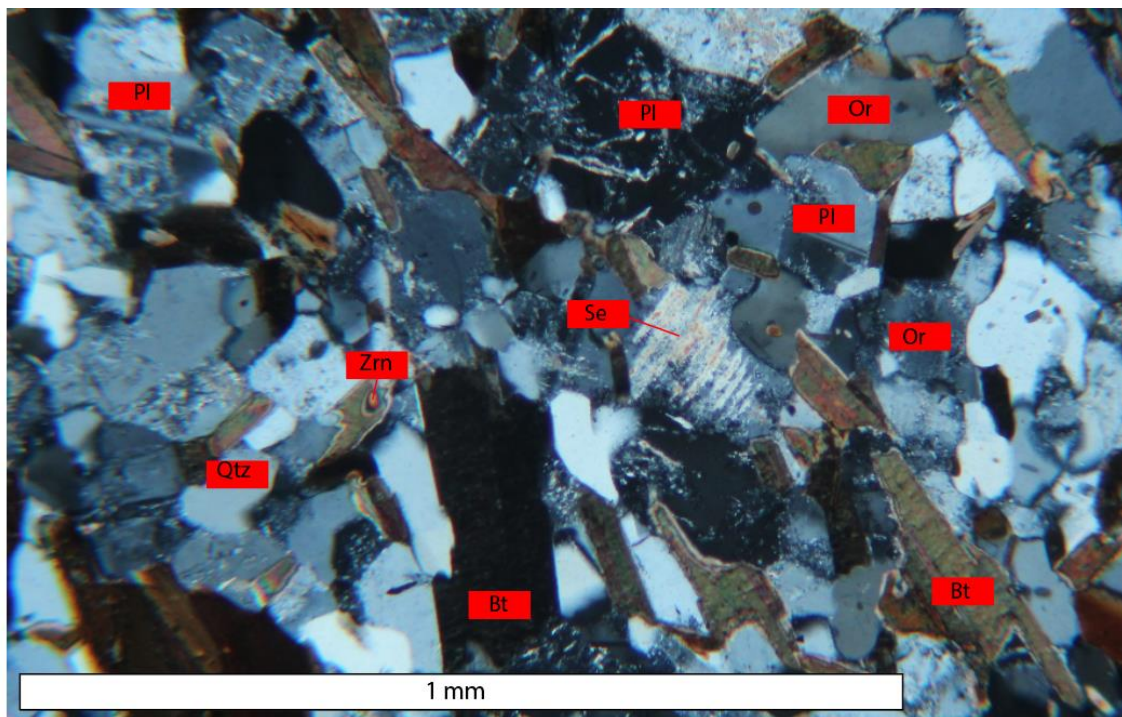
**Apatit** je također akcesorni mineral, javlja se u obliku vrlo pravilnih štapića dimenzija 0,015 do 0,32 mm. Najčešće je uklopljen u kvarcu.

**Sericit** je prisutan u obliku sitnolistićavih agregata, nastao prvenstveno kao produkt alteracije feldspata (Slika 7-8).

**Kalcit** je sekundaran mineral, ispunjava mikropukotine u stijeni te se javlja u manjoj mjeri kao produkt alteracije plagioklasa.

**Klorit** nastaje isključivo alteracijom biotita. Pokazuje pleokroizam u bezbojnim do blijedozelenim bojama, i sivo do lavandulasto plave interferencijske boje (Slika 7-7 a,b).

**Rutil** se javlja kao igličasti agregat isključivo u biotitu. Nastaje eksolucijom iz biotita ili u okviru alteracije zajedno s kloritom (Slika 7-7 a,b).



*Slika 7-8. Alteracija zonalnih i lamelarnih plagioklasa (Pl) u sericit (Ser). Uklopak cirkona (Zrn) u biotitu (Bt). Kvarc sadrži štapićaste uklopke apatita i uklopke biotita. N+.*

