

# Mikrostrukturne i geokemijske karakteristike granitoidnih varijeteta duž potoka Srednja Rijeka (Moslavačka gora)

---

**Mureta, Lucian**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:387376>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-14**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Lucian Mureta

**Mikrostrukturne i geokemijske karakteristike  
granitoidnih varijeteta duž potoka Srednja rijeka  
(Moslavačka gora)**

Diplomski rad

Zagreb, 2020. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Lucian Mureta

**Mikrostrukturne i geokemijske karakteristike  
granitoidnih varijeteta duž potoka Srednja rijeka  
(Moslavačka gora)**

Diplomski rad  
predložen Geološkom odsjeku  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta  
Sveučilišta u Zagrebu  
radi stjecanja akademskog stupnja  
magistar geologije

Mentor:  
doc. dr. sc. Zorica Petrincec

Zagreb, 2020. godina.

## **Zahvaljujem se...**

**... doc. dr.sc. Zorici Petrinc** na odabiru teme, ustupljenim kemijskim analizama, susretljivosti te izdvajanju svog privatnog vremena i poslovnog vremena.

**... Dejanu Vončini** na pomoći i savjetima pri izradi mikroskopskih preparata u laboratoriju.

**... svim mojim kolegama i kolegicama** koji su mi tijekom fakultetskog obrazovanja pomagali i učinili neke trenutke nezaboravnim uspomenama za cijeli život.

**... osobito svojim roditeljima** koji su mi bili najveća podrška i bez kojih bi moje studiranje bilo kudikamo teže.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Diplomski rad

## Mikrostrukturne i geokemijske karakteristike granitoidnih varijeteta duž potoka Srednja rijeka (Moslavačka gora)

**Lucian Mureta**

**Rad je izrađen:** Minerološko-petrografski zavod, PMF, Sveučilište u Zagrebu, Horvátovac 95, 10000 Zagreb, Republika Hrvatska

### **Sažetak:**

Na mikroskopskim preparatima načinjenim iz devet uzoraka granitoidnih varijeteta uzetih duž potoka Srednja rijeka na Moslavačkoj gori promatrane su mikrostrukturne karakteristike, a cijelostijenskom analizom prikupljeni su osnovni geokemijski podaci. Iako se radi o intruzivnim magmatskim stijenama s tipičnim magmatskim strukturama, opažane su i one koje ukazuju na uvjete plastičnih deformacija (mehanizmi oporavka i mehanizmi redukcije štete) koje sugeriraju deformaciju u subsolidusnom stanju, uvjetima do otprilike 500°C, što odgovara facijesu zelenih škrljavaca. Na temelju geokemijskih pokazatelja stijene su klasificirane kao graniti do alkalijski graniti, potvrđen je pretežito peraluminozni karakter ( $A/CNK > 1.0$ ) i dominantna pripadnost S-tipu granita kao jednom od bitnih odrednica kristaline podloge Moslavačke gore. Određene su i temperature solidifikacije na temelju zasićenja magme cikonijem i pokazuju raspon od 600–850°C što odgovara dosadašnjim spoznajama o evoluciji kiselih plutonskih stijena Moslavačke gore.

**Ključne riječi:** graniti, S-tip granita, Moslavačka gora, Srednja rijeka

**Rad sadrži:** 59+VI stranica, 33 slike, 3 tablice, 41 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je pohranjen u:** Središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, PMF

**Mentor:** doc. dr. sc. Zorica Petrincec

**Ocjenjivači:** doc. dr. sc. Zorica Petrincec

prof. dr. sc. Dražen Balen

doc. dr. sc. Katarina Gobo

**Datum završnog ispita:** 20. veljače, 2020.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

Master thesis

### **Microstructural and geochemical characteristics of granitoid varieties along Srednja Rijeka creek (Moslavačka Gora)**

**Lucian Mureta**

**Thesis completed in:** at the Institute of Mineralogy and Petrology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 95, 10 000 Zagreb, Croatia.

#### **Abstract:**

On thin sections made from nine samples of granitoid varieties taken along the Srednja Rijeka stream on the Moslavačka Gora were observed microstructural characteristics and basic geochemical data were collected through whole-rock analysis. Although these are intrusive igneous rocks with typical igneous structures, they also indicate conditions of plastic deformation (recovery mechanisms and damage reduction mechanisms) suggesting deformation in the subsolidus state, conditions up to approximately 500°C, corresponding to the greenschist facies. Based on geochemical indicators, the rocks were classified as granites to alkali granites, confirmed predominantly peraluminous character ( $A / CNK > 1.0$ ) and the dominant affiliation with the S-type granite as one of the essential determinants of the crystalline substrate of the Moslavačka gora. Solidification temperatures based on zirconium saturation were also determined and showed a range of 600–850°C, which corresponds to the current knowledge about the evolution of acidic plutonic rocks of the Moslavačka gora.

**Keywords:** granite, S-type granite, Moslavačka gora, Srednja Rijeka

**Thesis contains:** 59+VI pages, 33 figures, 3 tables, 41 references

**Original in:** Croatian

**Thesis deposited in:** Central geological library, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 95, 10 000 Zagreb, Croatia.

**Supervisor:** doc. dr. sc. Zorica Petrinec

**Reviewers:** doc. dr. sc. Zorica Petrinec  
prof. dr. sc. Dražen Balen  
doc. dr. sc. Katarina Gobo

**Date of the final exam:** 20<sup>th</sup> of February, 2020

## Sadržaj

1.	<b>Uvod</b> .....	1
2.	<b>Smještaj, geologija i dosadašnja saznanja</b> .....	2
2.1.	Geografski položaj .....	2
2.2.	Geologija Moslavačke gore i obilježja lokaliteta .....	3
2.3.	Klasifikacija granitnih stijena .....	5
2.4.	Pregled dosadašnjih istraživanja .....	7
3.	<b>Materijali i metode istraživanja</b> .....	9
3.1.	Terenska istraživanja .....	9
3.2.	Izrada mikroskopskih preparata .....	9
3.3.	Osnovne mikrostrukturne karakteristike na mikroskopskim preparatima .....	10
3.4.	Metode geokemijskih istraživanja .....	12
3.4.1.	GeoChemical Data ToolKIT .....	13
3.4.2.	Geotermometrijske karakteristike .....	13
4.	<b>Rezultati</b> .....	15
4.1.	Makroskopski i mikroskopski opisi uzoraka .....	15
4.1.1.	Krupnozrnati uzorci (115a, 116a & 119a) .....	15
4.1.2.	Uzorci s većim udjelom biotita (118 & 120) .....	21
4.1.3.	Sitnozrnati dvotinjčasti uzorci (114, 113, 112 & 111) .....	24
4.2.	Cijelostijenska kemijska analiza .....	32
4.3.	Geokemijski dijagrami .....	35
4.4.	Geotektonski smještaj na temelju geokemijskih podataka .....	40
4.5.	Termometrija utemeljena na sadržaju cirkonija .....	45
5.	<b>Rasprava</b> .....	47
5.1.	Pregled mikrostrukture u uzorcima .....	47

---

5.2.	Interpretacija opaženih geokemijskih karakteristika .....	49
6.	<b>Zaključak</b> .....	52
7.	<b>Literatura</b> .....	54
8.	<b>Popis slika u tekstu</b> .....	57
9.	<b>Popis tablica u tekstu</b> .....	59



## 1. Uvod

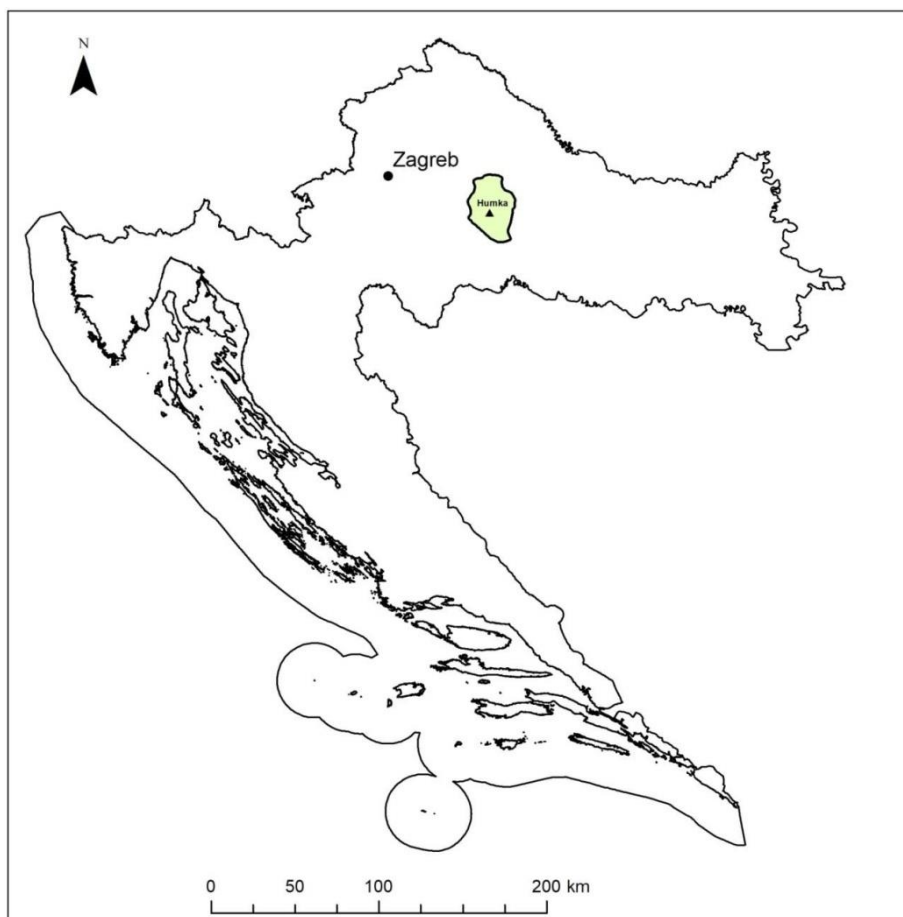
Moslavačka gora predstavlja otkriveni izdanak podloge koji obuhvaća područje od oko 180 km<sup>2</sup> u jugozapadnom dijelu Panonskog bazena. Sastoji se pretežno od S-tipa granitoidnih stijena okruženih migmatitima i metamorfnim stijenama srednjeg do visokog stupnja, točnije amfibolitnog i granulitnog facijesa. Geokronološki podaci ukazuju da je pluton sačinjen od intruzivnih magmatskih stijena gornjokredne starosti (npr. Pamić, 1990; Pamić et. al., 2002). Granitoidi su jedna od skupina plutonskih stijena te su, gledajući glavne minerale, sastavljeni pretežno od feldspata, kvarca i tinjaca, sa dodatkom sporednih i akcesornih minerala. S-tipovi granitoida koji sačinjavaju većinu granitoida Moslavačke gore nastali su kao rezultat parcijalnog taljenja ili pretaljivanja sedimentnih stijena. Zbog toga nalazimo visoke sadržaje silikatne i aluminozne komponentne odnosno povišene koncentracije ne-topljivih komponenti u stijeni, a smanjenog sadržaja mobilnih elemenata kao što su natrij i kalij (Chappell & White, 2001). Sve se to dovodi u vezu sa granitima na lokalitetu potoka Srednja rijeka smještenom na sjeverozapadnim obroncima Moslavačke gore koji pokazuju upravo spomenute vrijednosti koncentracija i važni su za istraživanja kako geodinamskih procesa tako i utvrđivanja faza nastanka samih granita što nam može pomoći u daljnim interpretacijama u kontekstu nastanka same Moslavačke gore.

