

Mineraloška analiza granita i pripadajućih alteracija Motajice, Bosna i Hercegovina

Hergotić, Lucia

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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:169:828838>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-12**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij Geološkog inženjerstva

**„MINERALOŠKA ANALIZA GRANITA I PRIPADAJUĆIH
ALTERACIJA MOTAJICE, BOSNA I HERCEGOVINA“**

Završni rad

Lucia Hergotić

GI2084

Zagreb, 2020.

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

**„MINERALOŠKA ANALIZA GRANITA I PRIPADAJUĆIH ALTERACIJA
MOTAJICE, BOSNA I HERCEGOVINA“****LUCIA HERGOTIĆ**

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

Sažetak

Na području magmatsko-metamornog kompleksa Motajice, planinskog masiva na sjeveru Bosne i Hercegovine sakupljeno je i analizirano 17 uzoraka granita. Utvrđeno je da se graniti razlikuju po svome mineralnom sastavu, teksturi i strukturi prema čemu se mogu svrstati u četiri tipa granita: biotitni granit, dvotinčasti granit, leukokratni granit i grajzen. Biotitni granit čine kvarc, ortoklas i biotit, a struktura mu je zrnata do porfiroidna. Dvotinčasti se sastoji od kvarca, ortoklasa, mikrokлина, muskovita, biotita te klorita, sericita i limonita, a zrnate je alotriomorfne strukture, ponekad kataklastične. U mineralnom sastavu leukokratnog granita glavni su kvarc, ortoklas, mikroklin i muskovit, a akcesorni su cirkon, titanit, monacit te sekundarni minerali klorit i sericit. Prisutna je i limonitizacija. Struktura je zrnata alotriomorfna, ponekad kataklastična. Grajzen je zrnate alotriomorfne strukture, a u mineralnom sastavu glavni su kvarc i muskovit sa cirkonom, titanitom i monacitom i sekundarnim sericitom i limonitom. Dvotinčasti i leukokratni granit su većinom neizmijenjeni, dok su grajzen i biotitni granit pretrpjeli alteracije kao što su grajzenizacija, sericitizacija, limonitizacija.

Na temelju mineralnog sastava, struktura i tekstura samih granita, utvrđen je slijed kristalizacije različitih tipova granita. Cirkon kristalizira pri najvišim temperaturama (uklopak u biotitu), a odmah iza njega slijedi biotit. Nakon biotita kristaliziraju feldspati, muskovit, titanit, monacit i kvarc, a klorit i sericit kristaliziraju pri najnižim temperaturama kao produkti alteracija. Limonitizacija se odvija pri površinskim temperaturama. U svim tipovima granita pojavljuju se isti akcesorni minerali kao što su cirkon, titanit i monacit, što upućuje na postanak iz istog tipa magme. Najranije kristalizira biotitni granit, slijede ga dvotinčasti pa leukokratni granit. Padom temperature odvijaju se pneumatolitske (grajzenizacija), hidrotermalne (sericitizacija i kaolinitizacija) i površinske izmjene (limonitizacija) u granitnom kompleksu. Lokacije na kojima se nalaze graniti podvrgnuti sericitizaciji i grajzenizaciji (manje od 1% granitnog kompleksa) su povoljne za nastanak orudnjenja skarnskog i hidrotermalnog tipa gdje bi se trebala obavljati daljnja istraživanja.

Ključne riječi: Motajica, granitoidni kompleks, mineralogija, alteracijske izmjene

Završni rad sadrži: 41 stranicu, 20 slika i 26 referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

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

Mentor: izv. prof. dr. sc. Sibila Borojević Šošćarić

Pomoć pri izradi: mag. geol. Tomislav Brenko

Ocjenjivači: izv. prof. dr. dc. Sibila Borojević Šošćarić

izv. prof. dr. sc. Vesnica Garašić

prof. dr. sc. Bruno Tomljenović

Datum obrane: 23. rujan 2020., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

„MINERALOGICAL ANALYSIS OF GRANITE AND BELONGING ALTERATIONS OF MOTAJICA, BOSNSA AND HERZEGOVINA“

LUCIA HERGOTIĆ

Thesis completed in:

University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Institute of Mineralogy, Petrology and Mineral deposits

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

In the area of Motajica, an igneous-metamorphic mountain complex, in the north Bosnia and Herzegovina, 17 samples of granite were collected and analyzed. The samples were then categorized into 4 types of granites according to their mineral composition, texture and structure: biotite granite, two-mica granite, leucocratic granite and greisen. The biotite granite consists of quartz, orthoclase and biotite and its texture is granular to porphyroid. The two-mica granite is made of quartz, orthoclase, microcline, muscovite, biotite, chlorite, sericite and limonite and the texture is granular allotriomorphic, sometimes cataclastic and myrmecite. The mineral composition of leucocratic granite is quartz, microcline, muscovite and the accessory minerals are zircon, titanite, monazite. The secondary minerals are sericite and limonite and limonitization is also present. The texture is granular allotriomorphic, sometimes cataclastic. Greisen has granular allotriomorphic texture. It is made of quartz and muscovite along with accessory zircon, titanite and monazite and secondary sericite and limonite. Two-mica and leucocratic granites are mostly fresh, while greisen and biotite granite have suffered alterations such as greisenization, sericitization and limonitization.

Based on the mineral composition, structure and texture of the granites, the sequence of crystallization of different types of granites was determined. Zircon crystallizes at the highest temperatures (as an inclusion in biotite). After biotite feldspars, muscovite, titanite, monazite and quartz crystallized, and chlorite and sericite crystallized at the lowest temperatures as the products of the alterations. Limonitization takes place at the temperatures which are present on the surface. Accessory minerals, zircon, titanite and monazite, are the same in all types of granite suggesting the formation from the same magma type. The first one which crystallizes is the granite with frozen-edges followed by normal granite and then leucocratic granite. As the temperature drops, pneumatolytic (greisenization), hydrothermal (sericitization and kaolinitization) and surface (limonitization) alterations occur in the granite complex. Locations where the granites are subjected to sericitization and greisenization (which is less than 1% of the granite complex) are favorable for the occurrence of skarn and hydrothermal types of mineralization and further researches should be performed there.

Key words: Motajica mountain, granitoid complex, mineralogy, alterations

Thesis contains: 41 pages, 20 pictures and 26 references

Original in: Croatian

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

Supervisor: Assistant Professor Sibila Borojević Šoštarić, PhD

Reviewers: Assistant Professor Sibila Borojević Šoštarić, PhD

Assistant Professor Vesnica Garašić, PhD

Full Professor Bruno Tomljenović, PhD

Date of defence: September 29, 2020, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

ZAHVALE

U prvom se redu zahvaljujem svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Sibili Borojević Šoštarić na trudu, strpljenju i savjetima koje mi je davala tijekom izrade ovoga rada.

Zahvaljujem tehničaru Mariu Valentu na izradi mikroskopskih preparata .

Zahvaljujem se kolegici Ani Anzulović na pomoći tijekom terenskog rada te sa uzorkovanjem.

Zahvaljujem asistentu Tomislavu Brenku na pomoći pri uzorkovanju te sa uređivanjem karata korištenih u ovom radu.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i svim svojim prijateljima kao najvećoj podršci tijekom izrade ovog rada i tijekom cijelog fakultetskog obrazovanja.

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Geografski položaj.....	3
3. Geološke karakteristike	5
4. Pregled dosadašnjih istraživanja.....	9
5. Uzorkovanje na terenu.....	12
6. Metode analitičkih istraživanja.....	13
7. Rezultati analiza	14
8. Diskusija.....	30
9. Zaključak	37
10. Literatura	39

Popis slika

Slika 1: a) Geografski položaj istraživanog terena	
b) Isječak topografske karte Motajice	4
Slika 2: Položaj Sava–Vardar zone	5
Slika 3: Geološka karta masiva granita Motajice	6
Slika 4: Isječak lista Osnovne geološke karte list Nova Kapela.....	12
Slika 5: a) Mikrofotografija uzorka MT48B. Opáki minerali, N	
b) Mikrofotografija uzorka MT48B. Tekstura granita, N	
c) Mikrofotografija uzorka MT48B. Struktura granita, N+	15
Slika 6: Tablica prikupljenih rezultata mineraloške analize biotitnog granita	16
Slika 7: a) Mikrofotografija uzorka MT36. Granofirska struktura, N+	
b) Mikrofotografija uzorka MT4. Granice između zrna kvarca, N+	
c) Mikrofotografija uzorka MT8. Sericitizacija feldspata, N+	
d) Mikrofotografija uzorka MT4. Sericitizacija feldspata, N+.....	19
Slika 8: a) Mikrofotografija uzorka MT8. Povijanje listića muskovita, N+	
b) Mikrofotografija uzorka MT36. Sitasta struktura muskovita, N+	
c) Mikrofotografija uzorka MT36. Kloritizirani listići biotita, N+	
d) Mikrofotografija uzorka MT4. Opáki minerali oko listića biotita, N+.	19
Slika 9: Mikrofotografija limonita u uzorku MT4, a)N, b)N+	20
Slika 10: Mikrofotografija uzorka MT36, a)Zrno monacita, N, b) Zrno monacita, N+.....	20
Slika 11: Tablica prikupljenih rezultata mineraloške analize dvotinčastog granita.....	21
Slika 12: a) Mikrofotografija uzorka MT9. Kontakt granita i kvarcne žile, N+	
b) Mikrofotografija uzorka MT9. Zrna kvarca unutar kvarcne žile, N+	
c) Mikrofotografija uzorka MT9. Struktura granita, N+	
d) Mikrofotografija uzorka MT14. Sericitizacija feldspata, N+.....	24
Slika 13: a) Mikrofotografija uzorka MT14. Plastično deformiran listić muskovita, N+	
b) Mikrofotografija uzorka MT9. Zrno limonita, N+.....	25
Slika 14: Tablica prikupljenih rezultata mineraloške analize leukokratnog granita	26
Slika 15: a) Mikrofotografija uzorka MT17. Limonitizacija, N	
b) Mikrofotografija uzorka MT21. Limonitizacija, N+	
c) Mikrofotografija uzorka MT25D. Struktura granita, N+	
d) Mikrofotografija uzorka MT25D. Limonit, N+	28
Slika 16: Tablica prikupljenih rezultata mineraloške analize grajzena	29
Slika 17: Redosljed pojavljivanja mineralnih sastojaka biotitnog granita	32

Slika 18: Redoslijed pojavljivanja mineralnih sastojaka dvotinjčastog granita	33
Slika 19: Redoslijed pojavljivanja mineralnih sastojaka leukokratnog granita.....	34
Slika 20: Redoslijed pojavljivanja mineralnih sastojaka grajzena	35

1. Uvod

Granit je kisela, intruzivna, magmatska stijena koja se sastoji pretežito od kvarca, feldspata i tinjaca, a zrnate je strukture. Najčešće se pojavljuje kao intruzija u formi batolita.

Predmet ovog istraživanja su granitne stijene i pripadajuće alteracije postmagmatskog stadija. Alteracija najviše temperature je tzv. grajzenizacija (pneumatolitska alteracija) kojom iz granita nastaju grajzeni autometasomatozom, a sastoje se od kvarca i tinjaca sa različitim udjelima F i B-bogatih minerala kao što su fluorit, topaz i turmalin (Pirajno, 1992). Grajzeni nastaju unutar gornjih dijelova granitnog plutona, na dubinama od 0,5 - 5 km, izmjenom primarnih granitnih minerala uslijed cirkulacije vrućih pneumatolitskih i/ili hidrotermalnih otopina magmatskog porijekla. Prijelazi između granita i grajzena su postepeni što ukazuje na to da je grajzen produkt alteracije primarnog granita. Procijenjeni uvjeti pod kojima se odvija ovaj proces jesu: tlak od 1500 bara i temperatura 550-250°C (Mathieu, 2018).

Sericitizacija je "kisela" alteracija (uključuje reakciju primarnog minerala sa H⁺ ionima) kojom nastaju bijeli tinjci, uglavnom muskovit. Općenito, ovaj proces rezultira gubitkom kalcija i natrija iz sustava. U slučaju sericitizacije Na-feldspata (albita), sericitizacija dovodi do obogaćenja kalijskom komponentom, međutim, u slučaju sericitizacije K-feldspata uzrokuje gubitak kalija iz sustava. Ovisno o početnom mineralnom sastavu mogu nastati muskovit ili albit + kvarc kao nusprodukti. Procijenjena temperatura na kojoj se odvija sericitizacija je oko 300–100°C (Mathieu, 2018).

Kaolinitizacija se javlja kao hidrotermalna alteracija (100-25°C) ili kao posljedica supergenog trošenja (<25°C). Supergenu alteraciju karakterizira kaolinit-montmorilonitna mineralna asocijacija, dok hidrotermalnu kaolinitizaciju karakterizira bentonit-vermikulit mineralna asocijacija. Ova razlika rezultat je promjene u barem jednom od uvjeta (temperatura ili sastav otopina) koji vladaju tijekom procesa alteracije. Dalje, vermikulit je Fe-bogat (željezo u obliku Fe³⁺ iona) u stijenama supergenog trošenja, a Mg-bogat u hidrotermalno izmijenjenim stijenama (željezo u obliku Fe²⁺ iona; Meunier i dr., 1983).

Limonitizacija se uglavnom odvija na temperaturama manjim od 25°C. Limonitizacija je alteracija feromagnezijskih (muskovit, bitotit) ili željezovitih (Fe-sulfidi, oksidi i karbonati) minerala u limonit kao produkt površinskih trošenja, odnosno cirkulacijom meteorske vode kroz pukotinski sustav stijene.

Područje istraživanja je planinski masiv Motajice koji se nalazi na sjeveru Bosne i Hercegovine na granici s Hrvatskom. Jezgru masiva čini granitna intruzija unutar metamorfoziranih fliševa. U radu Varićaka (1966), granitoidni pluton podijeljen je u 6 grupa, a to su "normalni" dvotinčasti graniti, graniti "zamrznutih rubova", leukokratni graniti, aplitoidni graniti, grajzenizirani graniti i kaolinizirani graniti.

Neizmijenjeni graniti (normalni, leukokratni i aplitoidni) se sastoje od kvarca, feldspata, tinjaca i nešto ostalih minerala kao što su sericit, minerali glina, klorit. Mineralni sastav alteriranih granita (grajzenizirani i kaolinitizirani) čini kvarc u najvećoj mjeri te tinjci uz ostale sekundarne minerale (sericit, minerali glina) i limonit.

Cilj ovog rada je mineraloška analiza motajičkih granita zajedno sa njihovom klasifikacijom s obzirom na mineralni sastav, te analiza pratećih postmagmatskih alteracija u svrhu lociranja korisne mineralizacije unutar granita Motajice.

Rad je nastao u sklopu istraživanja na projektu iTARG3T (Innovative targeting & processing of W-Sn-Ta-Li ores: towards EU's self-supply) kojim se želi doprinijeti otkrivanju i razvoju novih ležišta W-Sn-Ta-Li te razviti nova rješenja za obradu minerala koji će doprinijeti ekonomičnosti njihova mogućeg rudarenja.

2. Geografski položaj

Motajica je planinski masiv koji se nalazi na granici Bosne i Hercegovine i Slavonije u Hrvatskoj. Sjeverni obodi Motajice omeđeni su rijekom Savom, istočni rijekom Povelić, a zapadni rijekom Velikom Ukrinom (Slika 1).

Pružanje samog masiva je SZ–JI, duljine oko 25 km, a širine oko 15 km. Površina masiva iznosi oko 200 km². Motajica se, usprkos maloj visini, izdvaja svojom visinom budući da je reljef oko rijeke Save i rijeke Vrbas izrazito ravničarski. Najviši vrh Motajice, Gradina, nalazi se na 652 m nadmorske visine. Najveći dio planine nalazi se u općini Srbac koja broji svega 21 840 stanovnika, a manji dio, odnosno motajičko pobrđe, u općinama Derventa i Prnjavor, a sve su one teritorijalne jedinice Republike Srpske. Prema etničkom sastavu, uglavnom je na području Motajice naseljeno srpsko stanovništvo.