### 7.1.5. Uzorak PUK-20 4C

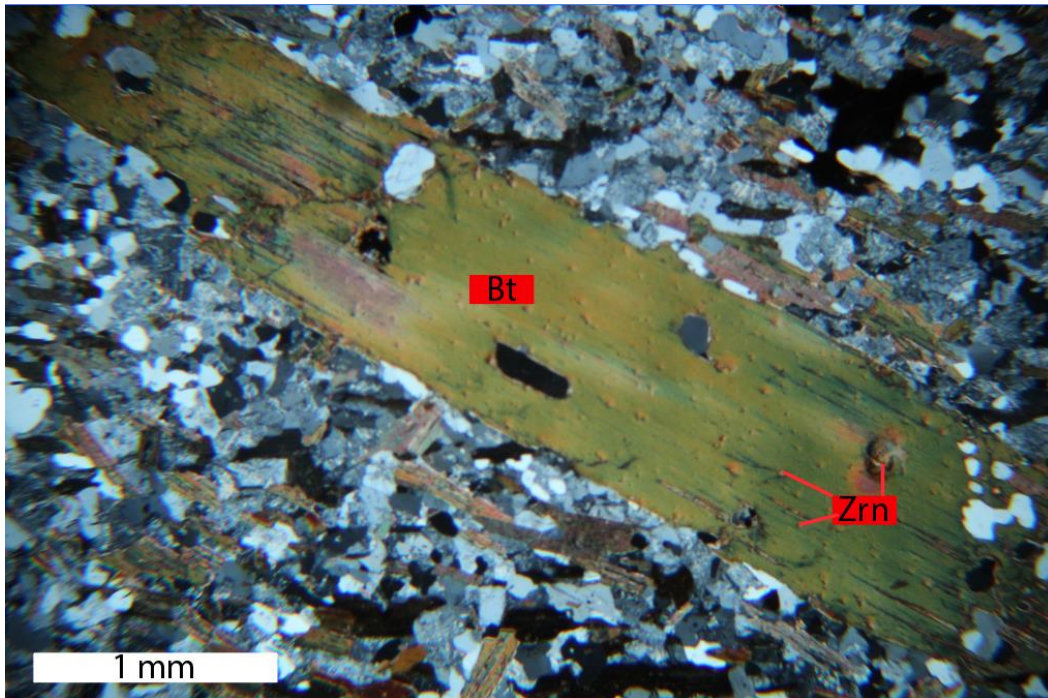
U ovom su uzorku su kvarc, plagioklas, ortoklas i biotit glavni minerali. Plagioklasa ima više nego ortoklasa. Akcesorni minerali su cirkon, apatit i opaki mineral. Sekundarni minerali su sericit, kalcit, klorit i rutil.

**Kvarc** se pojavljuje u obliku alotriomorfni zrna veličine 0,1-0,65 mm. Odlikuje ga undulozno potamnjenje. Uklapa štapiće apatita i listiće biotita (Slika 7-10 a, b).

**Plagioklas** je prisutan u obliku hipidiomorfni do alotriomorfni zrna veličine 0,15-0,75 mm. Vidljivi su lamelarni i zonalni plagioklasi. U velikoj su mjeri izmijenjeni u u sericit i kalcit (Slika 7-10 a, b).

**Ortoklas** se javlja kao alotriomorfna zrna veličine 0,1-0,35 mm. Pokazuje intenzivnu alteraciju u sericit (Slika 7-10 a, b).

**Biotit** karakteriziraju hipidiomorfni do alotriomorfni listići duljine 0,6-2,25 mm. Ima izraženi pleokroizam u smeđim do blijedo smeđim bojama. U uzorku se pojavljuje i jedan listić biotita duljine 7,5 mm, koji po svim svojim karakteristikama, osim po veličini, odgovara ostalim listićima biotita u stijeni (Slika 7-9). Uklapa zrno cirkona s razvijenim tamnim metamiktnim ovojem te zrna kvarca. Listići biotita su mjestimično alterirani u klorit te sadrže igličaste agregate rutila na mjestima kloritizacije (Slika 7-10 a, b).



*Slika 7-9. Porfiroblast biotita (Bt) duljine 7,5 mm. Veličinom jako odstupa od ostalih listića biotita, ali ima isti smjer izduženja. Dobro su vidljivi uklopci cirkona (Zrn) i kvarca u biotitu. N+.*

**Cirkon** je akcesorni mineral, zrna su veličine 0,015-0,08 mm i najčešće su uklopljena u biotit, pri čemu se lijepo vidi razvijeni tamni metamiktni ovoj. Karakteriziran je izrazito visokim reljefom te živim interferencijskim bojama višeg reda (Slika 7-9).