U okviru diplomskog rada obrađeno je devet uzoraka sa devet lokaliteta duž potoka Srednja rijeka te je rad imao za cilj na temelju mikrostrukturne i geokemijske obrade prikupljenih makroskopski raznolikih granitoidnih varijeteta napraviti pregled mikrostrukturnih, mineraloških i geokemijskih podataka te dati uvid u detalje genetskih i evolucijskih procesa granitoidnih stijena središnjeg do zapadnog ruba moslavačkog plutonskog tijela. Sva istraživanja provedena su na Mineraloško-petrografskom zavodu Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

## 2. Smještaj, geologija i dosadašnja saznanja

### 2.1. Geografski položaj

Moslavačka gora nalazi se u središnjoj Hrvatskoj u jugozapadnom dijelu Panonskog bazena na udaljenosti od oko 50-ak kilometara istočno od Zagreba (slika 1). Smještena je između dolina rijeka Drave i Save, točnije razdvaja je granica Bjelovarsko-bilogorske te Sisačko-moslavačke županije. Djeluje kao izolirana gora u odnosu na ostale obližnje slavonske „planine“ - Papuk, Dilj goru, Požešku goru, Krndiju i Psunj koje su smještene istočnije. Najviši vrh je Humka nadmorske visine 488 m, dok cjelokupna površina gore iznosi oko 180 km<sup>2</sup>.



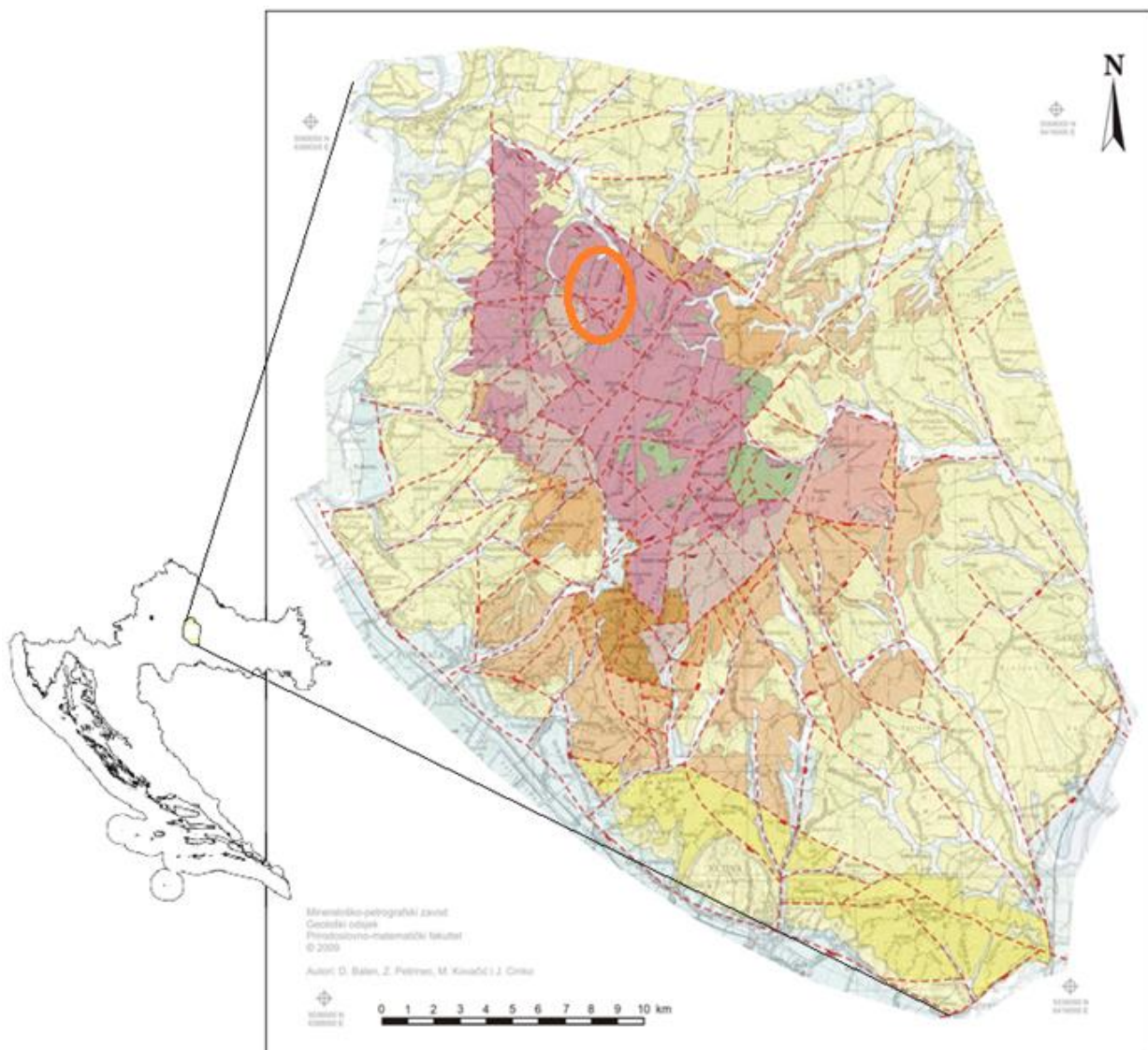
**Slika 1.** Smještaj Moslavačke gore unutar geografskih granica Republike Hrvatske (preuzeto iz Mesić, 2018).

## 2.2. Geologija Moslavačke gore i obilježja lokaliteta

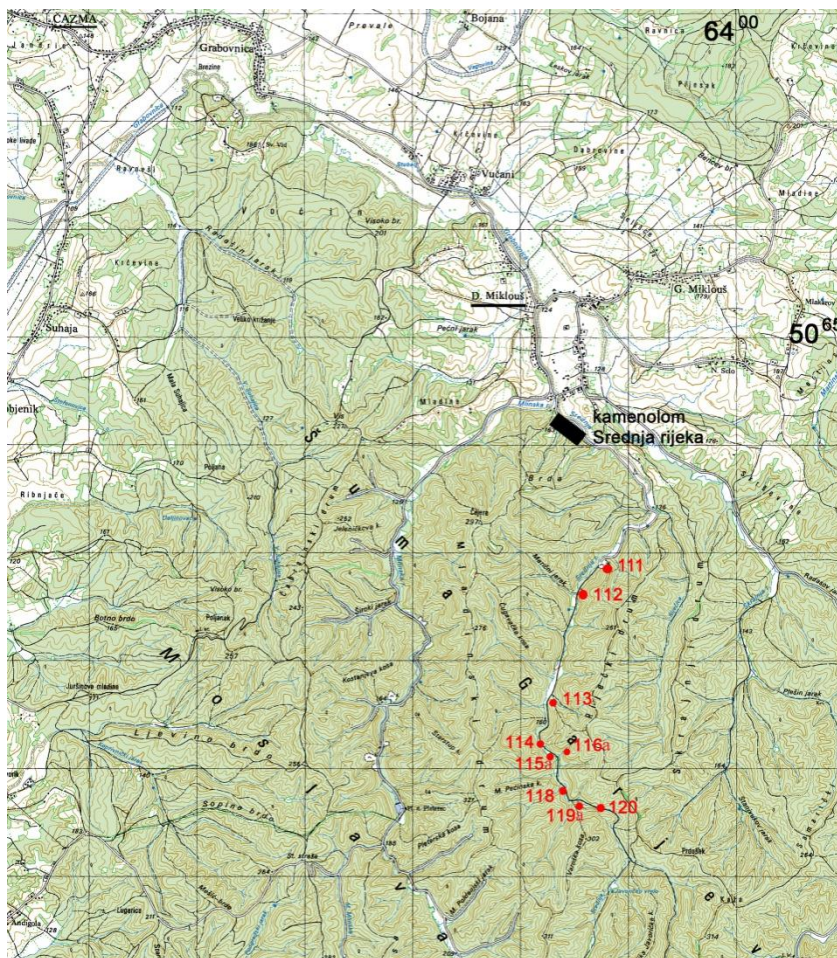
Glavni trup Moslavačke gore je formiran uzdizanjem i stvaranjem kompaktnog granitnog plutonskog tijela tijekom alpinske orogeneze u doba gornje krede. Uz granitne stijene koje čine glavninu masu cjelokupne gore, fragmentirani ostaci metamorfnog kompleksa, najčešće u vidu paragnajseva, migmatita, amfibolita, amfibolskih škriljavaca, biotit-amfibolskih škriljavaca, mramora itd. mogu se naći kao razoreni dijelovi starijeg kompleksa koji su tijekom orogeneze uklopljeni poput malih zona i blokova ponegdje redova veličina do heksametarskih dimenzija. Važno je za napomenuti da je postojanje takvih zona u južnim dijelovima Moslavačke gore Pamić (1990) naveo kao jedan od značajnijih pokazatelja odnosa granitoida i starijeg metamorfnog kompleksa. Uz magmatske i metamorfne stijene, sedimentne stijene su također prisutne, međutim u manjim postocima i to naročito na rubovima gore, a najčešći tipovi su prapor i les, te vapnenac na južnim obroncima (Tućan, 1953). Ukoliko se zadržimo na kristalnim stijenama, tada ih prema Pamiću (1990) možemo podijeliti na: 1) regionalno metamorfozirane stijene amfibolitnog i facijesa zelenog škriljavca, uključujući hornfelse i skarnove; 2) migmatite i 3) granitoide sa manje zastupljenim neutralnim i bazičnim stijenama. Sami granitoidni pluton rasprostire se na oko 110 km<sup>2</sup> izložene površine gdje takve stijene pokazuju jaki peraluminozni karakter  $A/CNK > 1.1$  te vrijednosti  $Na_2O < 3.2$  tež.% i  $K_2O$  oko 5 tež.%. Također, primjetni su u velikom broju slučajeva i dvotinčasti graniti gdje je u najvećoj mjeri prisutan biotit (npr. Balen & Broska, 2010, Balen & Petrinc, 2011). Gledajući nastanak granitoidnog tijela prema Balen & Broska (2010), on se odvijao na temperaturama između 720–730°C i tlakovima 70–270 MPa odnosno na dubinama od oko 5 km, kada je najvjerojatnije magma iz plutonskog tijela „pobjegla“ prema površini uslijed tektonski ekstenzijskih poremećaja.