Prevladavaju planinska i kontinentalna klima, uglavnom s hladnim zimama i toplim ljetima. Motajica je najvećim dijelom pokrivena šumama, i to posebno kvalitetnih hrastova i bukve. Zbog toga su često motajička brda ostala ogoljena, ali ima i nešto crnogorice.

Hidrografska mreža Motajice je relativno gusta. Svi vodeni tokovi sjeverno od masiva teku direktno u Savu, a oni južno dijelom preko rijeke Povelić, a dijelom neposredno u rijeku Vrbas, odnosno u rijeku Veliku Ukrinu. Glavni drenažni pravci Motajice većinom su orijentirani upravo na smjer izduženja masiva.

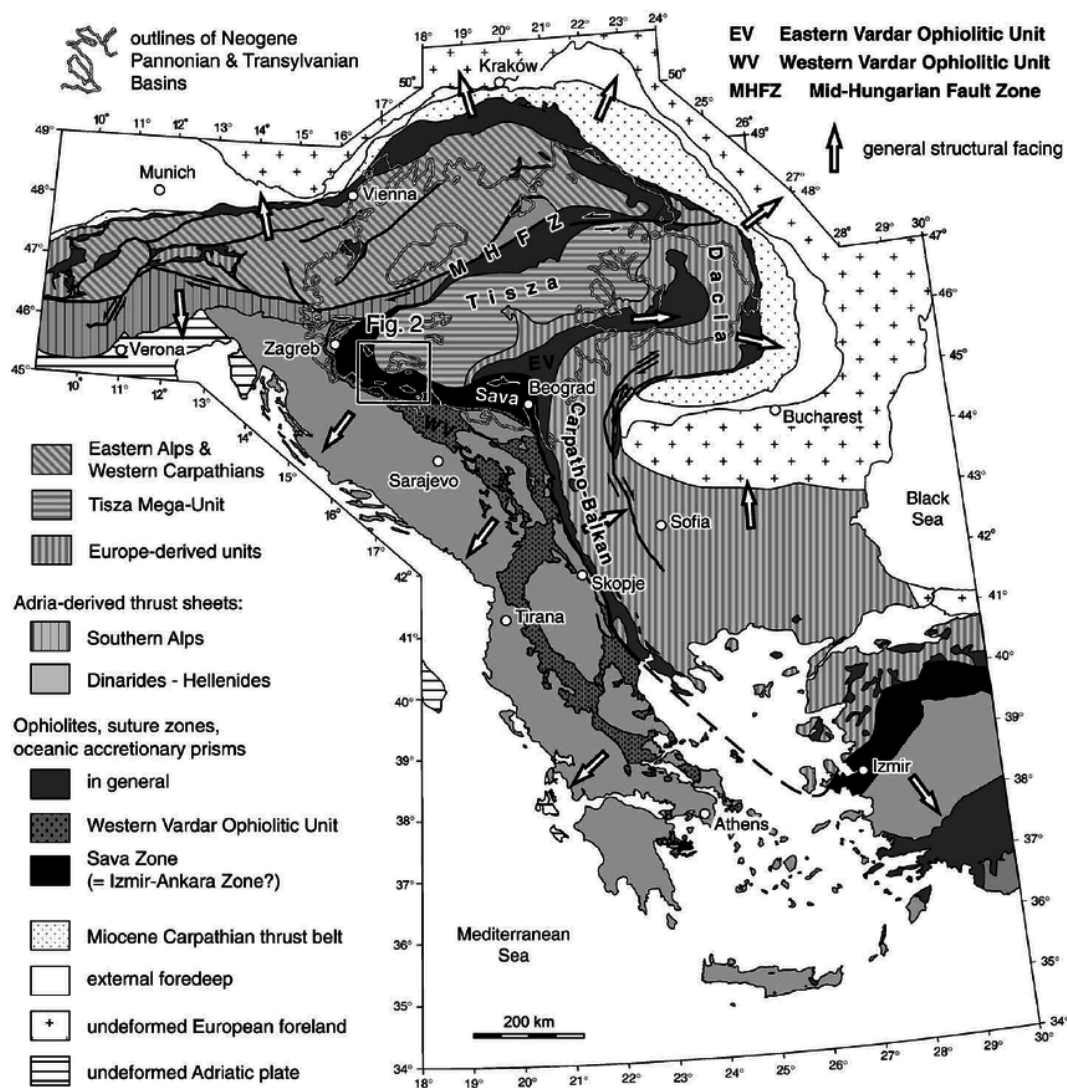


Slika 1: a) Geografski položaj istraživanog terena u odnosu na susjedne države
 b) Isječak topografske karte Motajice izvornog mjerila 1:300 000 (Dinarsko gorje: Motajica.
<https://www.dinarskogorje.com/motajica.html> , 16.3.2020.)

3. Geološke karakteristike

Geološka građa masiva vrlo je složena; granitoidni pluton Motajice sa kontaktno i regionalno metamorfnim formacijama dio je Sava–Vardar zone (Pamić, 2002).

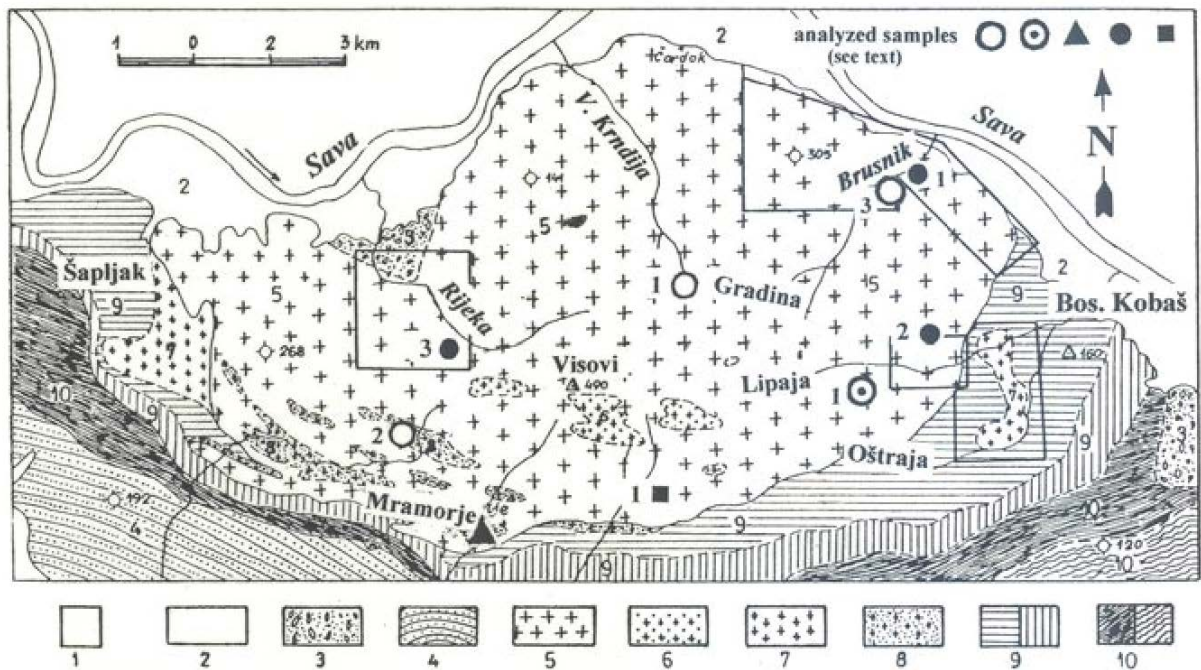
Sava–Vardar zona, duga oko 1000 km, dio je Unutrašnjih Dinarida i Helenida (Slika 2). Istočni orogen Dinarida i Helenida nastao je kolizijom Jadranske ploče krajem krede s pločama koje su bile dio Europske ploče, pri čemu je Jadranska ploča tonula. Sava–Vardar zonu, koju je prvi opisao Pamić (2002), također su opisali Schmid i suradnici (2008), kao suturnu zonu duž sjeverne granice Unutrašnjih Dinarida. Osim oligocenskih granita i vulkanogeno-sedimentnog kompleksa gornje krede i paleogena, čine ju i paleogenske metamorfne stijene metamorfozirane do amfibolitnog facijesa.



Slika 2: Položaj Sava–Vardar zone u odnosu na tektonske jedinice Dinarida i Helenida (Ustaszewski i dr., 2010).

Središnje dijelove masiva grade oligocenski graniti i prateće kontaktno metamorfne stijene kredno–paleogene starosti, a periferne dijelove kredno–paleogeni regionalno metamorfozirani fliševi.

Granitno tijelo Motajice oblikom odgovara štoku. Starost intruzije dobivena je U-Pb metodom datiranja cirkona i monacita iz granita, a iznosi oko 26,7 mil. god. (oligocen, odnosno gornji paleogen), dok je ekshumacija ove intruzije trajala oko 14 milijuna godina (Ustaszewski i dr., 2010). Plutonsko tijelo, površine od oko 50 km², intrudiralo je kroz gornjokredne i paleogene fliševe koji su prilikom toga kontaktno metamorfozirani do srednjeg stupnja metamorfizma. Prema radu Varićaka (1966), postoji 6 granitnih tipova na području plutona, a to su "normalni" graniti, graniti "zamrznutih rubova", leukokratni graniti, aplitoidni graniti, grajzenizirani graniti i kaolinizirani graniti (Slika 3).



Slika 3: Geološka karta masiva granita Motajice (Varićak, 1966; Ramović, 1976) (1- najznačajnije pojave kaoliniziranog granita; 2 – kvartarne naslage; 3 – naslage gornjeg pliocena i kvartara; 4 – gornjokredne naslage; 5 – normalni granit; 6 – grajzenizirani granit; 7 – aplitoidni granit; 8 – leukokratni granit; 9 – metamorfiti kontaktnog pojasa; 10 – paleogeni škriljavci i pješčenjaci)

Od izdvojenih tipova granita, najzastupljeniji je tzv. "normalni" dvotinčasti granit koji obuhvaća oko 75% granitoidnog plutona (Varićak, 1966). Najčešća struktura ovog tipa

granita je hipidiomorfna zrnata, rjeđe mirmekitska, poikilitska ili kataklastična. Ova stijena je masivna, sitnozrnata stijena sive boje u čijem se sastavu jasno razlikuju kvarc, feldspati i obično oba tinjca (muskovit i biotit) kao glavni minerali. Kvarc je alotriomorfan, potamnjuje undulozno i vrlo često je razlomljen kao posljedica djelovanja pritisaka i čini više od 35% stijene. Feldspati (ortoklas i mikroklin) su najčešće sericitizirani i kaolinizirani, a čine oko 30% ovog tipa granita. Tinjci su mehanički deformirani, biotit je djelomično ili u potpunosti kloritiziran i ima ga oko 3% u stijeni, dok muskovita ima nešto više, do oko 7%. Kao akcesorni minerali pojavljuju se granati, hornblenda, cirkon, apatit, titanit, turmalin, pirit, a kao sekundarni sastojci klorit, sericit i limonit (Varićak, 1966).

Granit "zamrznutih rubova" je masivna, jako sitnozrnata, siva stijena čiji sastav čine kvarc, feldspati i biotit. Homogene je teksture, a struktura je često mirmekitska te katkad kataklastična i poikilitska. Zrna kvarca su izrazito alotriomorfna, manje ili više deformirana te potamnjuju undulozno, a čini oko 30–40% stijene. Feldspati (ortoklas i mikroklin) su većinom kaolinizirani i sericitizirani te čine oko 10–20% sastava stijene. Biotit je prisutan u obliku deformiranih listića i često je kloritiziran. Osim navedenih primarnih sastojaka, stijenu čine i cirkon, apatit, pirit, magnetit, titanit kao akcesorni minerali, a klorit, epidot, minerali glina, sericit i limonit kao sekundarni sastojci (Varićak, 1966).

Leukokratni granit je masivna, sitnozrnata stijena bijelo-sive boje, izgrađena pretežito od kvarca, feldspata i muskovita. Tektura je homogena, a struktura hipidiomorfna zrnata koja ponekad prelazi u porfiroidnu. Kvarc je alotriomorfan, razlomljen i potamnjuje undulozno. Čini oko 30–40% stijene. Muskovit obično pokazuje deformacije savijanjem listića. Od akcesornih sastojaka prisutni su biotit, cirkon, turmalin, apatit, magnetit i titanit, a sekundarni sastojci su sericit, minerali glina, klorit i limonit (Varićak, 1966).

Promatran makroskopski, **aplitoidni granit** je većinom homogena, sitnozrnata, bijela stijena u čijem sastavu jasno razlikujemo kvarc, feldspate (ortoklas i mikroklin) i oba tinjca (muskovit i biotit). Homogene je teksture, dok je struktura hipidiomorfna zrnata, a ponekad i kataklastična. Kvarc je alotriomorfno habitusa, a zrna su ponekad mehanički deformirana. Potamnjuje undulozno i čini oko 40–50% mineralnog sastava stijene. K-feldspati pokazuju albitska izdvajanja i skoro uvijek su alterirani. Čine oko 20% ove stijene. Muskovit je također deformiran (povijanje listića), a rijetko ga ima više od 5% u stijeni. Kao sporedni sastojci tu su biotit, cirkon, apatit, magnetit, ilmenit, titanit, akcesorni su turmalin i pirit, a sericit, minerali glina, klorit i limonit čine sekundarne sastojke ove stijene (Varićak, 1966).

Grazenizirani granit je porozna, sitnozrnata bijela stijena sa čestim žutim, smeđim i crvenim izmijenjenim dijelovima. Čine je dominantno kvarc, muskovit i sericit kao glavni sastojci. Kvarc je krupnokristalast i često razlomljen te uvijek potamnjuje undulozno. U stijeni ga ima čak i oko 60–80%. Muskovit je izrazito mehanički deformiran te čini, zajedno sa sericitom koji se pojavljuje najčešće u obliku radialno-zrakastih agregata, oko 10–30% stijene. Od ostalih minerala prisutni su mikroklin i biotit isključivo kao relikti te cirkon, apatit, titanit, limonit kao sekundarni sastojci (Varićak, 1966).

Kaolinizirani granit je granit koji sadrži iznad 5% kaolinita. Nastanak ovog tipa granita povezan je s površinskim trošenjima normalnog, leukokratnog i aplitoidnog granita pa je tako ovaj tip granita ujedno i najmlađi granitni tip masiva.

Kontaktno-metamorfne stijene (kontaktoliti) zahvaćaju južni i zapadni rub granitnog plutona (Slika 3), a nastale su kontaktnim metamorfizmom okolnih gornjokrednih fliševa kao posljedica granitne intruzije krajem paleogena (Ustaszewski i dr., 2010).

Regionalno-metamorfne stijene izgrađuju periferne dijelove masiva. To su stijene iz facijesa zelenih škriljavaca, paragnajsevi i amfiboliti (Ustaszewski i dr., 2010).

4. Pregled dosadašnjih istraživanja

PAUL (1872), kao prvi geolog koji je stupio na tlo Motajice, daje najstarije podatke o geologiji masiva. Tvrdi da su sjeverne padine masiva na užem prostoru Bosanskog Kobaša izgrađene isključivo od gnajsa.

MOJSISOWICZ i dr. (1880) u svom radu navode da Motajica pripada posebnoj tektonskoj jedinici bosansko-hercegovačkih planina. Govore i o postojanju izvjesnih analogija u geotektonskom položaju i stratigrafskim obilježjima Motajice i Sljemena. Daju i prve podatke o eksploataciji motajičkog granita.

PILAR (1882) utvrđuje postojanje lamelarnih plagioklasa, relativno obilno zastupljenog apatita i rijetkog magnetita u granitu.

KOCH (1889) je autor prvog mineraloškog rada o Motajici. Prvi put spominje prisutnost amfibolitnih škriljavaca na Motajici i detaljno prikazuje motajički beril i pegmatite kao njihove stijene domaćine.

KATZER (1903) je povezao paleozojske filitoidne škriljavce Motajice s onima u području Drine te ukazao na poteškoće njihove korelacije s odgovarajućim predstavnicima škriljavih masa Slavonije.