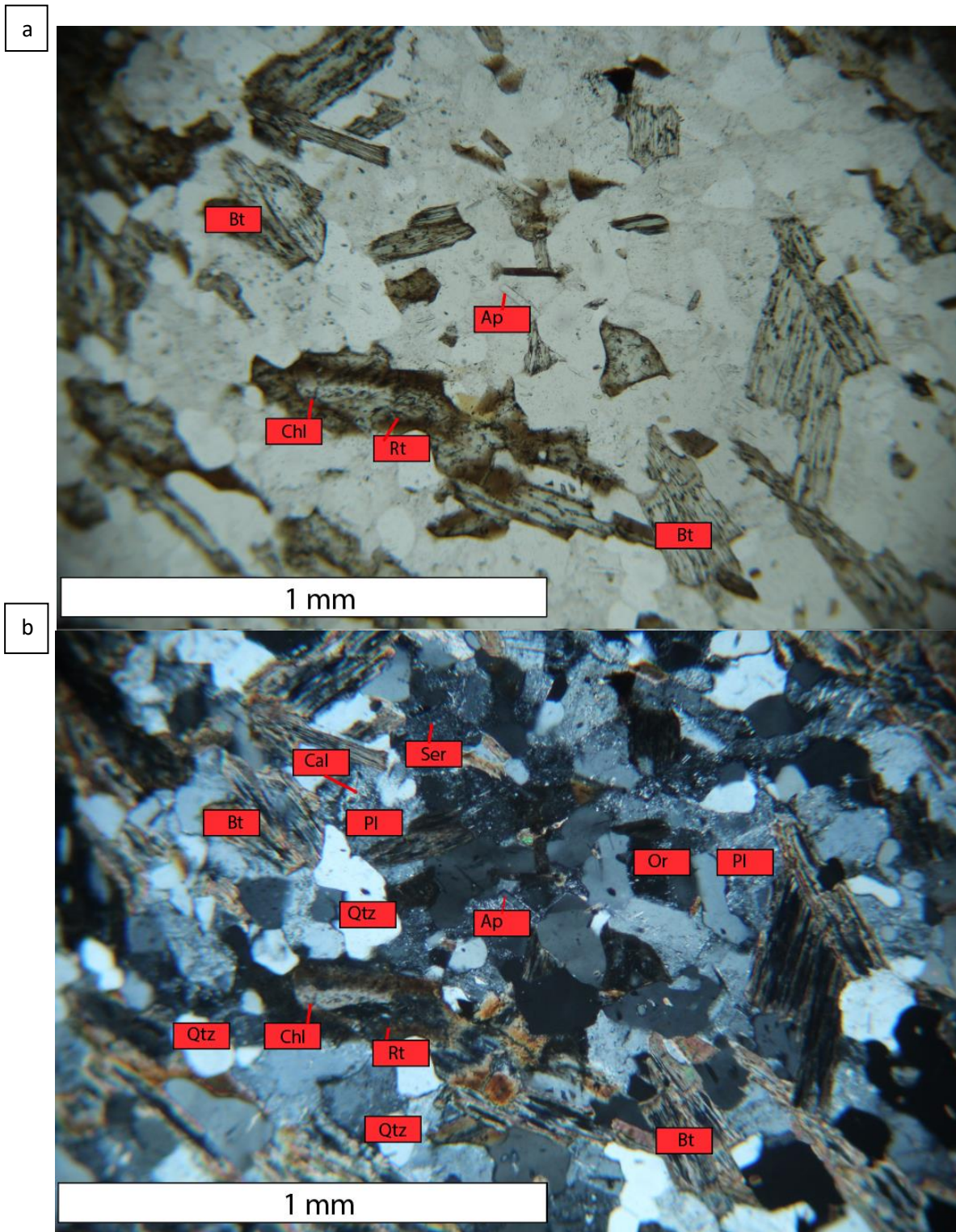
**Apatit** u se pojavljuje u obliku pravilnih štapića veličine 0,02-0,18 mm. Karakteriziran je paralelnim potamnjenjem i sivom interferencijskom bojom I. reda (Slika 7-10 a, b).

**Opàki mineral** je primijećen u obliku tamnih agregata veličine 0,3 do 0,4 mm.

**Sericit** je sitnolistićavi produkt alteracije feldspata (Slika 7-10 a, b). **Kalcit** je također uočen kao produkt alteracije plagioklasa. Njegova zrna imaju izraženu pseudoapsorpciju te pokazuju bijelu interferencijsku boju višeg reda (Slika 7-10 a, b).

**Klorit** je nastao alteracijom biotita. Listići pokazuju bezbojan do blijedo zeleni vrlo blagi pleokroizam (Slika 7-10 a, b).

**Rutil** se javlja kao tamni igličasti agregat unutar biotita, i to prvenstveno na mjestima kloritizacije biotita (Slika 7-10 a, b).



*Slika 7-10. Izrazito kloritizirani (Chl) biotit (Bt) s crnim iglicama rutila (Rt). Ostali minerali su kvarc (Qtz), plagioklas (Pl), ortoklas (Or). Plagioklas alterira u kalcit (Cal) i sericit (Ser). Dobro vidljivi štapići apatita (Ap). a) bez analizatora N, b) s analizatorom N+.*

### 7.1.6. Uzorak PUK-20 5C

Glavni minerali u ovome uzorku su kvarc, plagioklas, ortoklas i biotit. Plagioklas je zastupljeniji nego ortoklas. Akcesorni minerali su cirkon i apatit. Sekundarni minerali su sericit, kalcit, klorit nastao i rutil i epidot.

**Kvarc** se javlja u obliku alotriomorfnih zrna veličine 0,15-0,8 mm. Karakteriziran je unduloznim potamnjenjem i često uklapa štapiće apatita i listiće biotita (Slika 7-11 a,b).

**Plagioklas** je hipidiomorfnog do alotriomorfnog oblika zrna, veličine 0,1 do 0,65 mm. Vidljiv je lamelarni i zonalni plagioklas. Mjestimično je alteriran u sericit, te u puno manjoj mjeri u kalcit (Slika 7-11 a,b).

**Ortoklas** je prisutan u obliku alotriomorfnih zrna veličine 0,15 do 0,8 mm. Alteriran je u sericit (Slika 7-11 a,b).

**Biotit** se na ovom uzorku pojavljuje u obliku hipidiomorfnih do alotriomorfnih listića duljine 0,84 do 2,15 mm. Karakteriziran je izraženim pleokroizmom u smeđim do blijedo smeđim bojama. Mjestimično je alteriran u klorit te i sadrži igličaste agregate rutila na mjestima kloritizacije (Slika 7-11 a,b).