Lokalitet Srednja rijeka nalazi se u sjevernim dijelovima masiva (slika 2) i to je zapravo potok koji izvire u središnjem predjelu gore i teče prema prema sjeveru gdje se spaja sa Mlinskom rijekom i dalje se spaja s riječicom imena Grabovnica (slika 3) koja se naposljetku ulijeva u rijeku Česmu. Potok Srednja rijeka prožet je granitoidima svojom dužinom te su u blizini tog potoka operativni kamenolomi pogodni za eksploataciju sirovina, uz znanstveno značajne pojave silimanita i andaluzita kao pogodnih minerala za interpretaciju metamorfnih facijesa, no potonji minerali su općenito slabo zastupljeni na

sjevernim obroncima gore. Istraživani su i leukograniti lokaliteta Srednje rijeke (Garašić et al., 2007) i pokazuju da su zapravo vrlo peraluminozni ( $A/CNK > 1.25$ ), visokog udjela  $SiO_2$  komponente i niske  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $CaO$  i  $TiO_2$ . Dodatno, leukograniti pokazuju niske koncentracije Zr i REE te imaju negativnu europijevu anomaliju, a cjelokupna mineralna parageneza i kemijski pečat ukazuju na taljenje kontinentalne kore u kolizijskom ambijentu.



**Slika 2.** Geološka karta Moslavačke gore i lokalitet Srednja rijeka (narančasto) u okvirima Republike Hrvatske.



**Slika 3.** Isječak topografske karte M 1:25 000 koji obuhvaća središnje i sjeverne dijelove Moslavačke gore. Označen je kamenolom Srednja rijeka (crno) te lokaliteti uzorkovanja granitoidnih varijeteta duž potoka Srednja rijeka (crveno).

### 2.3. Klasifikacija granitnih stijena

Kada govorimo o granitima, možemo se podsjetiti da se granit klasificira kao kisela magmatska intruzivna stijena što znači da sadrži više od 63 tež.%  $\text{SiO}_2$  komponente. Općenito ju odlikuje masivna homogena tekstura i zrnata struktura. Najčešće se mineralni sastav sastoji od kvarca, feldspata (alkalijski feldspati i/ili plagioklasi) i tinjaca (tamniji npr. biotit, svjetliji npr. muskovit) te dijelom u manjoj mjeri mogu biti zastupljeniji i amfiboli, od kojih je najčešće prisutna hornblenda.

Pojavljivanje granita najčešće se vezuje za kontinentalnu koru (rjeđe u područjima oceanske kore), i to pretežito uz batolite (magmaška intruzivna tijela dimenzija  $>10 \text{ km}^3$ ),

makar se mogu javljati i u manjim intruzivnim tijelima. Graniti nastaju kristalizacijom felsične (silicijem bogate) magme koja se pritom odvaja od „lakše“ mafične magme procesima frakcionacije pa se sporim hlađenjem felsična magma kristalizira i tvori najzastupljeniju plutonsku stijenu.

Od kada je granit opisan kao stijena, čitav niz podjela naknadno je dat kako bi se sistematiziralo podrijetlo i karakteristike, od kojih su samo neke u ovisnosti o: geokemiji glavnih elemenata (npr. peraluminozni: sadržaj  $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$ , metaluminozni:  $\text{Al}_2\text{O}_3 < \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  i peralkalni:  $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ) i elemenata u tragovima, općem geotektonskom položaju, mineraloškim odrednicama, vremenu geneze itd., od kojih je jedna od najzastupljenih podjela prvospomenuta, dakle prema udjelu makroelemenata, a govori nam i o podrijetlu samog materijala iz kojeg je magma nastala (tablica 1). Tako se generalno mogu izdvojiti različiti tipovi granita, čiji kratki opis slijedi u nastavku. Graniti A-tipa su vezani uz divergentne granice tj. riftne zone i karakterizira ih vrlo niski sadržaj vode i nedostatak tektonskog strukturno-teksturnog sklopa stijene, na što upućuje i slovo A u nazivu tog granita: anorogeni i bezvodni (eng. *anhydrous*). Slijedeće po čemu se mogu prepoznati A-graniti su visok udio  $\text{SiO}_2$  komponente i povećani udjel alkalija. Za razliku od njih, graniti I-tipa potječu od magmatskih stijena koje se nalaze pretežno oko subdukcijskih zona i vezuju se uz ultrametamorfizam. Treći graniti, oni S-tipa također se mogu dovesti u vezu sa subdukcijom jer nastaju prilikom stvaranja orogena pretaljivanjem već postojećih sedimentnih stijena, a od karakteristika odlikuje ih velika količina mafične komponente. Postoji još i granit M-tipa, čija je bitna karakteristika da njegov materijal vuče podrijetlo iz plašta. (Chappell & White, 1974; Whalen et al., 1987).

**Tablica 1.** Klasifikacija tipova granita prema izvorišnom materijalu i njegovih bitnih karakteristika. Podaci preuzeti iz Clarke (1992) i Chappell & White (1983).

Tip	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	A/(C+N+K)*	Petrogeneza
<b>M</b>	46-70%	nizak	nizak	Subdukcijska zona ili unutar oceanske ploče  Podrijetlo iz plašta
<b>I</b>	53-76%	nizak	nizak: metaluminozni do peraluminozni	Subdukcijska zona ili unutar kore Mafični do neutralni magmatski izvor
<b>S</b>	65-74%	visok	Visok metaluminozni do peraluminozni	Subdukcijska zona Sedimentni materijal kore
<b>A</b>	Više od 77%	Visok Na <sub>2</sub> O	Peraluminozni	Anorogenski stabilni kraton Riftna zona

\* molarni  $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$

#### 2.4. Pregled dosadašnjih istraživanja

Moslavačka gora spominje se u geološkoj znanstvenoj zajednici prvi puta u preglednoj geološkoj karti istraživača Wolfa (1862) gdje se granit nalazi kao jedna od stijena same jezgre. Kišpatić (1889) daje nam uvid u granit kao jedan od glavnih konstituenata kristalinskog stupa same gore uz amfibolit, gnajs, tinjčev škriljavac i olivinski gabro. Navodi se andaluzitni granit i običan granit kao podjela unutar same stijene te je pomoću kemijske analize izdvojio i kemijski sastav andaluzitnog granita.

Koch (1899) u svom *Prilogu geoložkom poznavanju Moslavačke gore* studiozno opisuje sedimentne, metamorfne i magmatske stijene koje sačinjavaju Moslavačku goru i navodi granit kao jezgru. Po njemu se Moslavačka gora razlikuje od ostalih „slavonskih planina“ jer predstavlja ostatak „orijentalnog kopna“ i navodi da su metamorfiti i graniti zapravo arhajske starosti. Granit je po njegovim opisima sitnozrnat, najčešće tamnije ili

svjetlije sive boje i na većini nalazišta dosta rastrošen te po udjelu prednjači u zapadnim dijelovima gore.

U radu Pamić et al. (1984) obuhvaćene su detaljnije petrografske karakteristike zapadnomoslavačkih granita i prikazani rezultati normativnog CIPW sastava te sadržaja makro- i mikroelemenata, sve u cilju objašnjenja teorije o postanku Moslavačke gore i njenog smještaja u kontekst regionalne geologije.

Pamić (1990) u svom radu na detaljan način pokazuje rezultate, potkrijepljene radiometrijskim datiranjem da granitoide, migmatite i ostale stijene metamorfnog tipa Moslavačke gore možemo uvrstiti i dovesti u vezu s podlogom Panonskog bazena i alpinskim orogenetskim ciklusom.