KOCH (1908) u svom posljednjem radu o Motajici predstavlja najznačajniju dotadašnju petrografsku publikaciju o ovom terenu. Govori o nekoliko varijeteta granita kao i o metamorfita. Kod granita otkriva i opisuje njegove dotad nepoznate mineralne sastojke kao što su mikroklin, cirkon, turmalin, hematit, epidot, granat i rutil. Od metamorfita definira gnajseve, tinjčaste, amfibolitske i aktinolitske škriljavce te filite.

KATZER i suradnici (1910; 1912) i KATZER (1921; 1926) su u 4 rada publicirali rezultate geološkog kartiranja Motajice. Katzer (1910; 1912) je dao osnovu za rješavanje problema starosti i porijekla metamorfita tvrdeći da njihove primarne materijale predstavljaju razni sedimenti i eruptivi predkarbonske do najviše karbonske starosti. Utvrđuje i konkordanciju metamorfita s granitoidnim plutonom. Uočeni su po prvi put granit porfiri i apliti te je opisan i granit s visokim stupnjem kaolinizacije.

ILIĆ (1953) i STANGAĆILOVIĆ (1956) u svojim radovima utvrđuju sastav kaoliniziranog granita (kvarc, ortoklas, plagioklas, kaolinit i ilit te podređeno sericit, biotit i magnetit).

BARIĆ (1960) kao temu rada koristi motajički beril iz pegmatita te opisuje jednu potpuno novu formu berila.

MILJUŠ (1961) daje važne podatke o razvoju gornjokrednih i neogenskih sedimenata Motajice. Prikazao je i uzdužne rasjede na južnim rubovima Motajice duž kojih je u toku miocena i pliocena dolazilo do tonjenja obodnih dijelova masiva.

NIKOLIĆ (1962) u svom radu navodi da je berilska mineralizacija na Motajici pretežito pegmatitsko-metasomatskog tipa.

DELEON (1963) određuje apsolutnu starost granita Motajice. Dobiveni rezultat je starost oko 9 milijuna godina, ali uzima taj podatak s rezervom.

PAMIĆ i JELASKA (1975) opisuju metamorfizam krednih vulkano-sedimentnih sljedova na južnim padinama Motajice. Pamić (1975) tvrdi da su metamorfiti Motajice nastali metamorfizmom sedimenata gornje krede. Postoje i mišljenja kako su različite metamorfne stijene Prosare nastale iz sedimenata gornje krede i paleogena.

KARAMATA (1976) uspoređuje eroziju Motajice s erozijom Prosare i prema tome ukazuje na dublju eroziju plutona na Motajici u odnosu na plitku eroziju Prosare.

PAMIĆ i PROHIĆ (1989) dokazuju postupne promjene gornjokrednih sedimenata Motajice pri vrlo niskim P-T uvjetima. Utvrđuju prisutnost kloritoida, staurolita i turmalina u motajičkim škriljavcima. Određuju zonu migmatita između metamorfita i granita. Motajički granit smatraju monzogranitom i granodioritom.

PAMIĆ i LANPHERE (1991 i 1992) objavili su starosti motajičkih i prosarskih granitoida dobivenih Rb-Sr metodom datiranja iz tri granitna uzorka. Dobivena je starost intruzije od $48,7 \pm 1,5$ milijuna godina, dok mlađi biotit, starosti od 18,1 milijuna godina, može predstavljati razdoblje hlađenja intruzije.

PAMIĆ i BALEN (2001) magmatske stijene Motajice i Prosare smatraju eocenskim sinkolizijskim granitoidima.

JURKOVIĆ (2004) daje podatke o paragenezama elemenata migmatita, pegmatita, grajzena i kvarcnih žila što ukazuje na porijeklo magme koja je najvjerojatnije formirana "slabim break-off modelom". Erozijska motajičkom granitnog plutona je duboka pa su se otvorila brojna ležišta pegmatita. Silicifikacija i muskovitizacija su glavne značajke granita

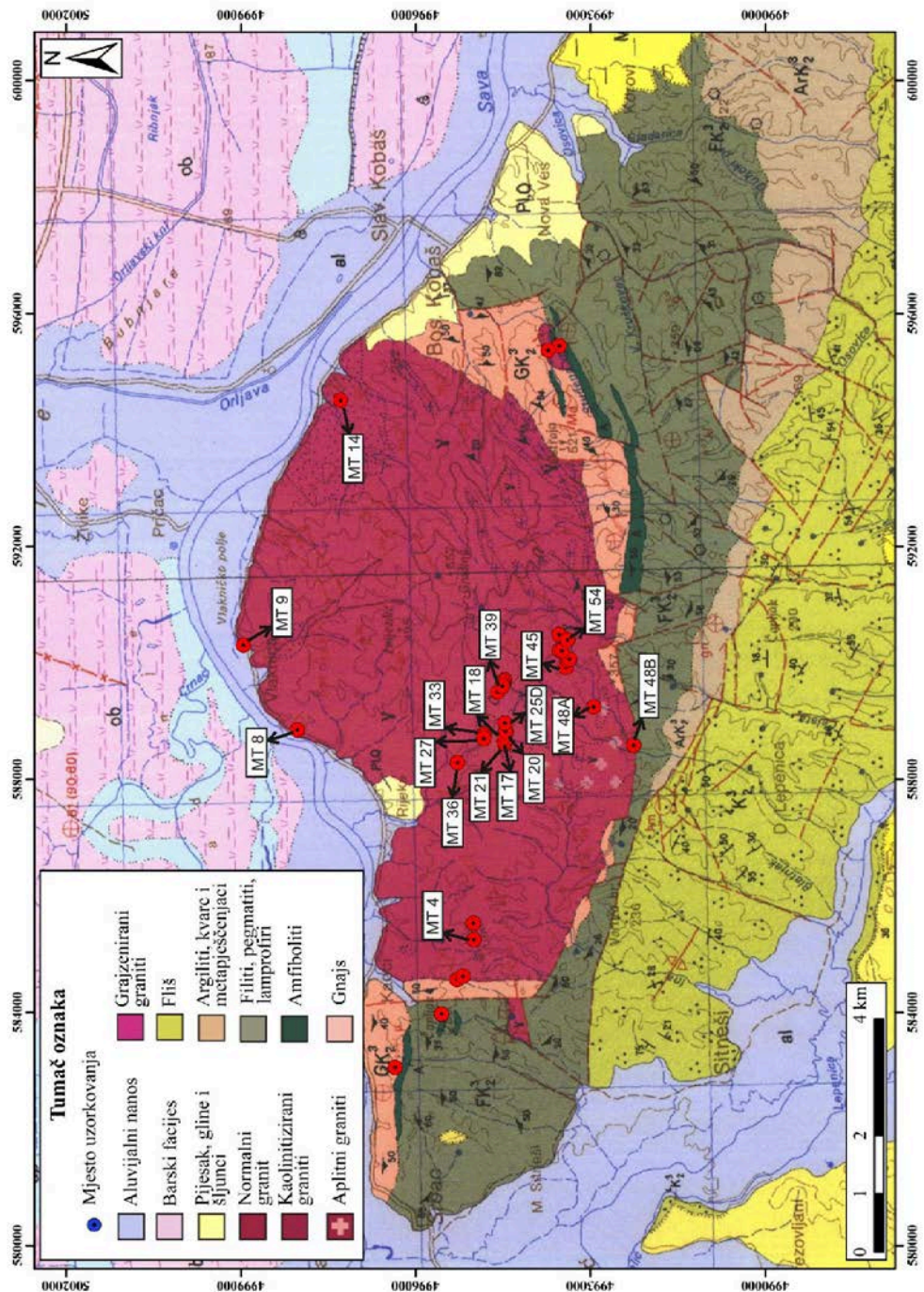
zahvaćenih grajezenizacijom (njih manje od 1%) uz koje se povezuju mineralizacije molibdenita, volframita, hibernita, šelita, fluorita.

KRENN i suradnici (2008) su Th-U-Pb metodom datiranja monacita iz metapelita amfibolitnog facijesa odredili starost od 63 ± 9 mil. god., što ukazuje na gornjokrednu do donjopaleogensku starost metamorfizma fliševa.

USTASZEWSKI i dr. (2010) interpretiraju Savsku zonu sjevernih Dinarida granicom Jadranske i Europske ploče. Sava zona je nastala uslijed zatvaranja Melliaata-Vardar oceana između Jadranske ploče i tektonskog mega-bloka Tisza koji je dio Euroazijske ploče, pri čemu se Jadranska ploča podvlačila pod Tiszu. Ovaj događaj slijedi sinkolizijska tektonska deformacija pri temperaturama od oko 550°C do 630°C i tlakovima od 5 do 7 kilobara, što odgovara naližećim naslagama od 15 do 21 km, nakon čega slijedi hlađenje tijekom paleogena. "Fission track" metodom datiranja dobivena je starost motajičkog granita koja je zatim modelirana na 27 milijuna godina. Mlađi apatiti i cirkoni (između 21 i 14 milijuna godina) ukazuju na ekshumaciju i daljnje hlađenje sve do facijesa zelenih škriljavaca.

5. Uzorkovanje na terenu

U sklopu ovog istraživanja granitoidnog plutona Motajice, prikupljeni su uzorci MT4, MT8, MT9, MT14, MT17, MT18, MT20, MT21, MT25D, MT27, MT33, MT36, MT39, MT45, MT48A, MT48B i MT54 na području cijelog plutona (Slika 4).



Slika 4: Isječak lista Osnovne geološke karte OGK 1:100.000 list Nova Kapela, (Šparica i dr., 1972) na kojoj se nalazi planina Motajica s označenim lokacijama uzorkovanja granita

6. Metode analitičkih istraživanja

Za potrebe izrade ovog rada, korištena je metoda polarizacijske mikroskopije.

Metoda polarizacijske mikroskopije je temeljna metoda određivanja mineralnog sastava stijene i njihovog međusobnog odnosa u stijeni kako bi se obavila klasifikacija stijene i kako bi dobili uvid u uvjete postanka stijene i procese alteracija.

Za determinaciju stijene pomoću polarizacijskog mikroskopa, s terena je uzeto 17 uzoraka. Svi uzorci su izrezani u tanke pločice dijamantnom pilom, nakon čega je njihova veličina prilagođena dimenzijama pokrovnog stakalca. Korišten je kanadski balzam (indeksa loma $n = 1,537$) kako bi se izbrusci zalijepili na objektna stakalca. Krajnja debljina izbrusaka je jako mala, 0,03 mm, kako bi kroz presjeke minerala mogla prolaziti svjetlost i kako bi kod različitih izbrusaka interferencijske boje istih minerala bile jednake.

Izbrusci su promatrani polarizacijskim mikroskopom Leica DM EP s povećanjima 4x, 10x i 40x. Mikrofotografije ovog rada su napravljene digitalnim fotoaparatom Canon EOS 1300D u Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

7. Rezultati analiza

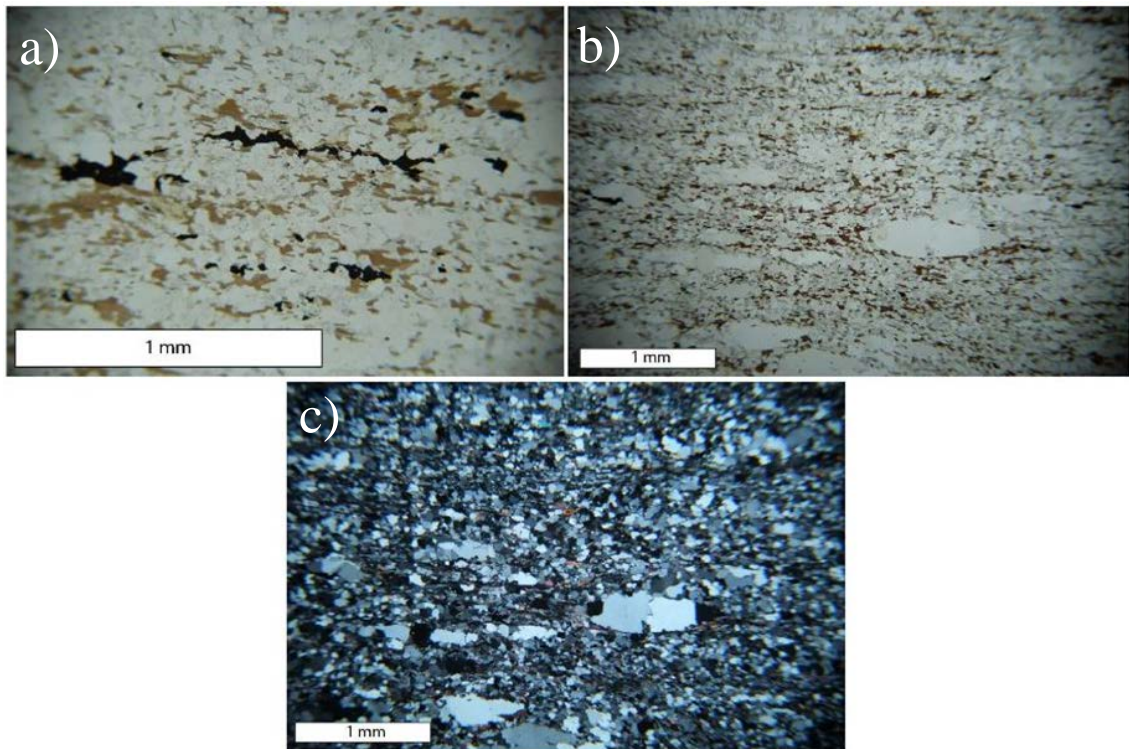
7.1. Biotitni granit: uzorak MT48B

Glavni mineralni sastojci ovog uzorka su kvarc, feldspati (ortoklas) i biotit (Slika 6). Pojavljuje se i akcesorni opàki mineral (Slika 5a). Tekstura stijene je homogena do blago uškrljena (Slika 5b), a struktura je porfiroidna (Slika 5c).

Kvarc je uobičajenog alotriomorfne habitusa prosječnih dimenzija zrna 1,19x0,35 mm. Zrna su mehanički deformirana i pokazuju undulozno potamnjenje. Kvarc, kao takav čini većinu ovog uzorka, oko 40% mineralnog sastava.

Ortoklas se pojavljuje u obliku zrna alotriomorfne habitusa. Prosječne dimenzije ovog minerala su 0,27x0,13 mm. Zrna su blago alterirana, odnosno vidljiva je blaga alteracija prelaska minerala u minerale glina. Ortoklas čini oko 10% mineralnog sastava ove stijene.

Biotit je prisutan u obliku alotriomorfne listića prosječnih dimenzija 0,29x0,018 mm. Pleokroizam je izražen, osnovna boja se mijenja iz žućkaste, skoro bezbojne, u smeđu. Listići biotita imaju određenu orijentaciju pa čine ovu stijenu blago uškrljenom. U mineralnom sastavu ove stijene, biotit čini oko 10–15%.



Slika 5: a) Mikrofotografija uzorka MT48B na kojoj se vidi nakupljanje opákih minerala, N; b) Mikrofotografija uzorka MT48B na kojoj je vidljivo usmjerenje listića biotita i blago uškrljena tekstura, N; c) Mikrofotografija uzorka MT48B na kojoj je vidljiva porfiroidna struktura stijene, N+

S obzirom na mineralni sastav stijene i pojedini udio tih mineralnih sastojaka, uz zapažanja teksture i strukture, ova stijena je determinirana kao **biotitni granit**, a odgovara opisu stijene pod imenom granit "zamrznutih rubova" koju je opisao Varićak (1966).