**Cirkon** je akcesoran mineral, javlja se u obliku sitnih zrna, visokog reljefa i žive interferencijskih boja II reda. Najčešće je uklopljen u biotit, unutar kojeg ima razvijen taman metamiktni ovoj.

**Apatit** je također akcesorni mineral, dolazi u oblicu individualnih štapića, veličine 0,025-0,32 mm. Ima sive interferencijske boje I. reda i paralelno potamnjenje. Najčešće se javlja kao uklopak u kvarcu (Slika 7-11 a,b).

**Sericit** se javlja u obliku sitnolistićavih agregata i nastaje isključivo kao produkt alteracije feldspata (Slika 7-11 a,b).

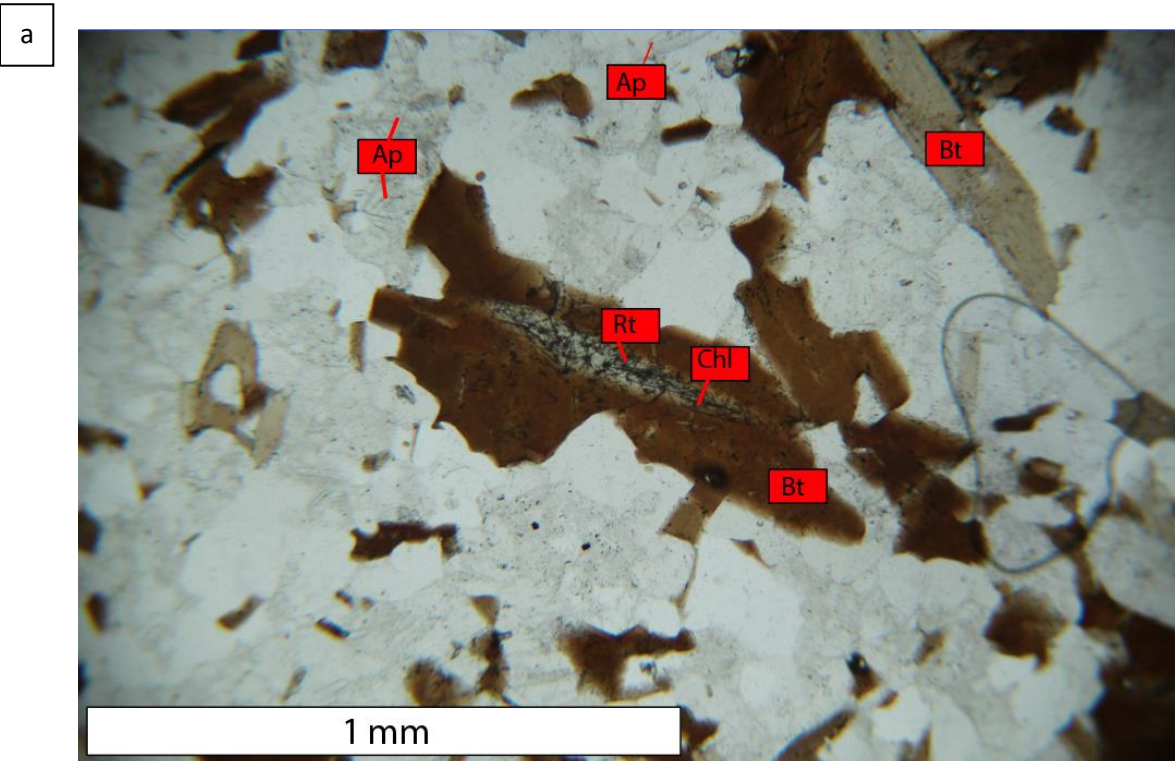
**Kalcit** je prisutan u obliku nepravilnog zrnja, prvenstveno kao alteracija u plagioklasu ili duž mikropukotina. Karakteriziran je izraženom pseudoapsorpcijom te bijelom interferencijskom bojom višeg reda (Slika 7-11 a,b).



**Klorit** je isključivo produkt alteracije biotitu. Pojavljuje se kao listić blagog pleokroizma u bezbojnim do blijedozelenim bojama (Slika 7-11 a,b).