Palinkaš et al. (2000) prikazuju rezultate radiometrijskog datiranja Ar/Ar metodom i karakteristike fluidnih inkluzija muskovita iz pegmatita na lokalitetu kamenoloma Srednja rijeka unutar granitoida te zapravo potvrđuju starost već spomenutog muskovita utvrđenu u prethodnim radovima na gornju kredu, samo ovaj put daju egzaktniju vrijednost od  $73.2 \pm 0.8$  mil. god.

Starijaš et al. (2010) prema dobivenim geokronološkim podacima uviđaju kako se Moslavački masiv sastoji od krednih S-tipova granita umetnutih u kredne niskotlačne, no visokotemperaturne (LP/HT) metamorfne facijese, što slijedi razmišljanja Pamića (1990), i drugih autora (npr. Balen, 1999). Starost metamorfizma dobivena je metodom datiranja monacita elektronskom mikroskopom i odgovara rasponu od otprilike 90 i 100 milijuna godina. Tzv. centralni granit datiran je na  $82 \pm 1$  milijuna godina (datiranjem cirkona) dok je cirkonom datiran i izvorni magmatski kompleks koji je bio naknadnim metamorfnim procesima izmjenjen najvjerojatnije također tijekom krede, a nastao je na približno  $486 \pm 6$ ,  $483 \pm 6$ , i  $491 \pm 1$  milijuna godina i predstavlja ranu ordovidijsku granitnu seriju. Kredni regionalni metamorfizam koji je ostavio pečat na starijem magmatsko-metamorfnom kompleksu kulminirao je u gornjem amfibolitnom do granulitnom facijesu na temperaturi oko  $750^\circ\text{C}$  i tlakovima od 3–4 kbar, utvrđenim u raznim metamorfnim litologijama.



### 3. Materijali i metode istraživanja

#### 3.1. Terenska istraživanja

Za potrebe istraživanja odabrano je devet uzoraka prikupljenih sa devet lokaliteta duž potoka Srednja rijeka na Moslavačkoj gori. Izdanci se nalaze u kamenolomu Srednja rijeka te uz bok istoimenog potoka gdje su graniti i njemu slične stijene po teksturi i strukturi pogodne za pružanje odgovora na pitanja vezana za nastanak i geologiju cjelokupnog prostora.

#### 3.2. Izrada mikroskopskih preparata

Pri izradi mikroskopskih izbrusaka korišteni su uzorci 111, 112, 113, 114, 115a, 116a, 118, 119a, 120 te je korištena ista metoda izrade za sve spomenute preparate. Preparati su načinjeni u laboratoriju Mineraloško-petrografskog zavoda Geološkog odsjeka na Prirodoslovno - matematičkom fakultetu.

Krenulo se s pripremom uzorka tako što se dijamantnom pilom napravila pločica debljine 0,4 cm. Potom se pločica smanjuje na veličinu predmetnog stakalca, jedna strana se polira i njena se površina lijepi kanada-balzomom na stakalce. Nakon toga pločica se stanjuje preko rotirajuće ploče i praha granulacije 90, pa abrazivnim prahovima različitih granulacija, najprije 240 zatim 500 ručnom doradom na staklima, da se naposljetku dobije mikroskopski preparat prosječne debljine 30  $\mu\text{m}$  pogodan za mikroskopska istraživanja. Svi uzorci obrađeni su na opisani način.

Polarizacijski mikroskop koristio se za utvrđivanje prisutnih mineralnih faza, tekstura i struktura promatranog prepata te pogodnosti materijala za geokemijska ispitivanja.

### 3.3. Osnovne mikrostrukturne karakteristike na mikroskopskim preparatima

Osim mineralnog sastava, u mikroskopskim preparatima moguće je često definirati mnogo mikrostrukture koje nastaju prilikom kristalizacije, metamorfizma (progradnog ili retrogradnog) ili deformacijskih procesa, a tvore specifične strukture koje mogu ukazivati na temperaturu, tlak i okoliš nastanka, a sve je to omogućeno promatranjem mineralnih faza koje sačinjavaju izbrusak. Različite mineralne faze ne pokazuju istovjetne mikrostrukture pri istoj temperaturi, tlaku i dubini unutar kore jer su uvjetovane drugačijim rasporedom atoma unutar kristalne strukture što za posljedicu naravno ima nastanak različitih mikrostrukture.

Kod granitnih stijena, minerali koji čine najveći postotak zastupljenosti su kvarc, feldspati (alkalijski feldspati i/ili plagioklasi) te grupa tinjaca. Kvarc koji se predstavlja kao rezistentan mineral, kristalizira zadnji u Bowenovom reakcijskom nizu dok pri djelovanju povišene temperature i tlaka nakon kristalizacije pokazuje vrlo rano znakove poremećenosti kristalne strukture, a ogleda se u raznim mikrostrukturama koje se stvaraju da bi se ravnoteža unutar sustava dovela u red. Feldspati doduše stvaraju mikrostrukture na većim tlakovima i temperaturama te pokazuju gotovo iste mikrostrukture kao i kvarc. Grupa tinjaca, od kojih su najpoznatiji biotit i muskovit, koji se često pojavljuju u granitnom izbrusku, tvore mikrostrukture na većim temperaturama i tlakovima od minerala feldspata, dok se na nižima ponašaju bitno različitije od spomenutih leukokratskih faza zbog velike međusobne razlike u njihovim strukturama.

Od mikrostrukture koje se mogu opažati često i u granitoidnim stijenama najznačajnije je možda undulozno potamnjenje kao mehanizam redukcije štete prilikom plastične deformacije, a predstavlja strukturu oporavka i u preparatu se odražava tako što rotiranjem mikroskopskog stolića unutar cjelovitog većeg zrna dijelovi poprimaju drugačiju interferencijsku boju u odnosu na susjedna područja istog zrna. Ako se mineral plastično deformira dislokacijskim procesima bez oporavka, naprezanje se povećava, uzrokujući iskrivljenje kristalne rešetke. Javlja se najčešće na zrnima kvarca pri temperaturi od 300–400°C (Stipp et al., 2002), dok je na mineralima feldspata u manjem udjelu i primjećuje se tek od 400–500°C (Pryer, 1993). Osim unduloznog potamnjenja, sljedeći mehanizam oporavka zrna je stvaranje podzrna, a mogu nastati kada u poremećenoj kristalnoj rešetci prilikom oporavka dolazi do grupiranja dislokacija u

određene pravilne mreže, a biti će jasno vidljive kao stjenke ili granice podzrna koja će odvajati dva dijela mineralnog zrna budući da su rotirala jedno u odnosu na drugo (Shigematsu, 1999).

Sljedeći važan mehanizam redukcije štete je dinamička rekristalizacija koja bi se mogla definirati kao reorganizacija neke tvari s promjenom veličine zrna, njihovog oblika i orijentacije unutar područja istog minerala te tako nastaju nova manja zrna koja nadomještaju stara prilikom deformacije u ovisnosti o temperaturi i naprezanju. Stoga, postoje tri mehanizma rekristalizacije (Passchier & Trouw, 2005), počevši od nižetemperaturnih: prvi je mehanizam ispupčenja (eng. *bulging*) koji se najčešće pojavljuje duž granica starih zrna i na trostrukim sjecištima mineralnih zrna. Nastaje kada granica zrna stabilnije strukture napravi ispupčenje u nestabilnom susjednom zrnju s visokom gustoćom dislokacija, a pojava je lokalnog karaktera na granici dvaju zrna. Drugi mehanizam, rotacija podzrna je proces rekristalizacije gdje se dislokacije postepeno dodaju granicama zrna te traje sve dok kut između dviju susjednih kristalnih rešetki ne postane toliko velik da se susjedna podzrna ne mogu smatrati dijelom istog glavnog zrna, a javlja se na temperaturama od otprilike 400-600°C. Prva dva mehanizma se najčešće mogu naći u metamorfnom facijesu zelenog facijesa čija je temperatura u rasponu između 300-500°C i relativno niskih tlakova uspoređujući ga sa ostalim facijesima, s vrijednošću otprilike 3-4 kbar. Treći mehanizam, migracija granica zrna (eng. *grain boundary migration*) može se javiti na relativno visokim temperaturama (450°C - 800°C) gdje mobilnost granica zrna doseže razmjere da može lako prolaziti kroz cijeli kristal uklanjajući postojeće dislokacije pa granice zrna mogu poprimiti lepezasti do ameboidalni oblik.

Nakon jenjavanja deformacijskih procesa u pravilu se događa postupno slabljenje deformacije i dolazi do postdeformacijskog modificiranja tj. do pojave redukcije zrnskih graničnih područja (eng. *grain boundary area reduction*, GBAR), a rezultira rastom zrna i izravnavanjem njihovih granica. Zbiva se smanjenje ukupne granične površine zrna u stijeni te se posljedično smanjuje unutrašnja energija zrna. Kontakti među zrnima težiti će uspostavljanju kuteva od 120°. GBAR se odvija već i prilikom deformacije, međutim njegov efekt biva uočljiviji tek nakon prestanka deformacije, posebice pri visokim temperaturama (Bons & Urai, 1992).

### 3.4. Metode geokemijskih istraživanja

Uzorci granitoidnih stijena sa lokaliteta duž Srednje rijeke bili su podvrgnuti cjelostijenskoj kemijskoj analizi u svrhu određivanja geokemijskih karakteristika te utvrđivanja vrijednosti temperatura zasićenja cirkonijem uzorkovanih stijena. Pri određivanju kemijskog sastava koristile su se dvije metode:

1. metoda masene spektrometrije induktivno spregnutom plazmom (ICP-MS, eng. *inductively coupled plasma – mass spectrometry*), a služi za davanje podataka o elementima u tragovima te
2. metoda atomske emisijske spektrometrije induktivno spregnute plazme (ICP-AES, eng. *inductively coupled plasma – atomic emission spectrometry*), a prikuplja informacije o glavnim elementima u uzorku.