Uzorak/mineral	Tekstura (makroskopski)	Struktura (mikroskopski)	GLAVNI PRIMARNI MINERALI		
			Kvarc	Ortoklas	Biotit
MT488	homogena do blago uškriljena	zrnata, porfiroidna	-veličina zrna: 0,04x0,05 - 2,35x0,65mm -habitus: alotriomorfan (zrna zaobljena do izdužena) -čini oko 40% preparata -undulozno potamnjenje	-veličina zrna: 0,1x0,08 - 0,44x0,18mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 10% preparata -alteracije: blagi prelazak u minerale glina	-veličina zrna: 0,045x0,015 - 0,54x0,02mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 15% preparata -izražen pleokrozam (iz žučkaste skoro bezbojne u smeđu) -listići biotita imaju određenu orijentaciju

Slika 6: Tablica prikupljenih rezultata mineraloške analize biotitnog granita

7.2. Dvotinčasti granit: uzorci MT4, MT8, MT18, MT36, MT39, MT45, MT48A i MT54

U mineralnom sastavu ovih uzoraka glavni minerali su kvarc, feldspati (ortoklas i mikroklin), biotit i muskovit, akcesorni su cirkon, titanit i monacit te opaki mineral, najvjerojatnije magnetit. Sekundarni sastojci su klorit, minerali glina, sericit i limonit (Slika 11).

Kvarc se pojavljuje u obliku bezbojnih alotriomorfni kristala. Dimenzije kristala variraju, prosječne dimenzije su 0,89x0,59 mm. Zrna su vrlo često razlomljena kao posljedica djelovanja pritiska, a potamnjenje je undulozno. Također su vidljive jasne nepravilne pukotine. Vrlo je česta granofirska struktura, odnosno crvoliko proraštanje kvarca i feldspata (Slika 7a). U nekim kristalima kvarca uklopljeni je titanit i cirkon. Neka zrna kvarca su i rekristalizirana, što se prepoznaje po granicama između zrna koje čine 120° (Slika 7b). Kvarc u građi ove stijene čini oko 30% mineralnog sastava.

Ortoklas je prisutan u obliku alotriomorfni kristala čija su zrna također razlomljena kao posljedica djelovanja pritiska. Dimenzije su vrlo širokog raspona pa se tako nalaze zrna dimenzija 0,18x0,12 mm, ali i ona dimenzija većih od 3 mm. Što se alteracija tiče, mineral je poprilično izmijenjen. Prisutna je sericitizacija u središtima zrna (Slika 7c), kao posljedica utjecaja hidrotermalnih otopina u sustavu, i prelazak minerala ortoklasa u minerale glina. Izražene su nepravilne pukotine, a presjeci su blago zamućeni. Ortoklas čini oko 20% mineralnog sastava normalnog granita.

Mikroklin je rešetkaste građe i alotriomorfni, pločastog habitusa. Prosječne dimenzije su 0,64x0,52 mm. Mjestimice je u maloj mjeri izmijenjen sericitizacijom (Slika 7d) i kaolinizacijom. Kalavost je slabo vidljiva. Mikroklin čini oko 20% mineralnog sastava ove stijene.

Muskovit se javlja u obliku deformiranih listića (Slika 8a) prosječnih dimenzija 0,33x0,18 mm. Pseudoapsorpcija je izražena. Jedan od uzoraka sadrži resorbirane listiće muskovita (Slika 8b) i pokazuje sitastu strukturu, što ukazuje na naknadno povišenje temperature u sustavu. Kao takav, muskovit čini oko 5% mineralnog sastava ove stijene.

Biotit je alotriomorfni habitusa prosječnih dimenzija zrna 0,38x0,2 mm. Pleokroizam je vrlo izražen, osnovna boja mijenja se iz svijetlo zelene, skoro bezbojne, u tamniju smeđe-

zelenu boju. Obično su listići biotita također blago povijeni, kao i listići muskovita. Interferencijska boja najčešće je prekrivena vlastitom. Mineral je većinom svjež, ali javlja se i kloritizacija (Slika 8c) na pojedinim zrnima. Oko nekih zrna postoji crni opacitni rub koji nastaje kao posljedica devolatizacije, a oko nekih zrna biotita se okupljaju opaki minerali (Slika 8d). U mineralnom sastavu ove stijene, biotit čini manje od 5%.

Cirkon se javlja kao akcesorni mineral u ovoj stijeni i to kao uklopak u zrnima kvarca i biotita. Prosječne dimenzije ovih hipidiomorfni zrna cirkona su 0,045x0,03 mm.

Titanit je, kao i cirkon, prisutan u zrnima kvarca kao uklopak hipidiomorfnog do idiomorfnog habitusa prosječnih dimenzija 0,042x0,03 mm.

Monacit se javlja u obliku hipidiomorfni do idiomorfni zrna prosječnih dimenzija 0,23x0,25 mm (Slika 10) kao uklopak u kvarcu.

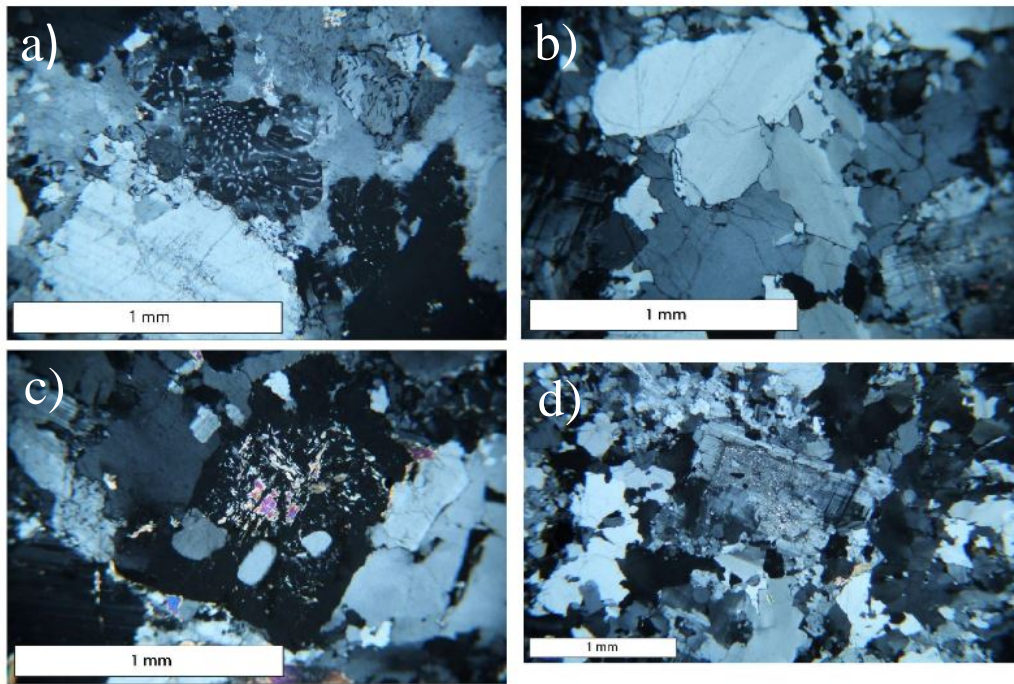
Limonit se pojavljuje kao sekundarni sastojak u ovoj stijeni, i to kao alteracija opakih minerala (Slika 9b). Ima ga i u intersticijskim prostorima, što znači da je naknadno donešen u sustav (Slika 9a). U uzorcima ne čini više od 5% mineralnog sastava.

Sericit je prisutan kao alteracija feldspata (Slika 7c) i čini oko 5–10% mineralnog sastava ove stijene.

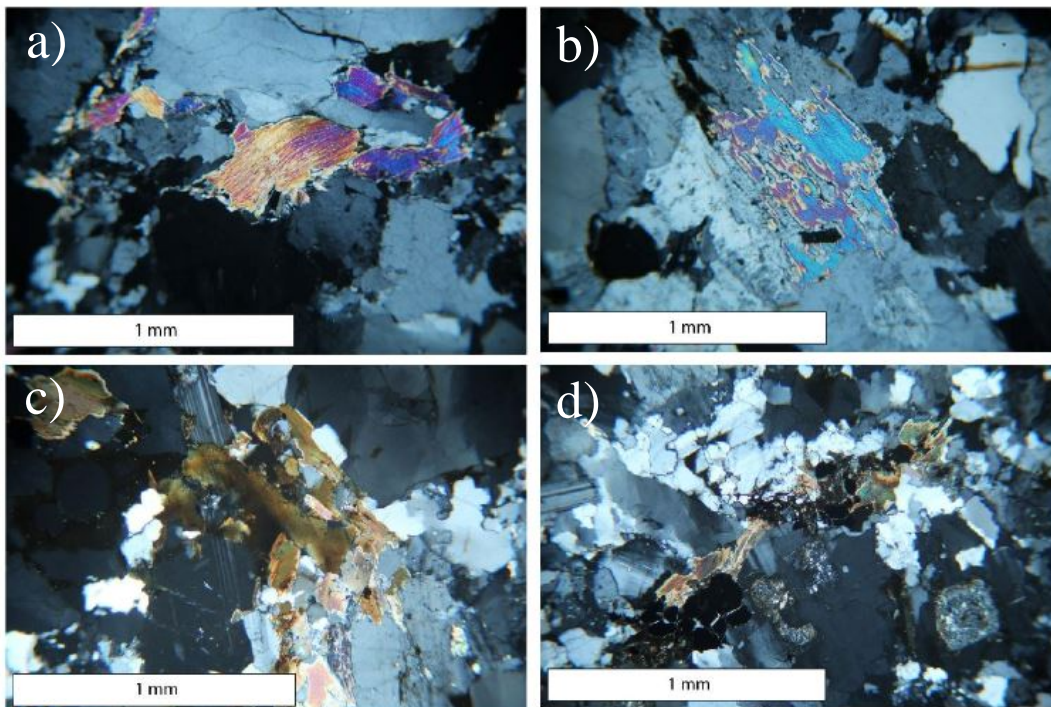
Klorit, također kao sekundarni mineral u ovoj stijeni, javlja se kao alteracija biotita (Slika 8c). U prosjeku čini oko 3% ove stijene.

Sekundarni sastojci (limonit, sericit i klorit) ukazuju na podložnost stijene procesima izmjene kao što su limonitizacija, sericitizacija i kloritizacija.

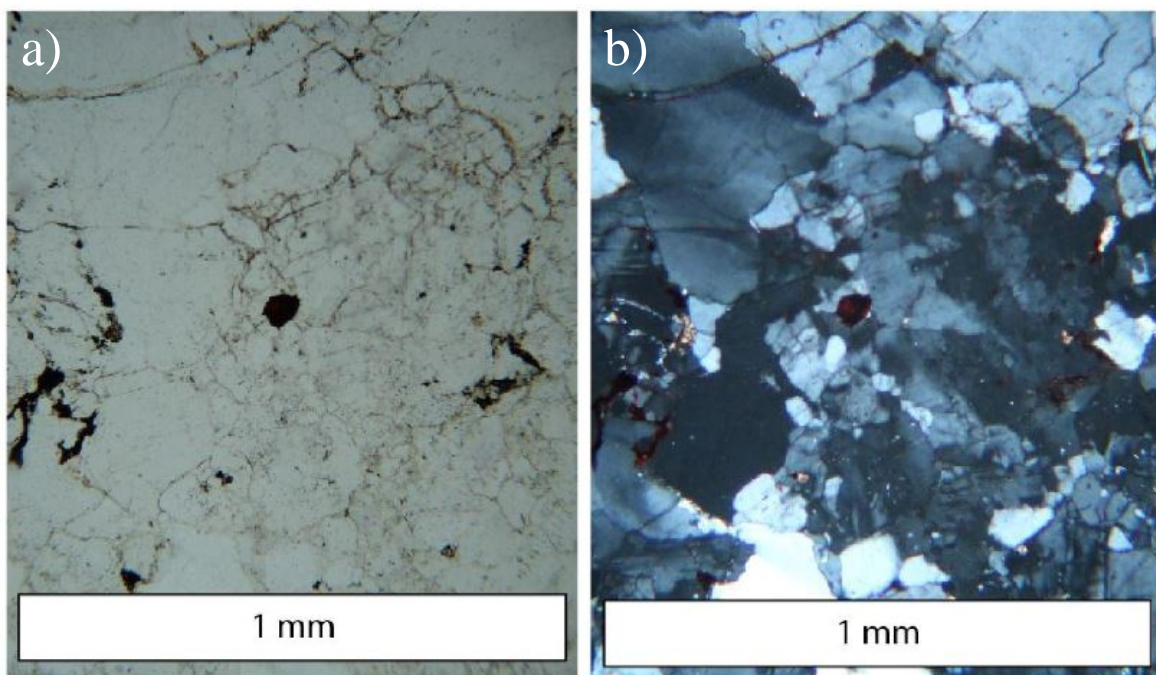
Uzorci ove stijene imaju hipidiomorfnu zrnatu strukturu koja, zbog postkristalizacijskih procesa duž rubova granica zrna, razvija elemente kataklastične strukture. Stijenu klasificiramo kao **dvotinjčasti granit**, a odgovara opisu stijene pod imenom "normalni" dvotinjčasti granit koju je opisao Varićak (1966).



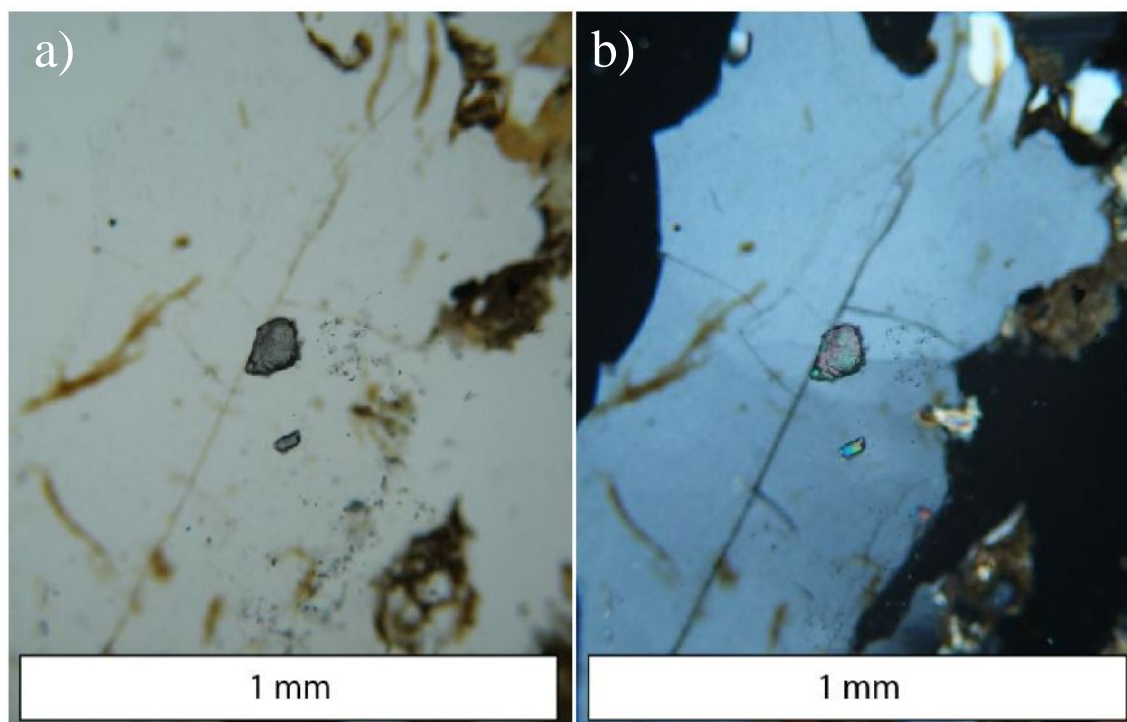
Slika 7: a) Mikrofotografija uzorka MT36 na kojoj se vidi granofirska struktura (crvoliko proraštanje kvarca i feldspata; b) Mikrofotografija uzorka MT4 na kojoj se vide granice između zrna kvarca (120°); c) Mikrofotografija uzorka MT8 na kojoj je vidljiva sericitizacija u središtu zrna ortoklasa; d) Mikrofotografija uzorka MT4 na kojoj je vidljiva sericitizacija u središtu zrna mikroklina. Sve mikrofotografije snimljene s uključenim analizatorom N+.



Slika 8: a) Mikrofotografija uzorka MT8 na kojoj je vidljivo povijanje listića muskovita; b) Mikrofotografija uzorka MT36 na kojoj je vidljiv resorbirani listić muskovita – sitasta struktura; c) Mikrofotografija uzorka MT36 na kojoj su prikazani kloritizirani listići biotita; d) Mikrofotografija uzorka MT4 na kojoj se vidi grupacija opákih minerala oko listića biotita. Sve mikrofotografije snimljene s uključenim analizatorom N+.