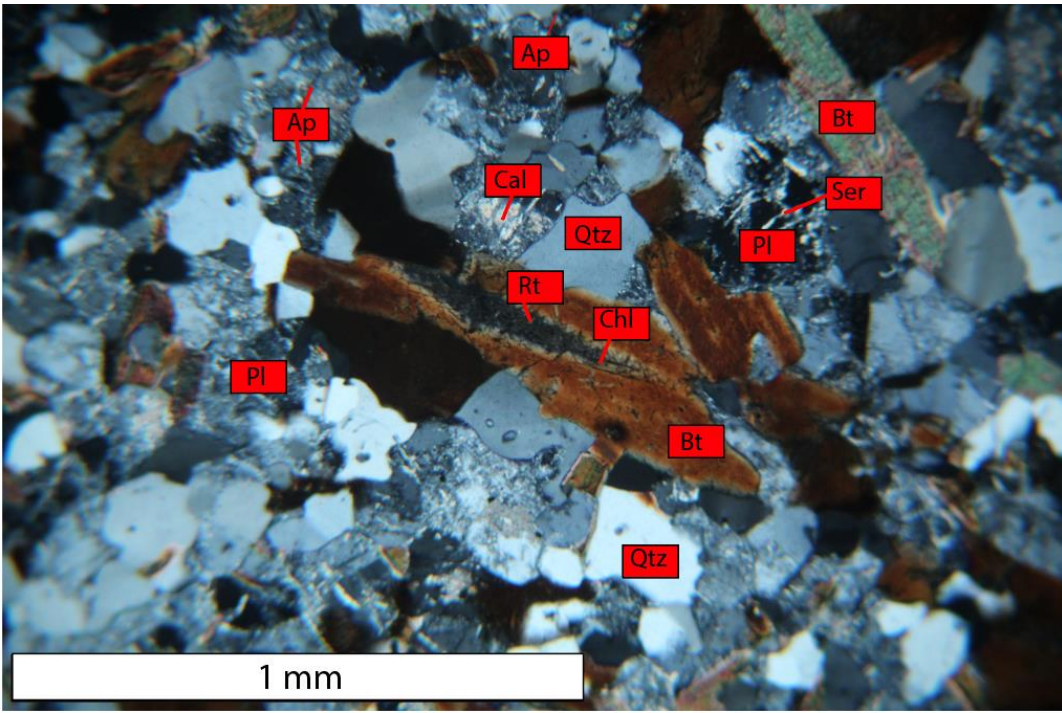
**Rutil** se javlja kao agregat crnih igličastih minerala u biotitu, i to prvenstveno na mjestu kloritizacije biotita (Slika 7-11 a,b).

**Epidot** je prisutan u obliku nepravilnog zrnja, veličine 0,02-0,08 mm. Odlikuju ga vrlo visok reljef te živa interferencijska boja II reda (Slika 7-12), a javlja se prvenstveno na mjestima kloritizacije biotita.

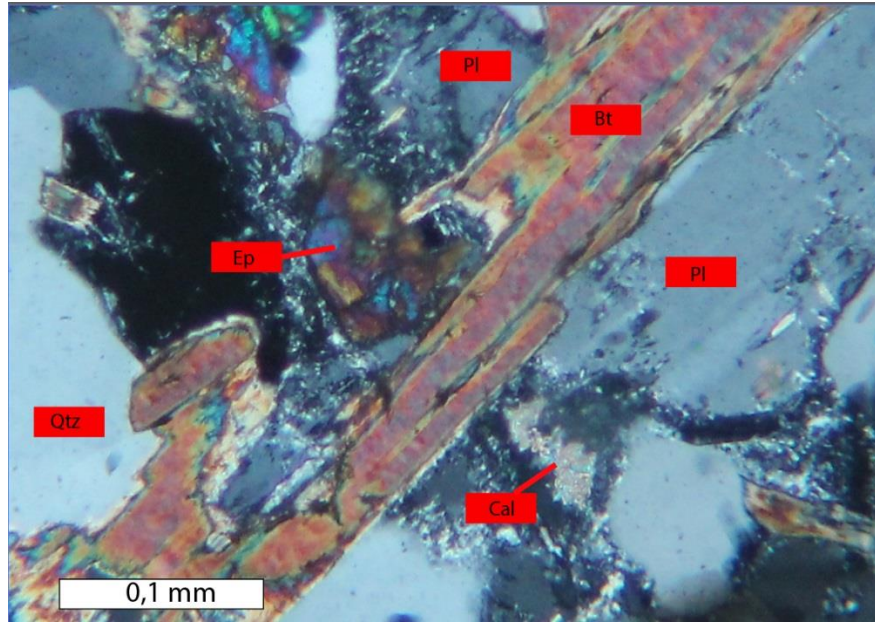


*Slika 7-11 b) Kloritizacija (Chl) biotita (Bt), te eksolucije igličastih agregata rutila (Rt) u uzorku PUK-20-5C. N.*

b



*Slika 7-11 b) Kloritizacija (Chl) biotita (Bt), te eksolucije igličastih agregata rutila (Rt) u uzorku PUK-20-5C. Ostali glavni minerali su ortoklas (Or), plagioklas (Pl) i kvarc (Qtz). Dobro vidljiva sericitizacija (Ser) i kalcitizacija (Cal) na feldspatima. N+.*



*Slika 7-12. Mineral epidot (Ep) u asocijaciji s biotitom (Bt). Glavni minerali su plagioklas (Pl), ortoklas (Or), kvarc (Qtz) te biotit (Bt). Vidljiv je razvoj kalcita (Cal) u intergranularnom prostoru između kvarca i plagioklasa. N+.*

## **8. DISKUSIJA**

Istraživanja mafitnih enklava u okviru ovog rada, a koje se u obliku zaobljenih, eliptičnih do izduženih tijela, dekametarskih dimenzija, javljaju u granitoidnoj stijeni smještenoj u zapadnom dijelu kamenoloma Puklica na Papuku (Slika 5-1, 5-2) su pokazala da granitoidna stijena domaćin po svom mineralnom sastavu odgovara granitu. U napravljenom mikroskopskom izbrusku u stijeni domaćinu nije nađen granat, međutim u više izbrusaka koji su u ovoj granitoidnoj stijeni napravljeni u okviru završnog rada kolegice Leonarde Vilenice, u gotovo svim je nađen granat, stoga se u naslovu ovog rada nalazi granatni granit, a ne samo granit, kako je determinirano u okviru ovog završnog rada.