Induktivno spregnuta plazma masene spektrometrije (ICP-MS) se zapravo definira kao vrsta masene spektrometrije koja ionizira uzorak pomoću induktivno spregnute plazme, a nastaje elektromagnetskom indukcijom. Tako podvrgnut uzorak stvara atomske i male poliatomske ione, koji se potom detektiraju. Koristi se zbog iznimne sposobnosti otkrivanja metala i nekoliko nemetala u tekućim uzorcima u vrlo malim koncentracijama te može otkriti različite izotope istog elementa (Thomas, 2001).

Induktivno spregnuta plazma-atomska emisijska spektroskopija (ICP-AES). To je vrsta emisijske spektroskopije koja koristi induktivno spregnutu plazmu za proizvodnju pobuđenih atoma i iona koji emitiraju elektromagnetsko zračenje valnih duljina karakterističnih za određeni element. To je plamena tehnika s temperaturom plamena u rasponu od 6000 do 10 000 K. Intenzitet ove emisije indikativan je za koncentraciju elementa unutar uzorka (Rezaaiyaan et al., 1982).

Dobiveni su rezultati glavnih elemenata i to redom: Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, P, Mn i Cr, dok je elemenata u tragovima dobiveno 46, abecednim slijedom: Ag, As, Au, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Hg, Ho, La, Lu, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr.

### 3.4.1. GeoChemical Data ToolKIT

GCDkit je program za obradu i preračunavanje cjelostijenskih analiza, prvenstveno iz magmatskih stijena. Pomoću GCDkita mogu se učitati podaci, pojedinačne analize grupirane u koherentne skupine ili pretraživati prema različitim kriterijima. Podaci se mogu ucrtati u uobičajene klasifikacijske dijagrame (npr. Harkerovi dijagrami, razni klasifikacijski kao što su TAS, AFM,  $R_1$ - $R_2$ ) kao i u razne druge (binarne i ternarne dijagrame, višestruke i multielementne dijagrame). Nadalje, mogu služiti i za dobivanje opisnih statistika, *boxplota*, histograma, glavnih komponenata i analiza klastera. Sustav se lako proširuje pomoću dijagrama koji su definirani od strane korisnika ili takozvanih dodataka koji pružaju jednostavnu metodu dodavanja novih predmeta u izbornike GCDkita (Janousek et al., 2019).

### 3.4.2. Geotermometrijske karakteristike

Mnoge granitne intruzije omogućuju određivanje temperature kristalizacije putem definiranja mineralne ravnoteže što nam može pružiti razumijevanje toplinske evolucije plutonskih i vulkanskih stijena. Međutim, informacije o toplinskoj evoluciji najčešće su ograničene zbog „overprinta“ mlađih događaja ili izbrisane hidrotermalnim izmjenama ili metamorfizmom. U tom pogledu, od velike vrijednosti pokazalo se korištenje elemenata u tragovima (npr. cirkonija, titanija) u mineralima poput cirkona, biotita i kvarca tj. njihovog udjela za procjenu temperature te toplinske evolucije intermedijarnih do silikatnih magmatskih stijena iz razloga što su vrlo rezistentni na visoke temperature u taljevinama (Watson et al., 2006).

Metoda određivanja temperature zasićenja cirkonijem temelji se na izračunima Watsona & Harrisona (1983) gdje su određene temperature kristalizacije same stijene. Uspostavljena je veza između udjela cirkonija u cirkonu s temperaturom kristalizacije u sljedećoj formuli:

$$D(\text{Zr})^{\text{cirkon/taljevina}} = (-3,80 - (0,85 \cdot (M - 1))) + \frac{12900}{T(K)}$$

tj., za izračun temperature u °C slijedi formula:

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{12900}{D+3,8+0,85 \cdot (M-1)} - 273$$

Pri čemu je  $D(\text{Zr})^{\text{cirkon/taljevina}}$  omjer koncentracije cirkonija u cirkonu naprema koncentraciji u taljevini, dok je  $M$  kationski omjer definiran kao:

$$M = \frac{Na+K+2Ca}{Al*Si}$$

gdje vrijednost  $M$  treba biti unutar intervala 0,9–1,7.

Ovaj se termometar prilično učestalo primjenjuje u granitoidnim intruzijama, stoga će isti biti korišten i ovdje za uvid u termalnu evoluciju promatranog dijela moslavačkog intruzivnog tijela.

## 4. Rezultati

### 4.1. Makroskopski i mikroskopski opisi uzoraka

S obzirom da se radi o slijedu prostorno blisko povezanih uzoraka vrlo sličnih mineraloških i strukturno-teksturnih karakteristika, radi jednostavnosti i razumljivosti prikaza rezultata oni su grupirani u nekoliko skupina. Za svaku od njih slijedi kratki makroskopski i mikroskopski pregled na temelju dominantnih zajedničkih obilježja.

#### 4.1.1. Krupnozrnati uzorci (115a, 116a & 119a)

Na slici 4 je prikazan uzorak stijene terenske oznake 115a, klasificiran kao sitnozrnati granit i homogene teksture te prikazuje zrnatu strukturu. Na stijeni se jasno vide leukokratski i mafični minerali tj. svjetlija i tamnija mineralna zrna kao glavni konstituenti stijene. Od svjetlijih minerala prisutni su kvarc i feldspat dok su od tamnijih nazočni samo tinjci, barem onako kako se mogu uočiti iskustveno i golim okom. Mineralna zrna ne premašuju veličinu od 3 mm. Uzorak je na dodir pomalo praškast što znači da je bio izložen alteracijskim promjenama koje su narušile originalne karakteristike strukturno-teksturnog sklopa i pojedinih mineralnih vrsta.

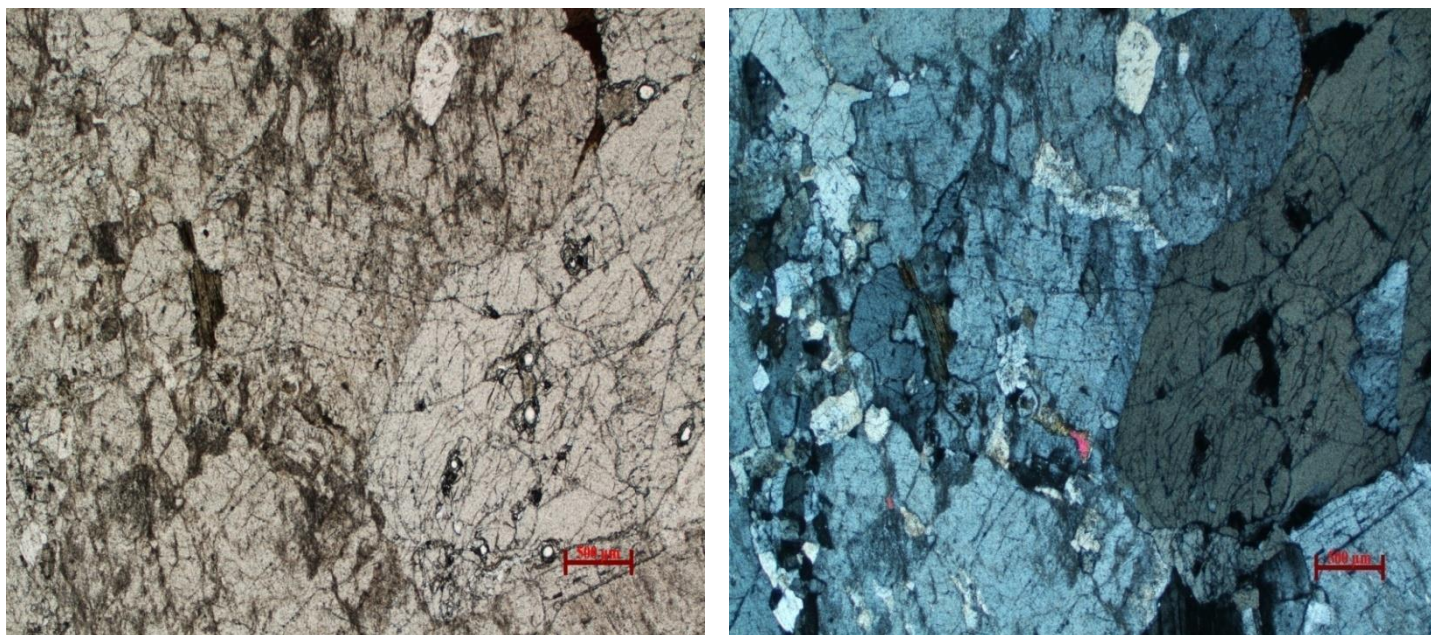


**Slika 4.** Makroskopski izgled krupnozrnatog uzorka stijene 115a. Od svjetlih faza dominiraju kvarc i feldspati, dok tamna zrna pripadaju biotitu.

U mikroskopskom preparatu uzorka 115a (slika 5) pokazuje se mineralni sastav sa slijedećim postotnim volumnim udjelima minerala: kvarc (~50 %), kalijski feldspat, (ortoklas ~ 47 %) te od predstavnika tinjaca jedino prikazani muskovit od (~3%). Budući da je mikroskopski preparat izrađen od krupnozrnate, možemo reći gotovo pegmatitne stijene, mineralne faze bivaju uočljivo veće od prethodnih gdje su pokoja zrna u izbrusku dimenzija oko 0,5 cm. Naravno, uz povećana mineralna zrna preparat sadrži i manja mineralna zrna pretežno sačinjena od kvarca. Feldspati su razvijeni u hipidiomorfnim do alotriomorfnim zrnima dok je kvarc razvijen samo u alotriomorfnim zrnima. Muskovit se pokazuje u hipidiomorfnom do alotriomorfnom razvijenim zrnima koji su u dvodimenzionalnim presjecima izduženog do nepravilnog oblika.