Slika 9: Mikrofotografija limonita u uzorku MT4, a) isključen analizator, vidljiva limonitizacija između zrna; b) uključen analizator, vidljiva tamnosmeđa zrna limonita



Slika 10: Mikrofotografija uzorka MT36, a) Zrno monacita sa isključenim analizatorom; b) Zrno monacita pod uključenim analizatorom u položaju maksimalne rasvjete

Uzorak/mineral	GLAVNI MINERALI										SEKUNDARNI MINERALI		
	bazir	ortoklas	mikroklin	maskovit	biotit	crton	titanit	monacit	kbit	sericit	limonit		
MT4 (kalkaziran)	-veličina zrna: 0.3x0.15 - 1.5x1mm -habitus: alotriomorfni -okolo 30% -zdrobljena zrna -nepravilne pukotine -udulizmo potamnjene -nepravilne pukotine	-veličina zrna: 0.18x0.12 - 1.4x1.15mm -habitus: alotriomorfni -okolo 30% -zdrobljena zrna -nepravilne pukotine -udulizmo potamnjene -nepravilne pukotine	-veličina zrna: 0.145x0.085 - 0.9x0.44mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 15% preparata -vidljive nepravilne pukotine -polsintetske sraslačke lamelle	-veličina zrna: 0.09x0.065 - 0.12x0.18mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 5% preparata -jasno vidljiva pseudosporpcija -visoke int. boje	-veličina zrna: 0.22x0.13 - 0.38x0.7mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 5% preparata -izražen pleokrozam (iz svijetlo zelene/brozopne u tamnju smeđelenu) -alteracije: koritizacija	-veličina zrna: 0.035x0.015 - 0.075x0.04mm -habitus: alotriomorfni do hipidiomorfni -visok dvolom -visok dvolom	-veličina zrna: 0.01x0.02 - 0.03x0.025mm -habitus: hipidiomorfni -dvolum: vrlo visok		kao alteracija biotita, oko 2,5%	kao alteracija feldspata; oko 15%	kao alteracija opakih minerala i intersticijski naknadno doneseno; oko 5%		
MT8	-veličina zrna: 0.125x0.09 - 1.2x0.9mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 20% preparata -udulizmo potamnjene -nepravilne pukotine	-veličina zrna: 0.35x1 - 0.4x0.25mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 10% preparata -polsintetske sraslačke lamelle	-veličina zrna: 0.07x0.06 - 1.05x0.5mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 10% preparata -povijanje listića (palešna deformacija) -izražena pseudosporpcija	-veličina zrna: 0.07x0.04 - 0.46x0.26mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 2% preparata -jak pleokrozam (uklatast, gsto brobojna u tamno smeđelenu) -koritizacija	-veličina zrna: 0.04x0.015 - 0.055x0.06mm -habitus: hipidiomorfni -visok dvolom, int. boje 3. reda	-veličina zrna: 0.15x0.02 - 0.035x0.05mm -habitus: alotriomorfni -visok dvolom; int. boja prekrivena vlastitom		alteracija feldspata; oko 6%	alteracija feldspata; oko 6%	oko 5%			
MT18	-veličina zrna: 0.085x0.1 - 1.4x0.75mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 20% preparata -udulizmo potamnjene -nepravilne pukotine	-veličina zrna: 0.155x0.085 - 1.8x0.7mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 20% preparata -izražene nepravilne pukotine -alteracije: slaba sericitizacija	-veličina zrna: 0.05x0.07 - 0.66x0.28mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 10% preparata -izražena pseudosporpcija	-veličina zrna: 0.2x0.15 - 0.6x0.45mm -habitus: alotriomorfni -pleokrozam (iz svijetlo zelene u tamnju malinasto zelenu) -koritizacija	-veličina zrna: 0.04x0.015 - 0.055x0.06mm -habitus: hipidiomorfni -visok dvolom, int. boje 3. reda	-veličina zrna: 0.12x0.035 - 0.64x0.22mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 5% preparata -jako izražen pleokrozam (iz svijetlo zelenkaste do tamnje malinasto zelene) -blago povijanje listića -alteracije: koritizacija		alteracija feldspata; oko 2%	alteracija feldspata; oko 2%	oko 1%			
MT36	-veličina zrna: 0.145x0.16mm-3mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 20% preparata -udulizmo potamnjene -nepravilne pukotine -nirnektina struktura	-veličina zrna: 0.5x0.38 - 1.1x1.3mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 5% preparata -vidljive nepravilne pukotine -slabo vidljiva kalavost -polsintetske sraslačke lamelle	-veličina zrna: 0.06x0.12 - 0.46x0.3 mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 10% preparata -izražena pseudosporpcija -stasna struktura -blago povijanje listića	-veličina zrna: 0.12x0.035 - 0.64x0.22mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 15% preparata -pleokrozam (iz svijetlo zelene, skoro brobojne, u tamnju malinasto zelenu) -jasno vidljiva kalavost -alteracije: koritizacija	-veličina zrna: 0.04x0.02 - 0.055x0.025mm -habitus: hipidiomorfni do idiomorfni -dvolum: visok; int. boje 3. reda	-veličina zrna: 0.3x0.15 - 0.4x0.25mm -habitus: hipidiomorfni -izrazito visok reljef -osnovna boja: bijelito zelena -visok dvolom		alteracija biotita; oko 3%	alteracija feldspata; oko 6%	intersticijski; oko 1%			
MT39 (kalkaziran)	-veličina zrna: 0.32x0.22 - 1.75x0.85 mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 10% preparata -zdrobljena zrna -izražene nepravilne pukotine -udulizmo potamnjene	-veličina zrna: 0.19x0.105 - > 3mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 15% preparata	-veličina zrna: 0.065x0.035 - 0.6x0.22mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 5% preparata -slaba pseudosporpcija	-veličina zrna: 0.12x0.035 - 0.64x0.22mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 15% preparata -pleokrozam (iz svijetlo zelene, skoro brobojne, u tamnju malinasto zelenu) -jasno vidljiva kalavost -alteracije: koritizacija	-veličina zrna: 0.04x0.02 - 0.055x0.025mm -habitus: hipidiomorfni do idiomorfni -dvolum: visok; int. boje 3. reda	-veličina zrna: 0.15x0.1 - 0.2x0.22 -habitus: idiomorfni -izrazito visok reljef -int. boje narandžaste 3. reda		alteracija biotita; oko 6%	alteracija feldspata; oko 3%	intersticijski kao zrna limonita, oko 5%			
MT45 (izrazito kalkaziran)	-veličina zrna: 0.13x0.075 - 1.3x0.35mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 20% preparata -zdrobljena zrna	-veličina zrna: 0.065x0.145 - 1.8x0.9mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 10% preparata	-veličina zrna: 0.16x0.04 - 0.66x0.26mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 10% preparata -izražena pseudosporpcija	-veličina zrna: 0.06x0.14 - 1.45x0.3mm -habitus: alotriomorfni -pleokrozam (iz svijetlo zelene, skoro brobojne, u tamnju malinasto zelenu) -alteracije: koritizacija	-veličina zrna: 0.04x0.02 - 0.055x0.025mm -habitus: hipidiomorfni do idiomorfni -dvolum: visok; int. boje 3. reda			alteracija biotita; manje od 1%	alteracija feldspata; oko 3%	po rubovima zrna; manje od 1%			
MT48A (dijelomično kalkaziran uzorak)	-veličina zrna: 0.11x0.16 - 0.8x0.56mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 10% preparata -udulizmo potamnjene -nepravilne pukotine	-veličina zrna: 0.135x0.18 - > 3mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 30% preparata -nepravilne pukotine -nirnektina struktura -alteracije: lagano prelazi u minerale glina, a prisutna je i sericitizacija	-veličina zrna: 0.085x0.045 - 0.38x0.12mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 2% preparata -pseudosporpcija	-veličina zrna: 0.085x0.045 - 0.68x0.46mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 5% preparata -pseudosporpcija	-veličina zrna: 0.06x0.14 - 1.45x0.3mm -habitus: alotriomorfni -pleokrozam (iz svijetlo zelene, skoro brobojne, u tamnju malinasto zelenu) -alteracije: koritizacija	-veličina zrna: 0.03x0.1 - 0.01x0.005mm -habitus: hipidiomorfni -int. boja prekrivena vlastitom		alteracija biotita; manje od 1%	alteracija feldspata; oko 2%	manje od 1%			
MT49 (limonitizirani)	-veličina zrna: 0.13x0.065 - 1.8x0.6mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 40% preparata -zdrobljena zrna -udulizmo potamnjene	-veličina zrna: 0.15x0.13 - 0.92x0.64mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 10% preparata -vidljiva kalavost -popričito trošeni i katalazirani	-veličina zrna: 0.085x0.045 - 0.68x0.46mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 10% preparata -izražena pseudosporpcija	-veličina zrna: 0.115x0.045 - 0.6x0.22mm -habitus: alotriomorfni -čini oko 10% preparata -pleokrozam (iz svijetlo zelenosmeđe u tamnju zelenosmeđu) -int. boja prekrivena vlastitom	-veličina zrna: 0.02x0.015 - 0.03x0.02mm -habitus: alotriomorfni -visok dvolom, int. boje 3. reda	-veličina zrna: 0.02x0.015 - 0.03x0.02mm -habitus: alotriomorfni -visok dvolom, int. boje 3. reda		alteracija biotita; manje od 1%	alteracija feldspata; oko 2%	oko 15%			

Slika 11: Tablica prikupljenih rezultata mineraloške analize dvotinčastog granita

7.3. **Leukokratni granit:** uzorci MT9, MT14, MT27 i MT33

Mineralni sastav ovih uzoraka čine kvarc, feldspati (ortoklas i mikroklin) i muskovit kao glavni sastojci, cirkon, titanit i monacit kao akcesorni minerali, a sericit i limonit kao sekundarni sastojci (Slika 14).

Kvarc je prisutan u obliku alotriomorfni kristala. Prosječne dimenzije zrna kvarca su 1,26x1,1 mm. Zrna su djelomično razlomljena uslijed djelovanja pritiska i pokazuju undulozno potamnjenje, a vidljive su i nepravilne pukotine. Uzorak MT9 prikazuje kontakt granita i kvarcne žile (Slika 12a). Zrna kvarca u granitu su manja i više razlomljena (Slika 12b), dok su zrna kvarca u kvarcnoj žili mnogo veća i cjelovitija (Slika 12c). Kvarcna zrna pokazuju i pojavu migracije granice te razvoj subdomena (Slika 12c). Sadrži uklopke titanita i monacita. Kvarc čini oko 30% mineralnog sastava ove stijene.

Ortoklas je alotriomorfni habitusa. Dimenzije zrna variraju u širokom rasponu, od 0,18x0,12 do onih većih od 3 mm. Mineral je dosta izmijenjen. Prisutna je sericitizacija u središnjim dijelovima zrna (Slika 12d) i prelazak u minerale glina. Kao takav, mineral čini oko 20% mineralnog sastava ove stijene.

Mikroklin se javlja u obliku pločastog, alotriomorfni habitusa čije su prosječne dimenzije 0,69x0,47 mm. Jasno su vidljiva dva seta polisintetskih sraslačkih lamela koje se sijeku pod pravi kutem. U mineralnom sastavu ove stijene, mikroklin čini oko 5%.

Muskovit je prisutan u obliku alotriomorfni plastično deformiranih listića (Slika 13a) prosječnih dimenzija 0,51x0,34 mm. Pseudoapsorpcija je izražena. Od alteracija, limonitizacija se javlja po rubovima zrna (debljina limonitnog ovoja je 0,015–0,6 mm). Muskovit čini oko 10% mineralnog sastava ove stijene.

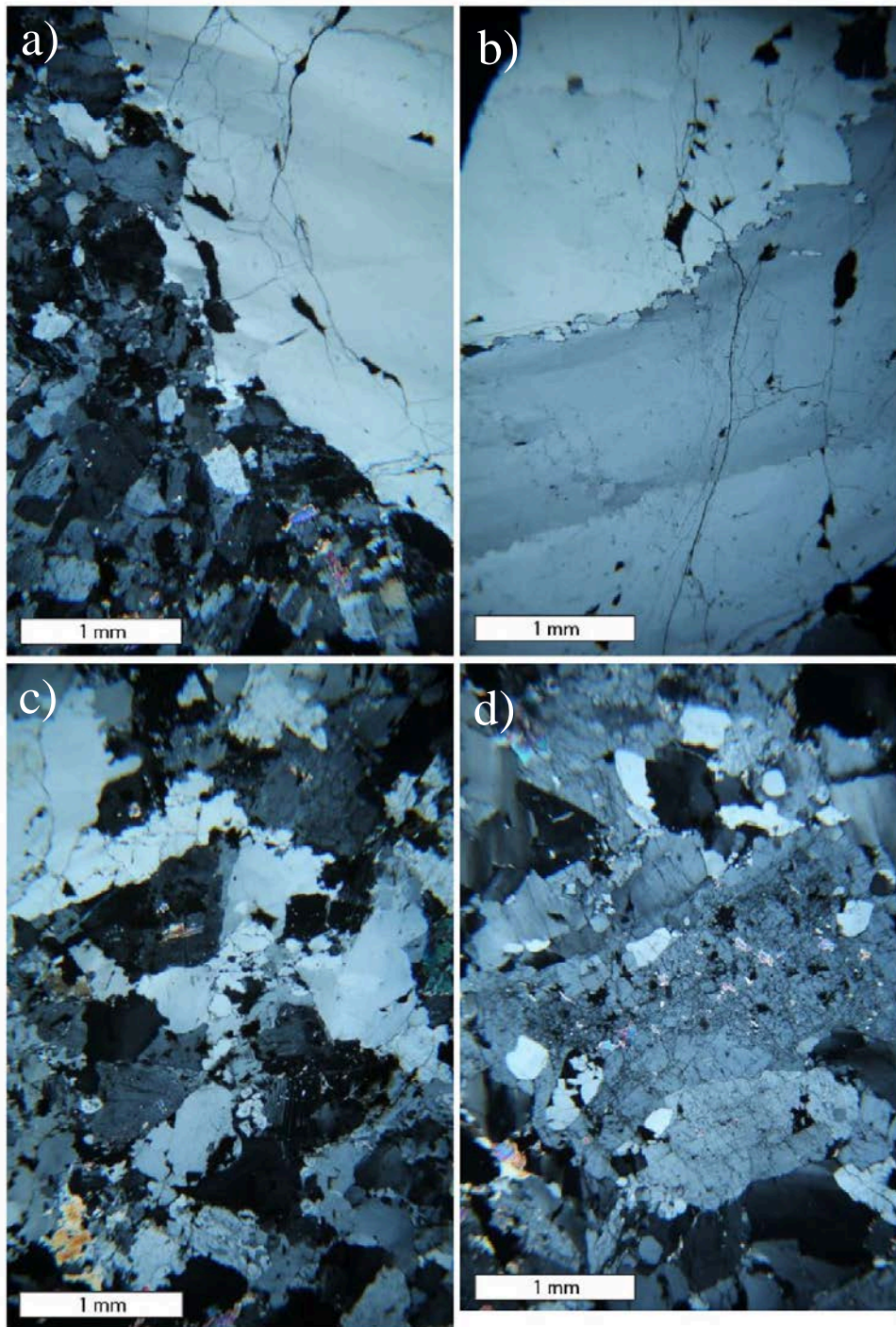
Cirkon, kao akcesorni mineral u ovoj stijeni, javlja se kao uklopak u biotitu u obliku alotriomorfni do hipidiomorfni zrna prosječnih dimenzija 0,023x0,075 mm.

Drugi akcesorni mineral, **titanit**, dolazi u obliku hipidiomorfni zrna. Prosječne dimenzije zrna su 0,02x0,008 mm. Dvolom je izrazito visok i interferencijske boje su prekrivene vlastitom. Uklopak je u kvarcu.