### **8.1. Mineralni sastav, struktura i tekstura mafitnih enklava**

U svim uzorcima mafitnih enklava ustanovljen je uniformni mineralni sastav. Glavni minerali u stijeni su kvarc, plagioklas, ortoklas i biotit, pri čemu je plagioklas zastupljen u većoj količini nego ortoklas. Kao akcesorni minerali se javljaju cirkon i apatit. Cirkon je najčešće uklopljen u biotit, u kojem je oko zrna cirkona formiran tamni metamiktni ovoj. Apatit se javlja u obliku vrlo pravilnih mnogobrojnih štapića uklopljenih u kvarc. Sekundarni minerali su sericit i kalcit, koji nastaju alteracijom feldspata, te klorit, rutil i epidot koji nastaju alteracijom biotita. Tek u jednom uzroku je nađeno malo listića muskovita koji prorasta s biotitom. Valja istaknuti da u istraženim uzorcima vezano za teksturalne karakteristike postoji izražena paralelna do subparalelna orijentacija biotitnih listića, ali bez ikakvih znakova deformacija. Struktura mafitnih enklava je mikroznata i svi uzorci su klasificirani kao mafitna enklava tonalitnog sastava.

U odnosu na stijenu domaćin koja je u okviru ovog rada determinirana kao granit, mineralni sastav mafitnih enklava se razlikuje po manjoj zastupljenosti ortoklasa, u odnosu na plagioklas, i daleko većoj zastupljenosti biotita. Cirkon je zastupljen na jednak način u obje vrste stijena, međutim apatita ima puno više u mafitnim enklavama. Pertit i mirmekit koji su tipični za granit ne pojavljuju se u mafitnim enklavama. S druge strane, vrsta alteracija je ista u obje vrste stijena. U odnosu na granitnu stijenu domaćin, mafitne enklave su puno sitnozrnatije.

## 8.2. Postanak mafitnih enklava

Postojanje mafitnih enklava u granitoidnim stijenama od velike je važnosti jer može dati puno informacija o genezi i evoluciji granitoida. Mafitne enklave u S-tipovima granita mogu biti metasedimentnog postanka ili se pak može raditi o mikrogranularnim enklavama (MAAS I DR., 1997). Metasedimentne stijene su litološki različite, obično se radi o gnajs-migmatitnim ili biotitom bogatim stijenama, a koje su važne jer mogu predstavljati moguće fragmente izvornog materijala čijim je taljenjem nastala granitna magma ili pak predstavljati refraktorni materijal preostao nakon formiranja i ekstrakcije peraluminijske granitne magme (MAAS I DR., 1997). S druge strane mikrogranularne enklave imaju magmatske mikrostrukture i pokazuju veliku sličnost sa stijenom domaćinom u odnosu na mineralni sastav i kemizam (DIDIER, 1973). VERNON (2014) ističe da mikrogranularne enklave treba nazivati mikrogranitoidnim enklavama, budući se radi o sitnozrnatim i tamnijim stijenama u odnosu na granitoidni domaćin, iako su felzičnog do neutralnog sastava, a imaju mineralnu zajednicu koja se prvenstveno sastoji od biotita, plagioklasa i kvarca sa ili bez K-feldspata, ortopiroksena i kordijerita.

U literaturi je do sada ponuđeno više različitih modela za interpretaciju postanka mikrogranularnih enklava u granitoidnim stijenama: 1) model miješanja magmi pri čemu bi mikrogranularne enklave predstavljale mafitnu magmu porijeklom iz plašta koja se djelomično pomiješala sa felzičnom magmom porijeklom iz kore (VERNON, 2014); 2) restitni model, u kojem mikrogranularne enklave predstavljaju refraktorni materijal izvorne stijene čijim taljenjem je nastala granitoidna stijena domaćin (CHAPPELL, WYBORN, 2012); 3) model prema kojem su mikrogranularne enklave formirane kao kumulati ili ohlađeni rubovi magma iz kojih porijeklo vuče granitoidna stijena domaćin (LEE I DR., 2015); 4) model u okviru kojeg su mikrogranularne enklave formirane u kristalizacijskom procesu brzim hlađenjem na rubovima kanala duž kojih se granitoidna magma dizala prema površini (DONAIRE I DR., 2005) te 5) model po kojem mikrogranularne enklave jesu ksenoliti (CLEMENS, ELDBURG, 2013).

Za pravilnu klasifikaciju mafitnih enklava ključno je poznavanje osnovnih principa za interpretaciju magmatskih i metamorfnih mikrostrukture. Naime, ako su mafitne enklave restiti, morale bi biti karakterizirane metamorfnom strukturom (VERNON, 2014).