Gledano sa mikrostrukturnog aspekta, mogu se pobliže opisati karakteristike pojedinih mineralnih vrsta koje su nastale uslijed tipičnih magmatskih procesa, ali moguće i kasnijih (subsolidusnih) procesa modifikacije izvorne strukture. Možda se najviše „nepravilnosti“ može primjetiti na zrnima kvarca. Njihov alotriomorfan, gotovo kuglast izgled prvestveno je posljedica kristalizacije tog minerala kao posljednjeg u slijedu, kao što je već ranije spomenuto. No, mjestimično se mogu opaziti i strukture poput podzrna te njihove rotacije unutar većih zrna spomenutog minerala što bi upućivalo na naknadne subsolidusne izmjene u uvjetima facijesa zelenog škriljavca. Kontakti među zrnima na pojedinim mjestima teže uspostavljanju granica sa trostrukim sjecištima dakle, sa kutevima od  $120^\circ$  što može biti izravna posljedica magmatske kristalizacije, ali bi se moglo ponekad raditi i o procesima redukcije granica zrnskih područja, kao mehanizmu oporavka subsolidusno izmijenjene originalne strukture, koja bi se mogla pak ovdje možda opisati kao da je u samom začetku i jedva primjetna.





**Slika 5.** Mikroskopski snimci uzorka 115a (N-, N+) sa mikrostrukturama vezanim dominantno uz kvarc. Mjerilo 500 $\mu$ m.

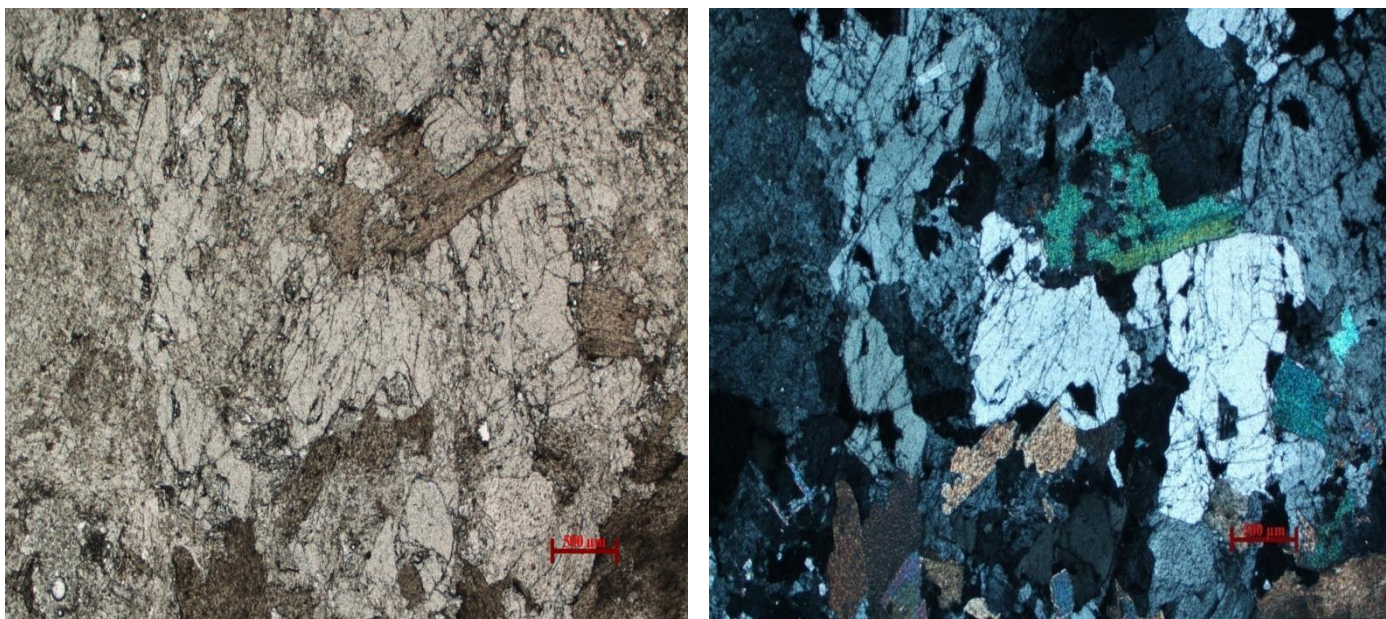
Uzorci također krupnozrnate stijene oznake 116a (slika 6) vrlo su slični prijašnjima i pokazuju centimetarska mineralna zrna tipična za pegmatite. Kvarc i feldspat kao golim okom vidljivi minerali pokazuju centimeterske veličine te odudaraju dimenzijama od jedinog mafičnog minerala, tinjca biotita, reda veličine par milimetara. Uzorci također posjeduju homogenu teksturu i zrnatu strukturu dočim ploha uzorka koji markira nekadašnji terenski kontakt sa sitnije zrnatim granitom oslikava izrazitu izmijenjenost uzrokovanu vanjskim čimbenicima.



**Slika 6.** Makroskopski uzorci 116a s mjerilom. Dominiraju kvarc (sivkasto) i feldspati (bijelo).

Mikroskopski preparat uzorka 116a (slika 7) sačinjavaju mineralna zrna kvarca, kalijskog feldspata, biotita i muskovita. U uzorku je volumno dominantan kvarc u postotnom udjelu od ~50 %, potom slijedi kalijski feldspat (ortoklas ~ 40 %) dok ostalih 10% pripada skupini tinjaca i to u neznatno većem postotku od svega 2 % je muskovit zastupljeniji od biotita za razliku od prethodnih preparata. Minerali ortoklasa razvijeni su u hipidiomorfnim do alotriomorfnim zrnima i razlikuju se po većim zrnima u odnosu na kvarc koji je razvijen u alotriomorfnim zrnima. Biotit se odlikuje hipidiomorfno razvijenim zrnima i pokazuje blagi pleokroizam. Muskovit je razvijen također u obliku hipidiomorfnih zrna i prikazani su različitim dimenzijama unutar uzorka.

Mikrostrukture koje se zamjećuju u uzorku prikazane su i na priloženim mikroskopskim snimcima, krećući od niskotemperaturnih mogu se opisati prvo undulozno potamnjenje zrna kvarca u gornjem desnom uglu slike i mjestimično jedva primjetno undulozno potamnjenje kalijskog feldspata, zatim od procesa koji upućuju na povišenje temperature, mijenjanje samih kristalnih rešetki unutar mineralnih zrna i modifikacije njihovih granica. Na mnogo se mjesta može primjetiti stvaranje podzrna, posljedično tome i rotacija podzrna gdje se potonja razvija na ipak većoj temperature od stvaranja podzrna. Što se tiče minerala grupe tinjaca, zrna muskovita uvelike izgledaju izmijenjeno, dok se na sredini preparata primjećuje i slično zrno biotita. Moguće je također odrediti, imajući u vidu promatrane strukture koje se opažaju dominantno na kvarcu da se uzorak nalazio ili prošao facijes zelenog škriljavca.



**Slika 7.** Mikroskopski snimak uzorka 116a (N-, N+) sa unduloznim potamnjenjem koje se opaža na zrnima kvarca. Mjerilo 500  $\mu\text{m}$

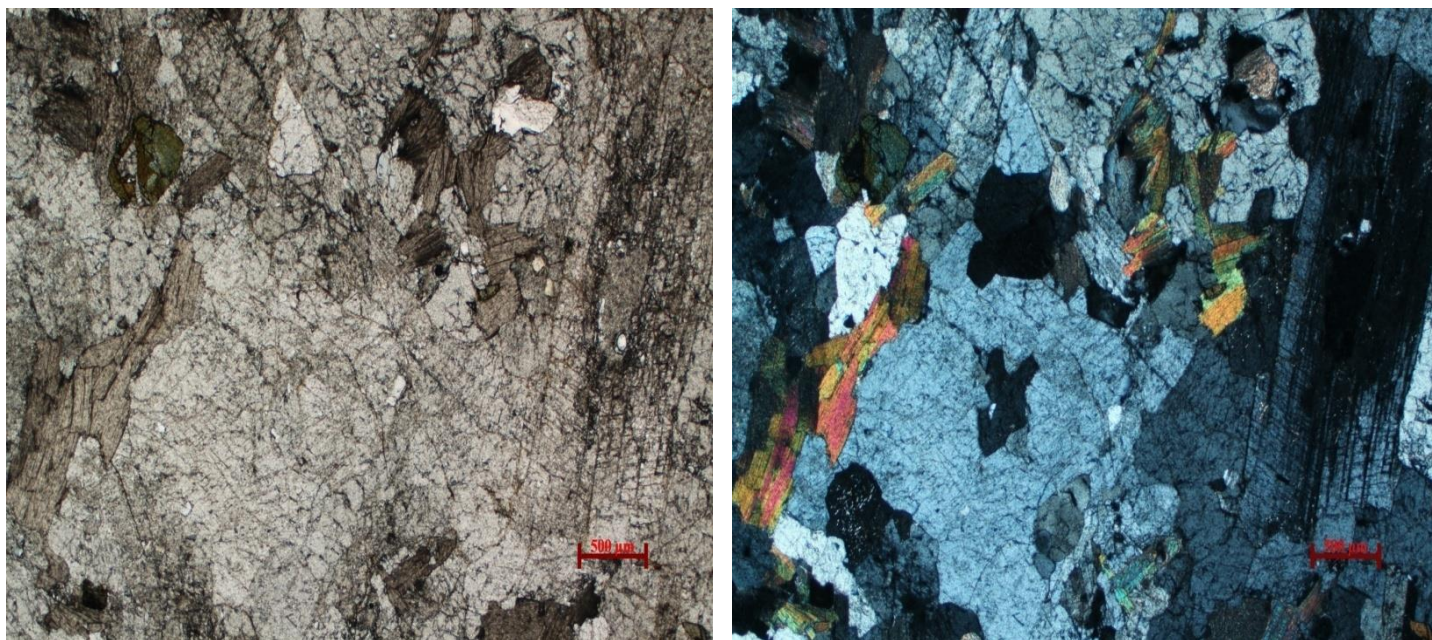
Sljedeći je uzorak 119a, uzorak svjetle stijene koja sadrži u velikoj mjeri leukokratske minerale (slika 8), u prvom redu feldspate kao megakristale dimenzija do čak 2 cm, svijetle listiće tinjaca koji ostavljaju odbljesak na površini veličine 1 do 2 mm te zrna kvarca također redova veličine par milimetara u udjelu svega nekoliko postotaka gledajući uzorak kao cjelinu. Od mafičnih minerala vidi se biotit veličina do 4 mm iako ih je većina do 2 mm, zastupljenosti u cijeloj stijeni od 5 do 10 volumnih %. Uzorak posjeduje zrnatu strukturu i klasificiran je kao krupnozrnati granitoid odnosno pegmatit.