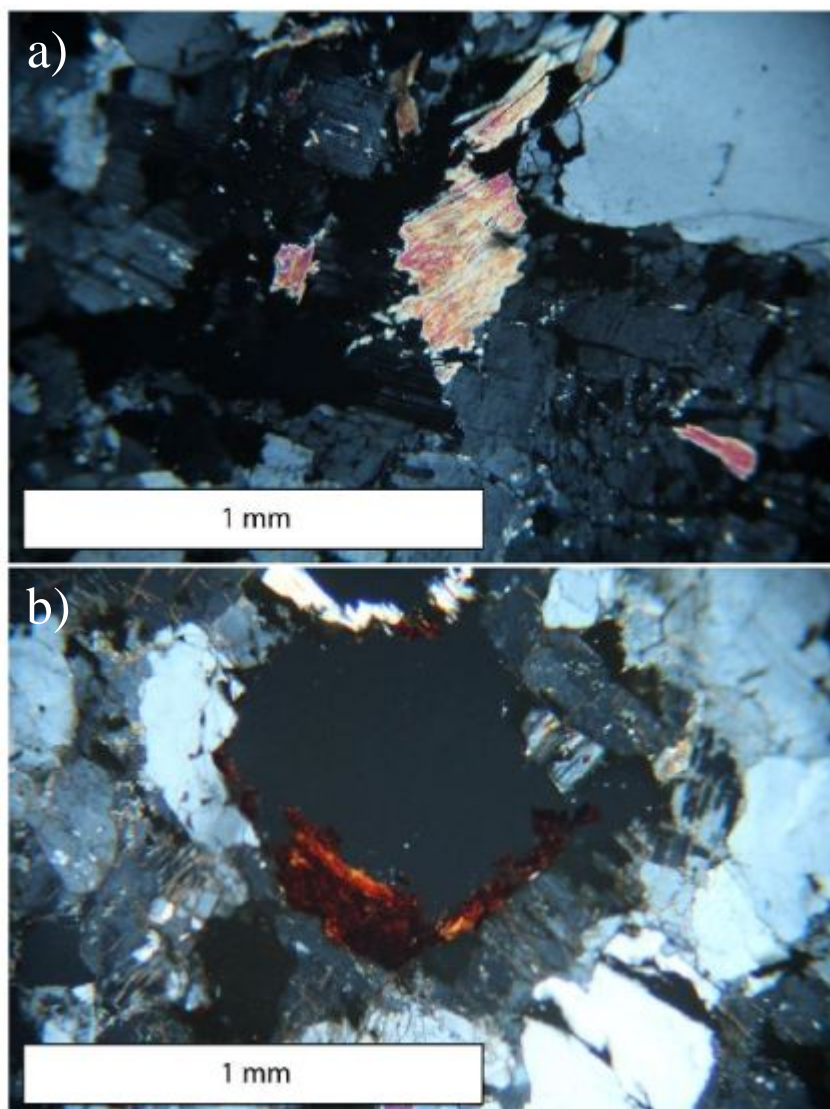
Od drugih akcesornih minerala, tu je i **monacit**. Javlja se u obliku hipidiomorfnih zrna izrazito visokog reljefa. Prosječne dimenzije zrna su 0,125x0,25 mm, a pojavljuje se kao uklopak u kvarcu.

Sericit se javlja kao sekundarni mineral u obliku sitnolistićavih agregata, a nastao je alteracijom feldspata te čini oko 3% mineralnog sastava ove stijene.

Limonit (Slika 13b) je drugi sekundarni sastojak u ovoj stijeni i javlja se u intersticijskom prostoru (naknadno nastupanje limonitizacije cirkulacijom meteorske vode kroz sustav). Čini oko 5–10% mineralnog sastava ove stijene.



Slika 12: a) Mikrofotografija uzorka MT9 koja prikazuje kontakt granita i kvarcne žile; b) Mikrofotografija uzorka MT9 koja prikazuje zrna kvarca unutar kvarcne žile; c) Mikrofotografija uzorka MT9 koja prikazuje strukturu granita te migraciju granica zrna uz razvoj subdomena; d) Mikrofotografija uzorka MT14 na kojoj se vidi blaga sericitizacija feldspata. Sve mikrofotografije snimljene s uključenim analizatorom N+.



Slika 13: a) Mikrofotografija uzorka MT14 na kojoj je prikazan plastično deformiran listić muskovita; b) Mikrofotografija uzorka MT9 na kojoj je prikazano zrno limonita. Sve mikrofotografije snimljene su s uključenim analizatorom N+.

Sekundarni sastojci (limonit i sericit) upućuju na procese alteracije ove stijene hipidiomorfne zrnate strukture. Njih ima nešto više u odnosu na prethodnu stijenu, odnosno dvotinjčasti granit. Prema mineralnom sastavu i udjelima mineralnih sastojaka, stijena je determinirana kao **leukokratni granit**.

Jzorak /mine	GLAVNI PRIMARNI MINERALI					AKCESORNI PRIMARNI MINERALI			SEKUNDARNI MINERALI	
	Kvarc	Otoklas	Mikroklin	Muskovit	Cirkon	Titanič	Monacit	Sericit	Limonit	
MT9 (kontakt granita i kvarcne žile)	-veličina zrna: 0,2x0,28 - >3mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 25% preparata -undulozno potamnjene -nepravilne pukotine -djelomično kataklaziran	-veličina zrna: 0,18x0,08 - >3mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 30% preparata -alteracije: djelomična sericitizacija	-veličina zrna: 0,4x0,3 - 1,15x0,65mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 2% preparata -polsintetske sraslačke lamele	-veličina zrna: 0,07x0,05 - 1,04x0,46mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 10% preparata -jaka pseudoapsorpcija	veličina zrna: 0,025x0,01 - 0,03x0,0025mm -habitus: hipidiomorfan -visok dvolom	veličina zrna: 0,03x0,01 - 0,015x0,01mm -habitus: hipidiomorfan -visok dvolom, int. boja prekrivena viasittom	-veličina minerala: 0,05x0,15 - 0,2x0,35mm -habitus: hipidiomorfan -izrazito visok reljef	-alteracija feldspata, oko 6%	-limonitizacija po rubovima zrna; oko 5%	
MT14	-veličina zrna: 0,2x0,12 - 2,05x1,6mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 30% preparata -mirmekitna struktura -undulozno potamnjene	-veličina zrna: 0,18x0,12 - 1,95x1,2mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 15% preparata -alteracije: sericitizacija u središnjim dijelovima zrna	-veličina zrna: 0,5x0,45 - 1,15x0,9mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 10% preparata -polsintetske sraslačke lamele	-veličina zrna: 0,085x0,06 - 1,3x0,95mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 10% preparata -izražena pseudoapsorpcija -povijanje listića	-veličina zrna: 0,005x0,005 - 0,02x0,005mm -habitus: alotriomorfan -dvolum: 0,1-0,192, int. boja prekrivena viasittom	-veličina zrna: 0,005x0,005 - 0,02x0,005mm -habitus: alotriomorfan -dvolum: 0,1-0,192, int. boja prekrivena viasittom	-kao alteracija feldspata, oko 1,5%	-oko 5%, intersticijski (nastalo naknadno strujanjem meteorske vode kroz sustav)		
MT27	-veličina zrna: 0,05x0,095 - 2,95x1,95mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 30% preparata -rekristaliziran (granice pod 120°) -nepravilne pukotine -undulozno potamnjene	-veličina zrna: 0,12x0,1 - 0,8x0,4mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 10% preparata -alteracije: prelazi u minerale glina (u središtu zrna)	-veličina zrna: 0,22x0,024 - 0,76x0,52mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 5% preparata -polsintetske sraslačke lamele	-veličina zrna: 0,055x0,015 - 0,8x0,56mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 30% preparata -izražena pseudoapsorpcija -alteracije: limonitizacija po rubovima zrna prema unutrašnjosti; debljina limonitnog ovoja	-veličina zrna: 0,01x0,0025 - 0,02x0,005mm -habitus: alotriomorfan -dvolum: 0,045; int. boje 3. reda	-veličina zrna: 0,01x0,0025 - 0,02x0,005mm -habitus: hipidiomorfan -dvolum: 0,1, int. boja prekrivena viasittom	-oko 5%	-izražena limonitizacija po rubovima zrna; oko 20%		
MT33	-veličina zrna: 0,125x0,1 - 1,5x1,5mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 20% preparata -undulozno potamnjene -nepravilne pukotine	-veličina zrna: 0,2x0,18 - >3mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 30% preparata -jasno vidljiva kalavost -alteracije: izražene; prelazi u minerale glina kroz cijelo zrno; blaga sericitizacija	-veličina zrna: 0,22x0,024 - 0,76x0,52mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 5% preparata -polsintetske sraslačke lamele	-veličina zrna: 0,1x0,04 - 0,7x0,66mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 10% preparata -izražena pseudoapsorpcija	-veličina zrna: 0,035x0,02 - 0,03x0,035mm -habitus: alotriomorfan -visok dvolom	-veličina zrna: 0,035x0,01 - 0,03x0,0025mm -habitus: hipidiomorfan -visok dvolom	-alteracija feldspata u središnja zrna; oko 3%	-izražena limonitizacija na rubovima zrna i između njih; oko 10%		

Slika 14: Tablica prikupljenih rezultata mineraloške analize leukokratnog granita

7.4. **Grajzen:** uzorci MT17, MT20, MT21 i MT25D

Glavni minerali ovih uzoraka su kvarc i muskovit. Akcesorni minerali koji se javljaju su cirkon, titanit i monacit, a sekundarni sastojci su sericit i limonit (Slika 16). Primjetna je razlika glavnih minerala u odnosu na prethodno opisane tipove granita koji sadrže feldspate za razliku od ovih uzoraka.

Kvarc je prisutan u obliku alotriomorfni kristala čije dimenzije variraju u širokom rasponu. Zrna pokazuju undulozno potamnjenje i izražene nepravilne pukotine. Kvarc je dominantna mineralna faza u ovim uzorcima, čini oko 50–60% mineralnog sastava ove stijene.

Drugi glavni mineralni sastojak ovih uzoraka je **muskovit**. Pojavljuje se u obliku plastično deformiranih, alotriomorfni listića prosječnih dimenzija 0,56x0,31 mm. Izražena je pseudoapsorpcija i jasno je vidljiva kalavost. Mineral je trošan; prelazi u minerale glina (po rubovima i u središtima samih listića), a između zrna je prisutna limonitizacija (Slika 15a i 15b). Kao takav, muskovit čini oko 15% ove stijene.

Cirkon je akcesorni mineral u ovoj stijeni i pojavljuje se u obliku hipidiomorfni do idiomorfni zrna prosječnih dimenzija 0,31x0,12 mm unutar kvarca.

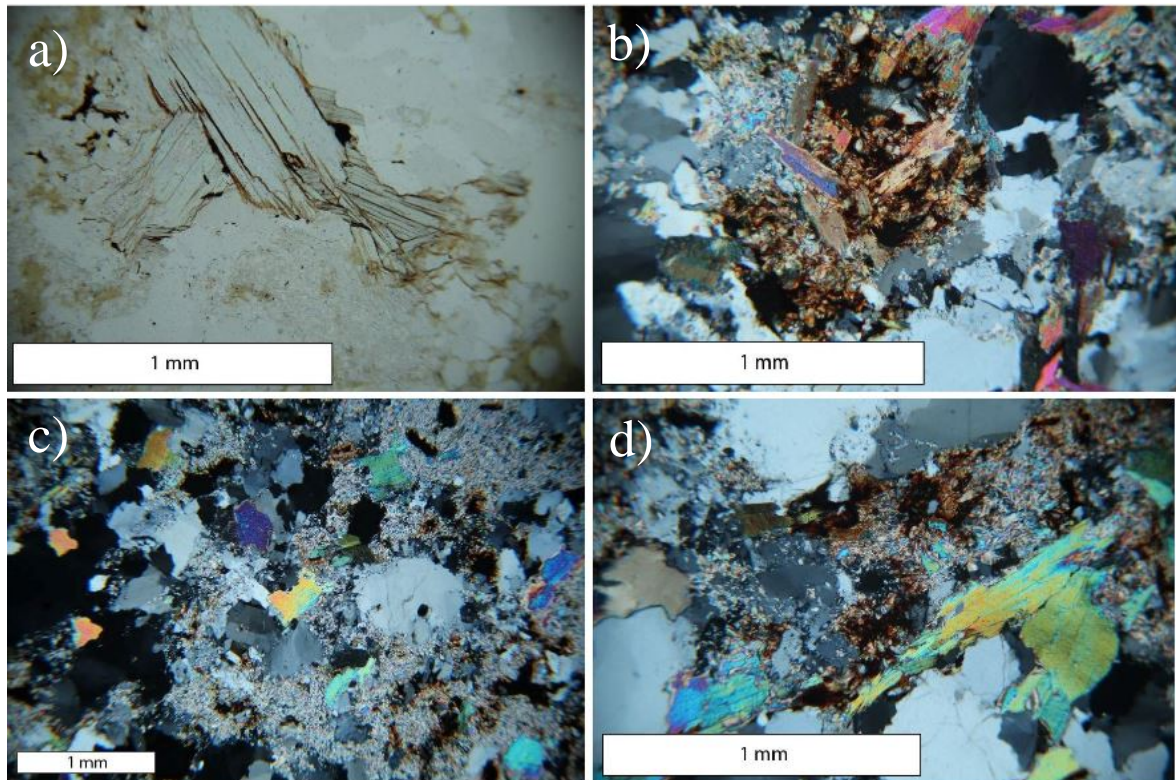
Titanit je također akcesorni mineral. Prosječne dimenzije ovih hipidiomorfni zrna su 0,06x0,03 mm, a uklopak je u kvarcu.

Monacit se uz cirkon i titanit javlja kao akcesorni mineral unutar zrna kvarca. Habitus zrna je hipidiomorfan do idiomorfan, a prosječne dimenzije istih su 0,24x0,26 mm.

Sericit, kao sekundarni mineral, javlja se kao potpuna alteracija feldspata (Slika 15c) i to kao agregat pa tako čini čak i oko 20% ove stijene.

Uz sericit, **limonit** je drugi sekundarni sastojak koji se javlja u ovoj stijeni. Najčešći je uz rubove zrna muskovita u obliku "ovoja", ali prisutan je u zrnima smeđe do tamnosmeđe boje (Slika 15d). Čini oko 5–10% mineralnog sastava ove stijene.

Glavni mineralni sastav ove stijene ne sadrži feldspate kao što ih sadrže dvotinjčasti i leukokratni granit. Feldspati ovih uzoraka su alterirani, odnosno sericitizirani su u potpunosti (velik udio u mineralnom sastavu čini sericit). Ovi uzorci su i znatnije limonitizirani. Limonitizacija je nastupila naknadno nakon donosa fluida u sustav. Ove stijene klasificirane su kao **grajzeni**.



Slika 15: a) Mikrofotografija uzorka MT17 na kojoj je vidljiva limonitizacija između zrna muskovita i po plohama kalavosti, N; b) Mikrofotografija uzorka MT21 na kojoj je također vidljiva limonitizacija muskovita, N+; c) Mikrofotografija koja prikazuje strukturu uzorka MT25D, a vidljivo je i područje intenzivne sericitizacije, N+; d) Mikrofotografija uzorka MT25D s pojavom limonita, N+.