Mikrostrukture koje upućuju na magmatski postanak jesu euhedralna zrna feldspata, oscilatorna zonarna građa, orijentacija izduženih minerala u jednom smjeru bez znakova unutarnje deformacije kao posljedica magmatskog toka, ako se radi o sporo hlađenim magmama svi su minerali podjednake veličine, a ako se radi o brzo hlađenim magmama razvijaju se izduženi i igličasti minerali (VERNON, 2014).

Na temelju istraženih uzoraka vjerojatnije je da se radi o mafitnim enklavama koje imaju više magmatskih nego metamorfnih karakteristika. Naime u mafitnim enklavama su prisutni zonirani plagioklasi, nedeformirani izduženi listići biotita i brojni igličasti kristali apatita uklopljeni u kvarc. Dodatno mineralni sastav istraženih mafitnih enklava vrlo je sličan stijeni domaćinu, a i po svom mineralnom sastavu one odgovaraju uobičajenom mineralnom sastavu mikrogranularnih enklava, za koje se smatra da su magmatskog postanka (MAAS, 1997). Za argumentirani zaključak o genezi mafitnih enklava trebalo bi napraviti geokemijska istraživanja granatnog granita i mafitnih enklava u kamenolomu Puklica. Idealno bi ona uključila određivanje ukupnog kemizma stijene domaćina i mafitnih enklava, određivanje kemizma njihovih minerala pomoću elektronske mikrosonde, određivanje kristalizacijskih temperatura pomoću titanija u cirkonu termometra, određivanje starosti U-Pb metodom na cirkonima u stijeni domaćinu i mafitnim enklavama, izotopne Rb-Sr analize, a sve u cilju usporedbe podataka i zaključivanja na postanak iz istog ili različitog izvora.

## 9. ZAKLJUČAK

Istraženo je 5 uzoraka mafitnih enklava uklopljenih u granatni S-tip granita u kamenolomu Puklica, nedaleko od mjesta Đulovac, na sjeverozapadnim obroncima slavonske planine Papuk. U svim uzorcima nađeni su plagioklas, ortoklas, kvarc i biotit kao glavni minerali. Plagioklas je zastupljen u puno većoj mjeri nego ortoklas. Akcesorni minerali su cirkon i apatit. Plagioklas i ortoklas su djelomično alterirani u sericit i kalcit, a biotit u klorit, igličasti agregat rutila i epidot. Struktura stijene je mikroznata, a vezano uz teksturalne karakteristike, posoji paralelna do subparalelna orijentacija biotitnih listića. Stijena je klasificirana kao mafitna enklava tonalitnog sastava.

Mafitne enklave uklopljene su u granit S-tipa, čija je analiza pokazala da kao glavne minerale sadrže kvarc, plagioklas, ortoklas i mikroklin, akcesorni su cirkon, apatit i silimanit. Feldspati su djelomice alterirani u minerale glina, sericit i kalcit, dok je biotit kloritiziran i sadrži igličaste agregate rutila i epidota kao posljedicu alteracije. U stijeni su prisutni pertit i mirmekit. Prijelazom iz stijene domaćina, granita, u mafitne enklave dolazi do izražene promjene u veličini zrna koja su znatno manja u enklavama, te porastu količine biotita što uzrokuje tamnosivu do crnu boju enklava.

Zaključeno je da istražene mafitne enklave najvjerojatnije više odgovaraju mikrogranularnim enklavama (MAAS, 1997) odnosno mikrogranitoidnim enklavama (VERNON, 2014), za koje su smatraju da su prvenstveno magmatskog postanka.

## 10. POPIS LITERATURE

BALEN, D., PETRINEC, Z. (2014): Development of columnar jointing in albite rhyolite in a rapidly cooling volcanic environment (Rupnica, Papuk Geopark, Croatia), *Terra nova*, 26, 102-110.

BARBARIN, B., DIDIER, J. (1991): *Conclusions: enclaves and granite petrology*, Elsevier, Amsterdam, str. 545-549.

CHAPPELL, B. W. (1996): Magma mixing and the production of compositional variation within granite suites: evidence from the granites of Southeastern Australia., *J Petrol* 37, 449-470.

CHAPPELL, B. W., WYBORN D. (2012): Origin of enclaves in S-type granites of the Lachlan fold belt. *Lithos*, 154, 235-247.

CLEMENS, J. D., ELBURG, M. A. (2013): Comment – Origin of enclaves in S-type granites of the Lachlan Fold Belt. *Lithos*, 175-176, 351-352.

DIDIER, J. (1973): *Granites and their enclaves*. Elsevier, Amsterdam, str. 393.

DONAIRE, T., PASCUAL, E., PIN, C. & DUTHOU, J. L. (2005): Microgranular enclaves as evidence of rapid cooling in granitoid rocks: the case of the Los Pedroches granodiorite, Iberian Massif, Spain.