**Slika 8.** Makroskopski uzorak krupnozrnate stijene 119a s većim leukokratskim mineralima (svjetli).

U izbrusku uzorka 119a (slika 9) nalaze se mineralne faze kvarca, feldspata, muskovita i biotita. Postotni udio u uzorku je sljedeći: volumno sadrži najviše kalijevih feldspata (ortoklas ~50 %), nakon toga kvarca (~35 %), muskovita 10% te na kraju biotit sa otprilike 2%. Zrna muskovita razvijena su hipidiomorfno, što se isto može reći i za njemu srodan mineral u skupini tinjaca biotit, doduše sa manjim dimenzijama i donekle izduženog oblika. Glavni mineral po zastupljenosti (kalijevski feldspat) pokazuje razvijanje u hipidiomorfnim do alotriomorfnim zrnima, dok je kvarc tipično razvijen u alotriomorfnim zrnima. Biotit pokazuje blagi pleokroizam, a zrna muskovita djeluju najčešće kao skup pojedinačnih zrna.

Od mikrostruktura odmah se zamijećuje niske temperaturne solidusne strukture, a to je undulozno potamnjenje zrna kvarca jedva primjetno čak i na zrnima kalijevog feldspata. Nadalje, isto tako uočava se stvaranje podzrna i na vrlo malo mjesta rotacija podzrna, tako da bi se i za ovaj uzorak prema svemu sudeći moglo reći da je prošao uvjete facijesa zelenog škriljavca nakon solidifikacije.



**Slika 9.** Mikroskopski uzorak 119a (N-, N+) sa unduloznim potamnjenjem kvarca i krupnijim zrnima.

Mjerilo 500µm.

## 4.1.2. Uzorci s većim udjelom biotita (118 &amp; 120)

Ovu skupinu čine dva uzorka u kojima je zamijećen veći volumni udio biotita (više od 15 volumnih postotaka) u odnosu na ostale uzorke. Uzorci koji pripadaju ovoj skupini prikazuju tipične magmatske kristalizacije, što se može vidjeti i po približno ravnomjernoj zastupljenosti kvarca, kalijevih feldspata i već spomenutog biotita. Muskovit, se u ova dva uzorka pojavljuje vrlo malom postotku, a mineralna zrna kvarca i kalijevih feldspata su po veličini manja od prethodne skupine, ali veća od skupine sa sitnozrnatim dvotinjčastim uzorcima.

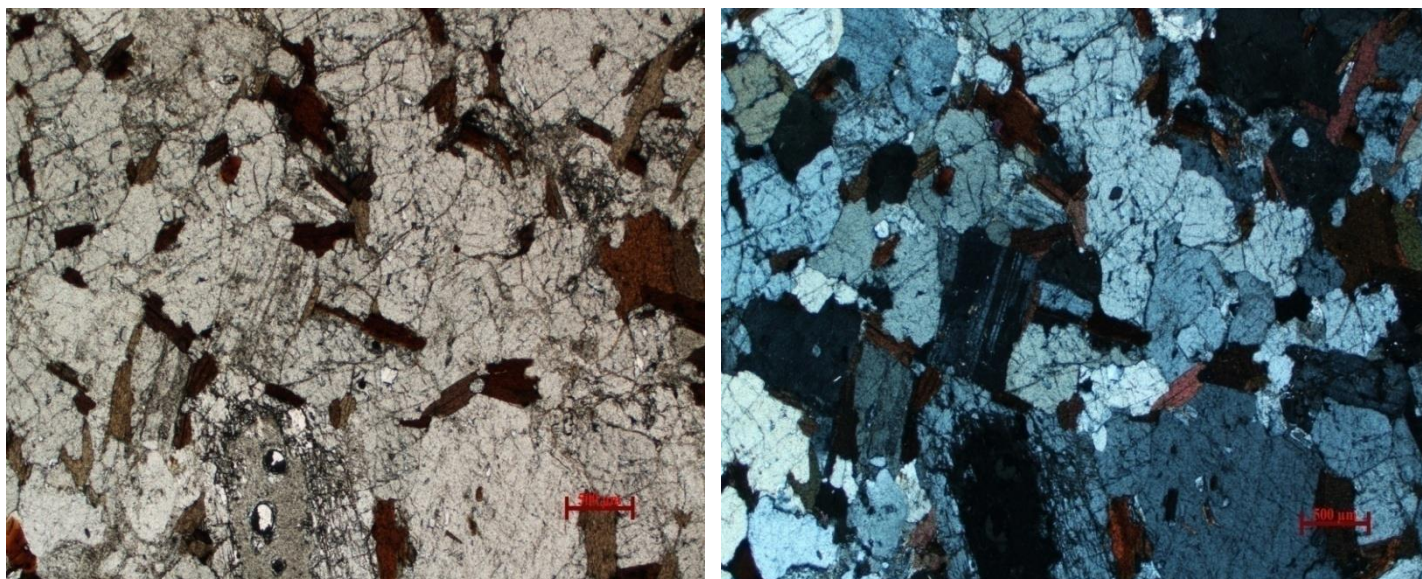
Na makroskopskom uzorku terenske oznake 118 (slika 10) uočava se, odudarajući od ostalih mineralnih zrna, centimetarski leukokratski minerali (svjetli), uz prisustvo ostalih mineralnih faza tipskih za granit koji mjere svega 2 do 3 mm u prvom redu feldspata i mafičnog tinjca. Stijena je tamnija jer sadrži dosta mafičnih minerala tj. tinjaca, kristaliziranih zajedno sa feldspatima. Struktura ovog uzorka može se opisati kao porfiroidna.



**Slika 10.** Makroskopski uzorak stijene 118. U tamnije zrnatoj osnovi ističu se leukokratski megakristali.

U mikroskopskom preparatu uzorka 118 (slika 11) nalaze se mineralne faze kalijskog feldspata, kvarca, biotita i muskovita. Postotni udio u uzorku je sljedeći: volumno sadrži najviše kalijskog feldspata (~40 %), nakon toga kvarca (~35 %), biotita (~19%), plagioklasa (~5%) i muskovit ~1%. Glavni mineral po zastupljenosti kalijski feldspat (ortoklas) pokazuje razvijanje u hipidiomorfnim do alotriomorfnim zrnima, dok su zrna kvarca tipično alotriomorfna. Biotit pokazuje blagi pleokroizam, a plagioklas razvijanje u hipidiomornim zrnima sa uočljivom zonalnosti.

Od mikrostruktura odmah se zamijećuje niskotemperaturna struktura, a to je undulozno potamnjenje zrna kvarca. Nadalje, isto tako uočava se stvaranje podzrna i na vrlo malo mjesta rotacija podzrna. Ono što bi moglo sugerirati na strukture ispupčenja jest zapravo posljedica magmatske kristalizacije stijene na višim temperaturama budući da sadrži veći udio biotita.



**Slika 11.** Mikroskopski snimci uzorka 118 (N-, N+) sa karakteristikama tipičnim za magmatsku kristalizaciju. Mjerilo 500 $\mu$ m

Zadnja stijena oznake 120 (slika 12) prikazuje homogenu, zrnatu strukturu. Na desnom uzorku vidljiva je štapičasta nakupina biotita koja na prvu nalikuje na megakristal, no radi se o agregatu velikog broja biotitnih zrna složenih u horizontalnu ravninu, pojava koja se u literaturi definira kao šlira (*schlieren*). Mafični agregat veličine oko 2 cm u sitnozrnatoj osnovi jest biotit. Sitnozrnatu osnovu sačinjavaju leukokratski i melanokratski minerali tipični za granitoide dimenzija u prosjeku 2 do 3 mm.

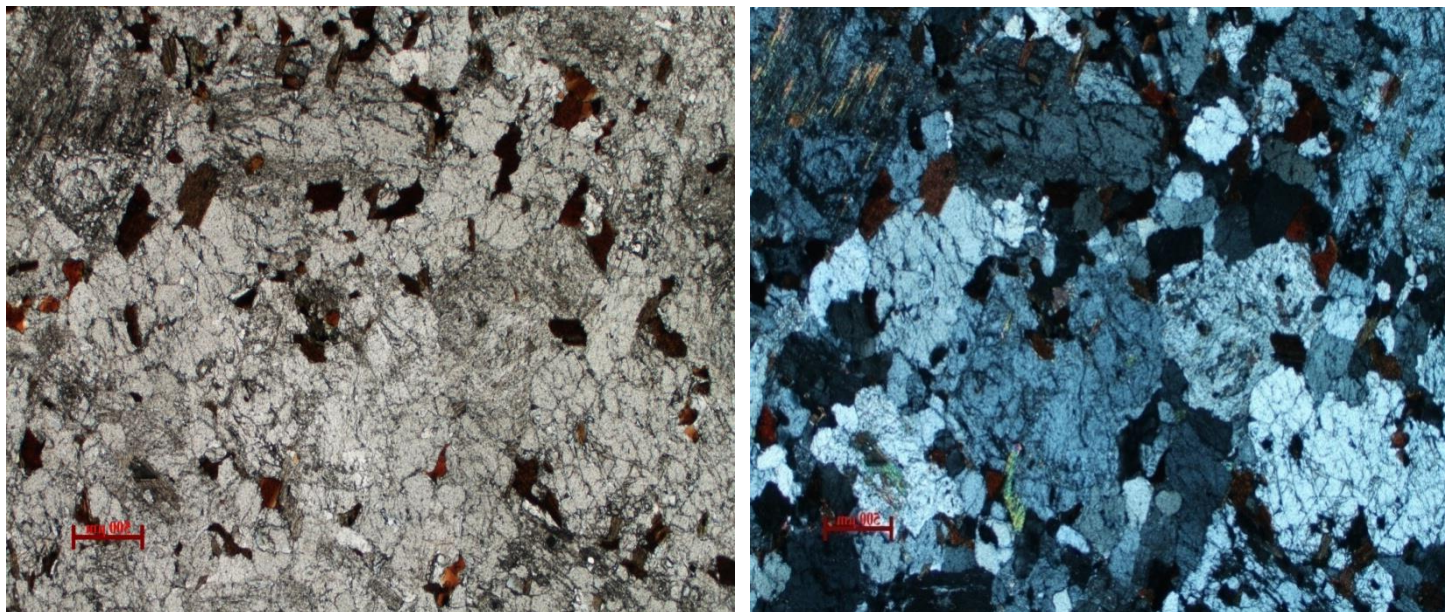


**Slika 12.** Makroskopski uzorci stijene 120 s mjerilom. U sitnozrnatoj osnovi nalazimo izduženi mafični agregat zrna biotita veličine par cm.