Izorek/mine	GLAVNI PRIMARNI MINERALI		AKCESORNI PRIMARNI MINERALI			SEKUNDARNI MINERALI	
	Kvarc	Muskovit	Cirkon	Titanit	Monacit	Sericit	Limonit
MT17	-veličina zrna: 0,135x0,105 - 1,7x0,85mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 30% preparata -undulozno potamnjene -izražene nepravilne pukotine	-veličina zrna: 0,175x0,095 - 0,96x0,66mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 10% preparata -blago povijanje listića -izražena pseudoapsorpcija -alteracije; pr elazi u minerale glina	-veličina zrna: 0,08x0,035 - 0,035x0,035mm -habitus: alotriomorfan do hipidiomorfan -visok dvolom i int. boje 3. reda	-veličina zrna: 0,03x0,0175 - 0,1x0,07mm -habitus: alotriomorfan -int. boja prekrivena vlastitom		-potpuna alteracija feldspata; u obliku agregata; oko 30%	-po rubovima zrna; oko 5%
MT20	-veličina zrna: 0,35x0,25 - 1,4x1,15mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 30% preparata -undulozno potamnjene -nepravilne pukotine	-veličina zrna: 0,08x0,12 - 0,95x0,35mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 10% preparata -blago povijanje listića -alteracije; pr elazi u minerale glina (po rubovima zrna); sericitizacija			-veličina zrna: 0,25x0,3 - 0,45x0,35 -habitus: hipidiomorfan do idiomorfan -izrazito visok reljef	-u obliku agregata kao potpune alteracije feldspata; oko 20%	-jaka limonitizacija uzorka (najčešća po rubovima zrna kao "ovoji", ali postoji i poneko zrno samog limonita smeđe do tamnosmeđe boje); oko 15%
MT21	-veličina zrna: 0,105x0,08 - 1,7x0,7mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 30% preparata -undulozno potamnjene	-veličina zrna: 0,95x0,7mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 15% preparata -jasna pseudoapsorpcija -jasna kalavost -određena orijentacija listića -alteracije; trši se u minerale	-veličina zrna: 0,02x0,05 - 0,075x0,08mm -habitus: hipidiomorfan -visok dvolom	-veličina zrna: 0,06x0,03 - 0,065x0,01mm -habitus: hipidiomorfan -visok dvolom	-veličina zrna: 0,1x0,15 - 0,2x0,35 -habitus: hipidiomorfan	-alteracija feldspata; oko 20%	-jaka limonitizacija koja kreće po rubovima zrna i širi se prema unutrašnjosti; ovoji oko listića muskovita; oko 10%
MT25D	-veličina zrna: 0,235x0,19 - 1,65x0,75mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 30% preparata -undulozno potamnjene -slabo vidljive nepravilne pukotine	-veličina zrna: 0,07x0,155 - 1,12x0,3mm -habitus: alotriomorfan -čini oko 15% preparata -izražena pseudoapsorpcija -jasno vidljiva kalavost			-veličina zrna: 0,15x0,2 - 0,3x0,2 -habitus: hipidiomorfn -izrazito visok reljef -osnovna boja: blijedo zelena	-potpuna alteracija feldspata; 25%	-po rubovima zrna; oko 5%

Slika 16: Tablica prikupljenih rezultata mineraloške analize grajevna

8. Diskusija

Uzorci uzeti za ovo istraživanje mogu se grupirati u 4 skupine granita, a to su biotitni granit, dvotinčasti granit, leukokratni granit i grajzen.

Biotitni granit predstavlja sitnozrnatu, sivu do sivo-crnu stijenu u čijem mineralnom sastavu se razlikuju jedino kvarc, feldspati i biotit. Tekstura ovog tipa granitne stijene je homogena do blago uškrljena (određena orijentacija listića biotita, Slika 5b), a struktura je alotriomorfna zrnata, ponekad prelazi i u porfiroidnu (Slika 5c) i kataklastičnu. Kvarc čini oko 30–40% mineralnog sastava ove stijene, a feldspati i biotit zajedno oko 10–20%. Oko biotita se nakupljaju opáki minerali (Slika 15a). Ukupan sadržaj ostalih mineralnih sastojaka (minerali glina, opáki minerali, sericit, titanit) rijetko premašuju 5%. Biotitni granit nalazimo isključivo na južnim obodima plutona, uz stijene kontaktnog pojasa.

Dvotinčasti granit je sivo-bijela stijena u čijem mineralnom sastavu najviše sudjeluju kvarc, feldspati i tinjci uz ostale akcesorne (cirkon, titanit, monacit) minerale i sekundarne (klorit, sericit, limonit) sastojke. Promatran makroskopski, ovaj neizmijenjeni tip granita je homogene teksture, dok je na mikroskopskoj skali struktura ove stijene zrnata, alotriomorfna, ponekad i granofirska (Slika 7a) te kataklastična, što znači da je stijena bila podložna djelovanju pritisaka uslijed čega je došlo do mehaničkih deformacija najčešće zrna kvarca i feldspata (ortoklasa). Kvarc čini oko 35% mineralnog sastava ove stijene, feldspati 30%, muskovit 3–7%, muskovit 1–3%, a pojedinačna zastupljenost svih ostalih mineralnih sastojaka je oko 2%. Cirkon, titanit i opáki minerali pretežno se koncentriraju unutar i neposredno oko zrna biotita (Varićak, 1966) (Slika 8d), što ukazuje na početak izlučivanja biotita u ranoj fazi magmatske kristalizacije. Monacit je rijedak akcesorni mineral u motajičkom granitu (Slika 10). Alteracije u ovom tipu granita slabo su zastupljene, ukupni postotak alteracija je oko 5%. Od njih pojavljuju se kloritizacija, sericitizacija i kasna limonitizacija što se vidi i iz pojave sekundarnih sastojaka u sastavu ove stijene (klorit, sericit, limonit). Klorit nastaje alteracijom biotita, sericit alteracijom feldspata, a limonit supergenom alteracijom opákih minerala tijekom kasne cirkulacije meteorske vode kroz sustav.

Leukokratni granit je leukokratna, sivo-bijela stijena, masivna do blago uškrljena, izgrađena pretežito od kvarca, feldspata i muskovita. Tekstura ove stijene je homogena, a struktura hipidiomorfna zrnata s prelazom u porfiroidnu, ponekad i kataklastičnu (Varićak, 1966). U mineralnom sastavu ove stijene, kvarc čini oko 30–40%, feldspati oko 20%, a tinjci zajedno

oko 10% od čega većinu čini muskovit. Akcesorni minerali (cirkon, titanit i monacit) prisutni su kao uklopci u feldspatima i muskovitu, svi su uglavnom hipidiomornog do idiomornog habitusa i zajedno ne premašuju 5% mineralnog sastava. Minerali glina i sericit čine oko 1% mineralnog sastava. Sericitizacija nastupa uglavnom u središtima zrna feldspata, a limonitizacija se odvija između zrna (intersticijski, naknadno donešeno strujanjem meteorske vode kroz sustav) i po plohama kalavosti minerala, npr. muskovita. Međutim, neki dijelovi stijene su intenzivnije hidrotermalno alterirani pa ukupan sadržaj pirita i klorita ponekad i premašuje 5%. To pokazuje da je ova stijena alterirana u jačoj mjeri nego normalni granit, no i dalje je većinom neizmijenjena.

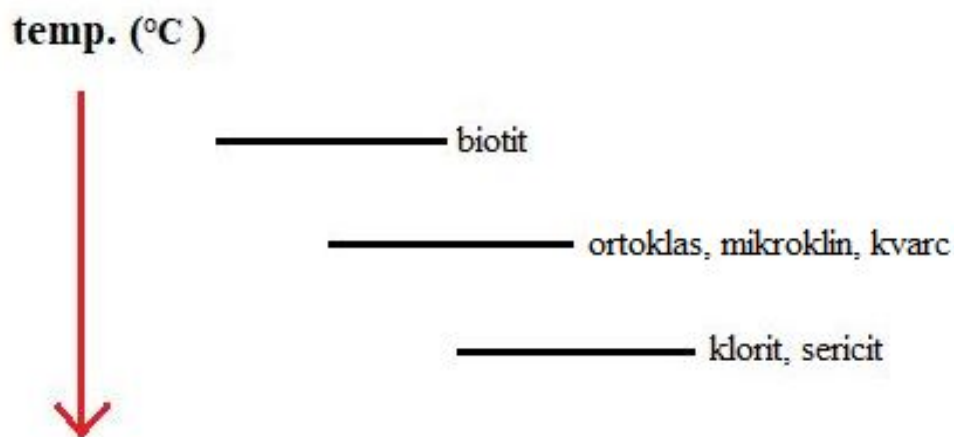
Grajzen zahvaća svega manje od 1% granitoidnog plutona Motajice, tj. oko 0,5 km² (Varićak, 1966). To je sitnozrnata, porozna, bijela stijena u čijem sastavu razlikujemo kvarc i muskovit (i sericit). Dijelovi stijene su prošarani žutim, smeđim i crvenim pigmentima kao produktima trošenja. Struktura stijene je pretežito zrnata hipidiomorfna, rijetko porfiroidna i kataklastična. Mineralni sastav ove stijene najvećim dijelom čini kvarc (60–80%), a ostatak muskovit sa sericitom kao sekundarnim mineralom. Ova stijena nastala je kao produkt sericitizacije feldspata tijekom pneumatolitske faze (oblik kontaktnog metamorfizma koji nastaje kada plinovi i pare iz magme djeluju na okolno stijenje). Stijena je izuzetno trošena, odnosno feldspati u potpunosti izostaju. Osim navedenih procesa alteracije, prisutna je i limonitizacija koja dolazi po rubovima listića muskovita kao limonitni ovoj i između samih zrna - intersticijski (Slika 15a) naknadnim strujanjem meteorske vode kroz sustav. Ove alteracije uzrok su žuto, smeđe i crveno pigmentiranih dijelova stijene promatrane makroskopski. Ostala hidrotermalna ležišta Motajice su rijetka budući da je erozija Motajice bila dubinska pa je veći dio masiva erodiran, zajedno sa mogućim ležištima.

Isti su akcesorni minerali (cirkon, titanit i monacit) u svim tipovima granita što ukazuje na postanak iz istog tipa magme.

Temeljem mikroskopskih odredbi može se uspostaviti slijed kristalizacijskih događaja koji su posljedica pada temperature u sustavu tijekom hlađenja intruzije.

Nastanak plutona odvijao se u nekoliko faza koje se razlikuju u kvaliteti i količini mineralnih produkata.

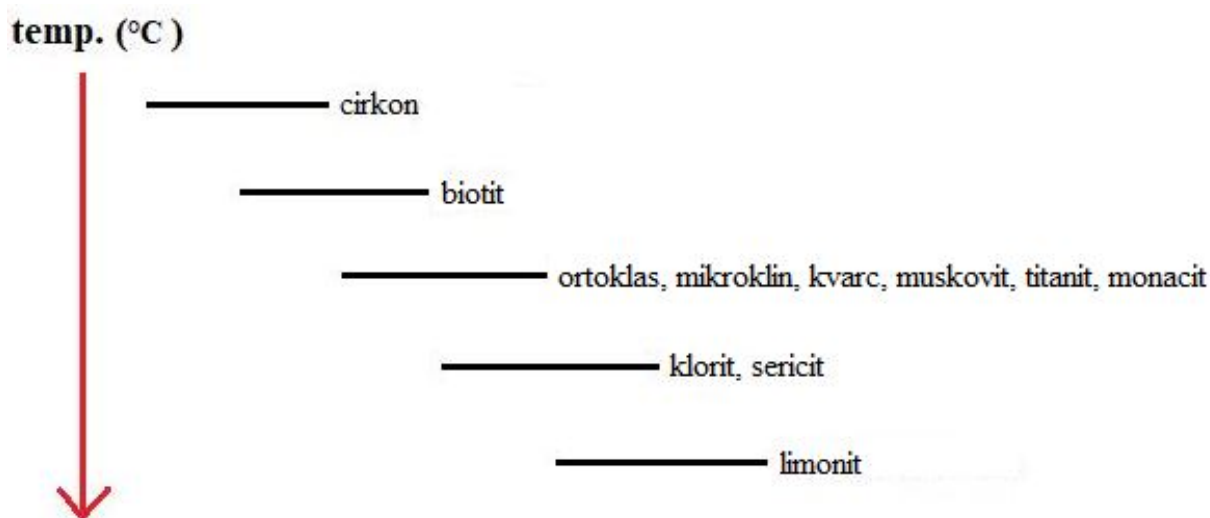
- 1) Najstariji tip granita istraživanog područja je biotitni granit. Ovaj tip granita je očvrsnuo u uvjetima visokih temperatura, no tijekom brzog hlađenja na kontaktu s tada još relativno hladnim škriljalcima (Varićak, 1966). Mineralni sastav i redosljed pojavljivanja mineralnih sastojaka biotitnog granita temeljem mikroskopskih opažanja je sljedeći:



Slika 17: Redosljed pojavljivanja mineralnih sastojaka biotitnog granita s padom temperature

Biotit se pojavljuje pri najvišim temperaturama (Slika 17) i ima ga više nego u ostalim tipovima granita. Padom temperature pojavljuju se feldspati (ortoklas i mikroklin), pri još nižoj temperaturi kvarc, dok klorit i sericit nastaju kao alteracije primarnih minerala pri najnižim temperaturama.

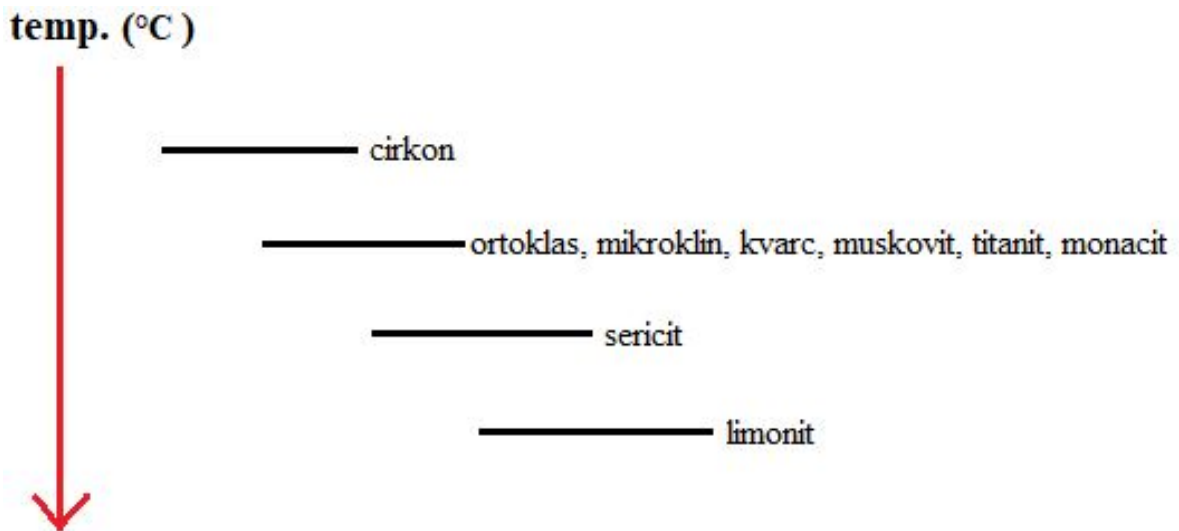
- 2) Neposredno nakon biotitnog granita slijedi dvotinjčasti granit koji čini najveći dio granitoidnog plutona (oko 75%). Većina umjereno diferencirane magme je prodrla u hipoabisalne dijelove za vrijeme intruzije plutona što je omogućilo sporu kristalizaciju dvotinjčastog granita (Varićak, 1966). Mineralni sastav i redosljed pojavljivanja mineralnih sastojaka ovog tipa granita je sljedeći:



Slika 18: Redosljed pojavljivanja mineralnih sastojaka dvotinčastog granita s padom temperature

Prema tome, u sastavu dvotinčastog granita, pri najvišim temperaturama kristalizira cirkon (Slika 18). Padom temperature, no i dalje pri visokim temperaturama, dolazi do kristalizacije biotita kojeg slijede feldspati (ortoklas i mikroklin), kvarc, muskovit te akcesorni minerali titanit i monacit. Pri još nižim temperaturama nastaju sekundarni minerali klorit i sericit, a u površinskim uvjetima limonit. Cirkon, kao uklopak u biotitu, ukazuje na početak izlučivanja biotita u ranoj fazi magmatske kristalizacije (Varićak, 1966).