HORVAT, M., BUDA, GY. (2004.) Geochemistry and petrology of some Granitoids from Papuk and Psunj Slavonian mountains, Croatia, *Acta Mineralogica-Petrographica*, 45, 93-100

HORVAT, M., KLOTZLI, U., JAMIČIĆ, D., BUDA, GY., KLOTZLI, E. & HAUZENBERGER, C. (2018): Geochronology of granitoids from Psunj and Papuk Mts., Croatia, *Geochronometria*, 45, 198-210

JAMIČIĆ, D. (1979): Prilog poznavanju tektonskih odnosa Papuka i Krndije, *JAZU*, 199-206, Stubičke Toplice.

JAMIČIĆ, D. (1983): Strukturni sklop metamorfnih stijena Krndije i južnih padina Papuka, Geol. Vjesn, 36, 51-72, Zagreb.

JAMIČIĆ, D. (1989): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Daruvar L 33-95, Beograd.

JAMIČIĆ, D., VRAGOVIĆ, M. & MATIČEC, D. (1989): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100 000, Tumač za list Daruvar, L 33-95, Beograd.

LEE, C-T.A., MORTON, D.M., FARNER, M.J. & MOITRA, P. (2015): Field and model constraints on silicic melt segregation by compaction/hindered settling: The role of water and its effect on latent heat release: *The American Mineralogist*, 100, 1762-1777.

LUGOVIĆ, B. (1983): Efuzivne stijene sjeverozapadnoga dijela Papuka, str 131-156.

MAAS, R., NICHOLLS, & I.A. LEGG, C. (1997): Igneous and metamorphic enclaves in the S-type Dedick granodiorite, Lachlan Fold Belt, SE Australia: petrographic geochemical and Nd-Sr isotopic evidence of crustal melting and magma mixing. *Journal of Petrology*, 38, 7, 815-841.

MARCI, V. (1967): Utvrđivanje porijekla anklava i gnajsa papuka na osnovu sadržaja mikroelemenata 273-280.

PAMIĆ, J., LANPHERE, M. (1991): Preliminary results on degree of thermal alteration recorded in the eastern part of Mt. Papuk, Slavonia, Croatia, str. 64-71.

PHILLIPS, G. N., WALL, V. J. & CLEMENS, J.D. (1981): Petrology of the Strathbogie batholith: a cordierite-bearing granite: *Can Mineral*, 19, 47-63.

PAMIĆ, J., LANPHERE, M. & BELAK, M. (1996): Hercynian I-type and S-type granitoids from the Slavonian Mountains (southern Pannonian Basin, northern Croatia). *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 171, 2, 155-186.

POLJAK, J. (1952): Predpaleozojske i paleozojske naslage Papuka i Krndije, geol. Vjesn. II-IV, 63-80, Zagreb.



SCHMIDT, S., M. BERNOULLI, D., FUGENSCHUH, B., MATENCO, L., SCHEFER, S. SCHUSTER, R., TISCHLER, M. & USTASZEWSKI, K. (2008): The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. Str. 139-173.

SLOVENEK, D. (1982): Kemijski sastav biotita, granata i amfibola kao pokazatelj temperature formiranja granito-metamorfnih stijena Papuka, geol. vjesn. 35, 133-152, Zagreb.

SLOVENEK, D., BERMANEC, V. (2006): Sistematska mineralogija – mineralogija silikata, udžbenici Sveučilišta u Zagrebu str. 205-289.

STUR, D. (1862): Zweite Mitteilung ubersichtsaufnahme von west Slavonien, Jahrb. geol. Reichsanst. 12. H. 2, Verhandl., 200-204, Wien.

TAJDER, M. (1969): Magmatizam i metamorfizam planinskog područja Papuk – Psunj, Geol. vjesn. sv. 22, Zagreb.

VERNON, R. H. (1983): Restite, xenoliths and microgranular enclaves in granites. J. P. Roy Soc New South Wales 116, 77-103.

VERNON, R. H. (1984): Microgranitoid enclaves in granites: globules of hybrid magma quenched in a plutonic environment. Nature, 309, 438-439.

VERNON, R. H. (1991): Interpretation of microstructures of microgranitoid enclaves In Didier J, Barbarin B (eds) Enclaves and granite petrology. Elsevier, Amsterdam, str. 277-291.

VERNON, R. H. (2004): A practical guide to rock microstructure, Cambridge University, str. 124-134.

VERNON, R. H. (2014): Microstructures of microgranitoid enclaves and the origin of S-type granitoids. Australian Journal of Earth Sciences, 61, 2, 227-239.

VRAGOVIĆ, M. (1965): Prilog poznavanju paleogeografskog sastava granitoidnih terena Papuka, Acta geol., 34, 327-332.

WODICZKA, F. (1855): Bericht uber die Geologische Untersuchung der K. K. Studien Fondsherrschaft Kutjevo in Slavonien. Sitz. Jahrb. geol. Reichsanst. 6, 868, Wien.

Web:

Geoportal Državne geodetske uprave: 2018, Topografska karta, M 1:50 000

<https://geoportal.dgu.hr/> (30.08.2020.)

Wikipedia:

<https://hr.wikipedia.org/wiki/Puklica> (20.01.2022.)

<https://hr.wikipedia.org/wiki/Papuk> (20.01.2022.)

<https://hr.wikipedia.org/wiki/%C4%90ulovac> (20.01.2022.)