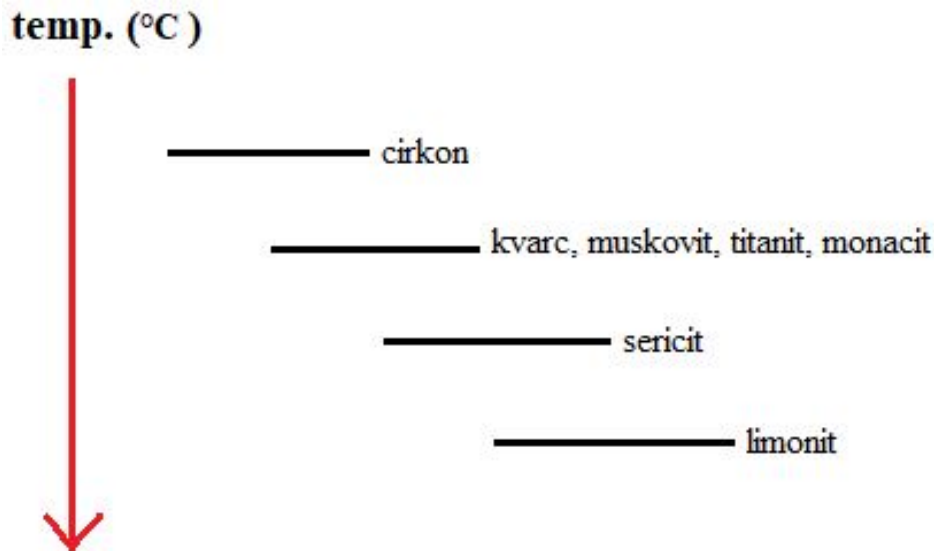
- 3) Nakon dvotinčastog granita kristalizira leukokratni granit koji nastaje kristalizacijskom diferencijacijom magme i njenim hlađenjem. Manje količine magme ulaze u hipoabisalne dijelove tijekom intruzije plutona i, zahvaljujući magmatskoj diferencijaciji, nastaje leukokratni granit (Varićak, 1966). Mineralni sastav i redosljed pojavljivanja mineralnih sastojaka leukokratnog granita je sljedeći:



Slika 19: Redosljed pojavljivanja mineralnih sastojaka leukokratnog granita s padom temperature

Na prvom mjestu, pri najvišim temperaturama, kristalizira akcesorni mineral cirkon. U ovom tipu granita, biotit izostaje stoga nakon cirkona slijedi kristalizacija feldspata (ortoklas i mikroklin), kvarca, muskovita te akcesornih minerala titanita i monacita. Sericit, kao sekundarni mineral, nastaje pri još nižim temperaturama, a limonit pri površinskim temperaturama (Slika 19).

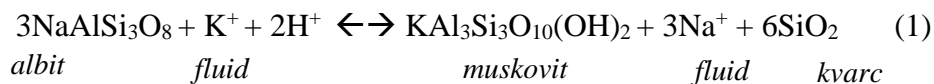
- 4) Najmlađi tip je grajzen. Nastao je postmagmatskom grajzenizacijom dvotinječastog i leukokratnog granita nakon konsolidiranja perifernih dijelova plutona (Varićak, 1966). Ovaj proces alteracije događa se pri temperaturama od oko 550–250°C.



Slika 20: Redosljed pojavljivanja mineralnih sastojaka grajzena s padom temperature

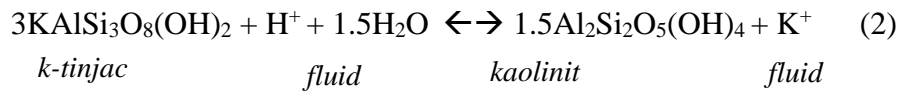
Cirkon, kao akcesorni mineral, kristalizira pri najvišim temperaturama, nakon čega slijede kvarc, muskovit, titanit i monacit. Sericit nastaje izmijenom feldspata (sericitizacijom), a pri površinskim temperaturama nastaje limonit.

- 5) Slijedi proces sericitizacije, odnosno hidrotermalne alteracije feldspata u granitu iz kojih nastaju bijeli tinjci, najčešće sitnolistićavi muskovit, odnosno sericit. Proces se odvija na temperaturama od oko 300–100°C. Posljedica ovog tipa alteracije je gubitak Ca i Na iz sustava, a dobitak (Jednadžba (1)) ili gubitak K, ovisno o tipu feldspata (Mathieu, 2018).

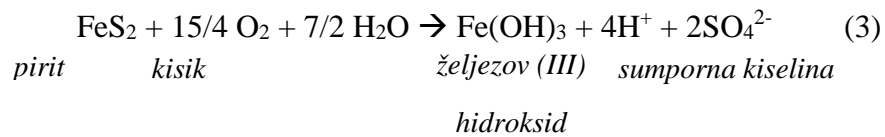


- 6) Kaolinitizacija se javlja kao rezultat daljnjeg hlađenja hidrotermi, i zahvaća feldspate (ortoklas i mikroklin; Jednadžba (2)). Temperature na kojima se odvija

ovaj proces su oko 100–25°C u slučaju hidrotermalnog procesa, ili ispod 25°C u slučaju supergenog procesa.



- 7) Limonitizacija je kasna supergena alteracija. Javlja se kao alteracija opákih minerala (Jednadžba (3), Santharooban i dr., 2012) uslijed cirkulacije meteorske vode kroz intersticijske prostore u stijenama.



9. Zaključak

U okviru ovog rada istraživana je granitoidni pluton unutar magmatsko-metamorfno kompleksa Motajice, planinskog masiva Bosne i Hercegovine, radi određivanja mineralnog sastava granita, mineraloške odredbe različitih tipova granita i prepoznavanja eventualne korisne mineralizacije unutar samih granita Motajice.

Sve istraživane stijene su graniti, no petrografskom analizom utvrđeno je da se radi o 4 tipa granita: biotitni granit, dvotinjčasti granit, leukokratni granit i grajzen. Teksture ovih stijena su uglavnom homogene do blago uškrljene, dok su strukture alotriomorfne zrnate, kataklastične do porfiroidne. Glavni minerali neizmijenjenih tipova granita (dvotinjčasti i leukokratni) su u najvećoj mjeri kvarc i feldspati, zatim tinjci (biotit i muskovit) te ostali minerali (sericit, klorit, titanit, cirkon, monacit). Mineralni sastav grajzena čini kvarc sa muskovitom i nešto malo ostalih minerala, dok mineralni sastav biotitnog granita čine kvarc, feldspati i biotit. Mineralni sastav svih tipova granita određen je polarizacijskim mikroskopom.

Usporedbom mineralnih sastava izmijenjenih i neizmijenjenih granita zaključuje se kako je najveća razlika u sastavu prisutnost feldspata u neizmijenjenim tipovima granita, dok su oni u izmijenjenim tipovima granita alterirani (sericitizirani). Prisutna je i limonitizacija među zrnima koja upućuje na naknadan donos meteorske vode u sustav.

Prisutnost akcesornih minerala u granitima Motajice, kao što su cirkon, titanit i monacit upućuje na postanak iz istog tipa magme.

Na temelju mikroskopskih analiza uspostavljen je slijed kristalizacijskih događaja padom temperature. Svaki tip granita ima svoj kristalizacijski slijed, oni se međusobno razlikuju u sastavu, dok je sam slijed uvijek isti. Budući da biotitni granit ima najveći udio biotita, on je ujedno i najstariji zbog kristalizacije biotita na najvišim temperaturama. Od ostalih tipova granita, dvotinjčasti granit je jedini koji još sadrži biotit, no ima ga manje nego u biotitnom granitu. Zaključno, dvotinjčasti granit slijedi odmah nakon biotitnog granita. Nakon ovih tipova granita slijedi leukokratni granit bez prisutnosti biotita u svom mineralnom sastavu gdje na prvom mjestu kristalizira akcesorni mineral cirkon. Grajzen je najmlađi tip. Podvrgnut je alteracijama više od ostalih tipova granita. Sericitizacijom feldspata nastaje sericit, a ovisno o tipu feldspata dolazi do K- gubitka ili obogaćenja. Ovaj tip alteracije odvija se pri najvišim temperaturama (300–100°C). Slijedi je kaolinitizacija pri temperaturama

100–25°C ili čak i pri <25°C. Limonitizacija je posljednja i odvija se pri najnižim temperaturama (<25°C).

Uočene visokotemperaturne alteracije granita, kao što su grazenizacija i sericitizacija, javljaju se na pojedinim dijelovima granitoidnog plutona. Te lokacije su povoljne za nastanak orudnjenja skarnskog i hidrotermalnog tipa te bi se, prema tome, daljnja istraživanja trebala usmjeriti na upravo te lokacije. Udio litija u granitima Motajice nije poznat, no pretpostavlja se da je vrlo velik s obzirom na navedene alteracije i udjele mineralnih sastojaka.

10. Literatura

- BARIĆ, L.J., (1960): Beril iz Motajice Planine. Acta geol. JAZU, knjiga 29, Zagreb, str. 71–78.
- DELEON, A., (1963): Prikaz dosadašnjih iskustava pri određivanju apsolutnih geoloških starosti. Ref. II jug.–polj. sav. o geol. i met. ispit. nukl. sir., Beograd.
- DINARSKO GORJE: Motajica. <https://www.dinarskogorje.com/motajica.html> , (16.3.2020.)
- ILIĆ, S., (1953): Motajički kaolin. Glas. hem. druš. NRBiH, 7, Sarajevo.
- JURKOVIĆ, I., (2004): Metallogeny of Eocene syncollisional granites of Motajica and Prosara Mountains, 16, str. 31–36.
- KARAMATA, S., (1976): Nemetalične sirovine genetski vezane na hercinski kiseli magmatizam. Prvi tom: Nemetalne sirovine, 241/242. Geoinženjering, Sarajevo.
- KATZER, F., (1903): Geologischer Führer durch Bosnien und die Hercegovina. Sarajevo, str. 5, 61–52.
- KATZER, F., (1921): Geološka pregledna karta Bosne i Hercegovine. 3. list, Banja Luka, Sarajevo.
- KATZER, F., (1926): Geologija Bosne i Hercegovine. Sarajevo, str. 65–92.
- KATZER, F., LIPOLD, V. & ŠRAJN, W., (1910): Geologische Übersichtskarte von Bosnien–Hercegovina. Sarajevo.
- KATZER, F. & TURINA, J., (1912): Geologische Formationsumriss–Spezialkarten von Bosnien und der Hercegovina: Svinjau und Orlovac, Sarajevo.
- KOCH, F., (1889): Berilj iz Motajice planine u Bosni. Glas. zem. muz. BIH, Sarajevo, str. 1–12.
- KOCH, F., (1908): Prilog petrografskom poznavanju Motajice Planine u Bosni. Glas. zem. muz. BIH, Sarajevo, str. 1–22.
- KRENN, E., USTASZEWSKI, K. & FINGER, F., (2008): Detrital and newly formed metamorphic monazite in amphibolite–facies metapelites from the Motajica Massif, Bosnia. Chem. Geol., str. 254, 164–174.
- LANPHERE, M., PAMIĆ, J., (1992): K–Ar and Rb–Sr ages of Alpine granite–metamorphic complexe sin the northwestern Dinarides and the southwestern part of the Pannonian Basin in northern Croatia, Acta Geol., 22, str. 97–111.
- MATHIEU, L., (2018): Quantifying Hydrothermal Alteration: A Review of Methods. https://www.researchgate.net/publication/326162674_Quantifying_Hydrothermal_Alterati_on_A_Review_of_Methods , 8.9.2020.

MILJUŠ, P., (1961): Rezultati geološkog kartiranja Bosanske Posavine. Geol. glasnik, br. 5, Sarajevo, str. 78–80, 88–90.

MEUNIER, A., VELDE, B., DUDOIGNON, P., BEAUFORT, D., (1983): Identification of weathering and hydrothermal alteration in acidic rocks: petrography and mineralogy of clay minerals, str. 93–99, https://www.persee.fr/doc/sgeol_0302-2684_1983_act_72_1_2014 , 8.9.2020.

MOJSISOWICS E.V., TIETZE, E., BITTNER, A., NEUMAYR, M., JOHN, C.V., (1880): Grundlinien der Geologie von Bosnien–Hercegovina, str. 182, 192, 261, 269–272, 341, 351–252, 440.

NIKOLIĆ, D., (1962): Berili Jugoslavije. Ref V sav. geol. SFRJ, dio 2, Beograd, str 11–12.

PAMIĆ, J. & BALEN, D., (2001): Tertiary magmatism of the adjoining South Pannonian Basin. Acta vulcanologica, Pisa–Roma, str. 9–24.

PAMIĆ, J. & JELASKA, V., (1975): Pojave vulkanogeno–sedimentnih tvorevina gornje krede i ofiolitnog melanža u sjevernoj Bosni i njihov značaj u geološkoj građi Unutrašnjih Dinarida. Drugi. god. znanstveni skup JAZU, 5, Zagreb, str. 109–117.

PAMIĆ, J. & LANPHERE, M.A., (1991): Alpine A–type granites from the collisional area of the northernmost Dinarides and Pannonian Basin. N. Jb. Mineral., Abh., str. 162, 215–236.

PAMIĆ, J. & PROHIĆ, E., (1989): Novi prilog petrološkom poznavanju aplinskih granitnih i metamorfnih stijena Motajice u sjevernim Dinaridima u Bosni. Geološki glasnik, knjiga XIII, Izd. Zav. za geol. istr. SR Crne Gore, Titograd, str. 145–176.

PAUL, K. M., (1872): Geologische Notiz aus Bosnien, Verhandl., 16, str. 323.

PILAR, DŽ., (1882): Geološka opažanja u Zapadnoj Bosni, Rad JAZU, Zagreb, str. 15.

PIRAJNO, F., (1992): Hydrothermal Mineral Deposits: Greisen Systems. Springer–Verlag Berlin Heidelberg.

RAMOVIĆ, M., (1976): Kaolin područja Motajice. In „Mineralne sirovine Bosne i Hercegovine“. Prvi tom, knj. II. Ležišta nemetala. Geoinženjering, Sarajevo, str. 419–428.

SANTHAROOBAN, S., MURALITHATAN, S. D., (2012): Acid soil and impacts in Sri Lanka. <https://www.slideshare.net/santharooban/acid-soil-and-impacts-in-sri-lanka> , 8.9.2020.

SCHMID, S.M., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, D., MATENCO, L., SCHUSTER, R., SCHEFER, S., TISCHLER, M., USTASZEWSKI, K., (2008): The Alpine–Carpathian–

Dinaridis orogenic system: Correlation and evolution of tectonic units, *Swiss J. Geosci.*, 101, str. 139–183.

STANGAČILOVIĆ, D., (1956): Motajički primarni kaolin. *Glas. prirod. muz. srp. zem.*, knjiga 7, svezak 1, Beograd.

STREKEISEN, A., (2006–2020): Greisen. <http://www.alexstrekeisen.it/english/pluto/greisen.php> , 8.9.2020.

ŠPARICA, M., JURIŠA, M., CRNKO, J., ŠIMUNIĆ, A., JOVANOVIĆ, Č. & ŽIVANOVIĆ, D. (1972): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Nova Kapela L33-108.- *Geol. zavod Zagreb & Institut za geologiju Sarajevo* (1972), Sav. geol. zavod, Beograd.

USTASZEWSKI, K., KOUNOV, A., SCHMID S.M., SCHALTEGGER U., KRENN E., FRANK, W., FÜGENSCHUH B., (2010.): Evolution of the Adria–Europe plate boundary in the northern Dinarides: From continent–continent collision to back–arc extension. *Tectonics*, 29, str. 1–24.

VARIČAK, D. (1966): Petrološka studija motajičkog granitskog masiva. Sarajevo: Geološki zavod.



KLASA: 602-04/20-01/66
URBROJ: 251-70-13-20-2
U Zagrebu, 10.09.2020.

Lucia Hergotić, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM: 602-04/20-01/66, UR. BROJ: 251-70-13-20-1 od 17.04.2020. godine priopćujemo temu završnog rada koja glasi:

MINERALOŠKA ANALIZA GRANITA I PRIPADAJUĆIH ALTERACIJA MOTAJICE, BOSNA I HERCEGOVINA

Za voditeljicu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o završnom ispitu dr. sc. Sibila Borojević Šoštarić, izvanredna profesorica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditeljica

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Sibila Borojević
Šoštarić

(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)