Mikroskopski izbrusak oznake 120 (slika 12) pokazuje minerale koji sačinjavaju uzorak: kvarc, feldspat, biotit i muskovit. Volumni postotak zastupljenosti pojedinih minerala u uzorku je: kvarc (~45 %), potom slijedi kalijski feldspat (~35 %) dok ostalih 20% pripada skupini tinjaca, najvećim dijelom se to odnosi na biotit od ~15 %, dok zrna muskovita broje preostalih ~5 %. Minerali kalijskog feldspata razvijeni su u hipidiomorfnim do alotriomorfnim zrnima, a zrna kvarca samo u alotriomorfno. Minerali grupe tinjaca muskovit i biotit razvijeni su pretežito u alotriomorfnim zrnima, gdje potonji pokazuje jasan pleokroizam.

Promatrajući mikrostrukture, ponovno se mogu opaziti one uzrokovane deformacijskim procesima. Od niskotemperaturnih može se primjetiti na svega par zrna kvarca i kalijskog feldspata undulozno potamnije. Zastupljenije je stvaranje podzrna i rotacije podzrna, gdje je potonja struktura zastupljenija od prve. Gledajući prema zrnima

biotita, na par slučajeva nailazimo mikrostrukture koje bi se mogle opisati kao *pinning* strukture.



**Slika 13.** Mikroskopski snimaci uzorka 120 (N-, N+) sa strukturama rotacije podzrna. Mjerilo 500 $\mu$ m.

#### 4.1.3. Sitnozrnati dvotinjčasti uzorci (114, 113, 112 & 111)

Ovu skupinu, kao i ostale dvije, karakterizira većinom dvotinjčasto svojstvo, no uz očigledu pojavu biotita i muskovita kao najpoznatije predstavnike grupe tinjaca, ostala mineralna zrna (kalijski feldspati i kvarc) su sitnozrnata.

Masivna homogena tekstura i zrnata struktura glavne su makroskopske odlike stijene 111 na slici 14. Karakterizira je pravilni do subparalelni lom što rezultira pločastim uzorcima. Ovakav mineralni agregat sadrži ista felsična i mafična mineralna zrna veličine do 2 mm svojstvene samo stijenama granitnog tipa.





**Slika 14.** Makroskopski uzorak stijene 114 sa pravilnim do subparalelnim lomom.

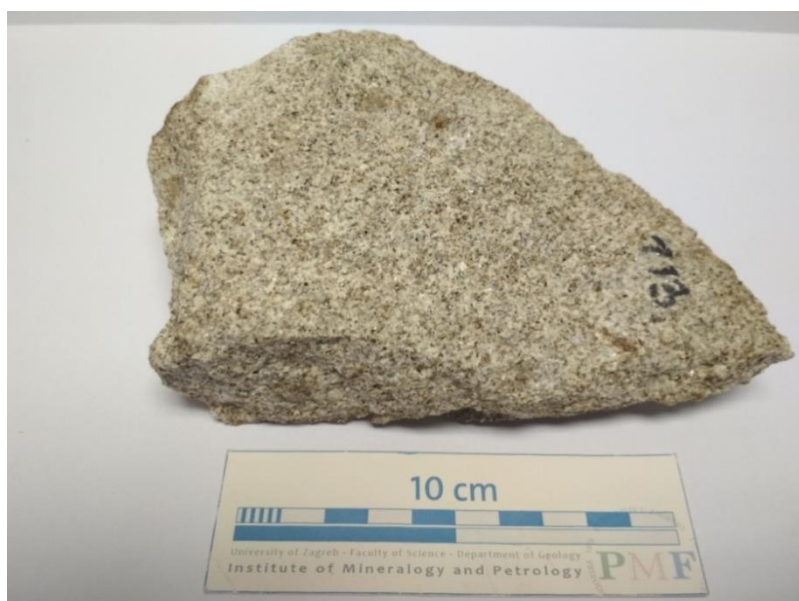
Mikroskopski izbrusak uzorka 114 (slika 15) pokazuje mineralne faze: kvarc, feldspat, biotit i muskovit. Glede volumnog postotnog udjela, uzorak sadrži najviše kvarca (~50 %), potom kalijskog feldpata (~40 %) dok ostalih 10% otpada na skupinu tinjaca i to u neznatnoj mjeri većina pripada biotitu dok su zrna muskovita u podređenoj ulozi što volumnog udjela tiče. Minerali feldspata razvijeni su u hipidiomorfnim do alotriomorfnim zrnima u odnosu na kvarc koji je u potpunosti razvijen u alotriomorfnim zrnima. Biotit se odlikuje hipidiomorfno razvijenim zrnima štapićastog do vrpčastog oblika i pokazuje blagi pleokroizam. Zrna muskovita javljaju se u živim inteferencijskim bojama 1. reda.

Na prvi pogled, mikrostrukture koje se uočavaju su preferirana orijentacija minerala tinjaca u obliku vrpce smjera subparalelnog dužini slike i najbolje se može uočiti pod isključenim analizatorom. Možemo također uočiti strukture koje sugeriraju promjene unutar same kristalne rešetke i stoga posljedično modifikaciju granica zrna, preciznije rečeno stvaranje podzrna i njihova rotacija, a ogleda se u činjenici što su zrna prikazana različitim nijansama iste boje (gledano pod uključenim analizatorom) koje i mineralno zrno od koga potječe, gdje njihove temperature nastanka opetovano idu u prilog facijesu zelenog škriljavca.



**Slika 15.** Mikroskopski snimak uzorka 114 (N-, N+) sa mineralima biotita nalik vrpcama. Mjerilo 500 $\mu$ m.

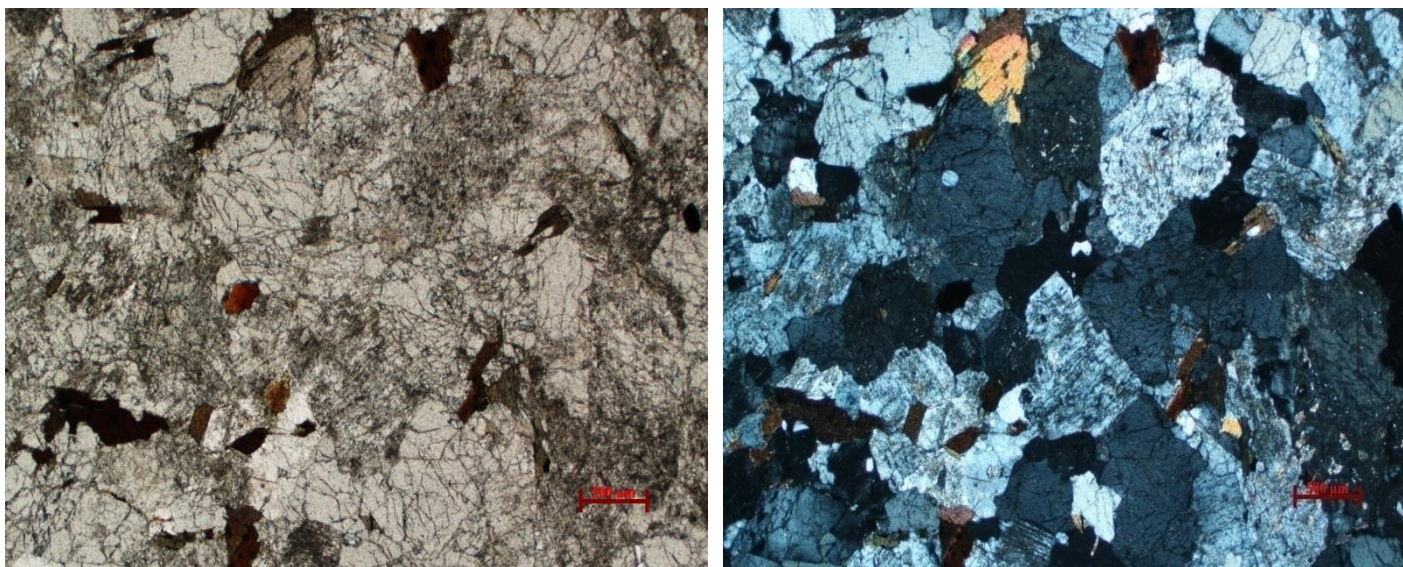
Svjetliji uzorak stijene oznake 113 (slika 16) sadrži zrna veličine do 2 mm te prikazuje homogenu masivnu teksturu te zrnatu strukturu kao i prethodni uzorci. Na izgled i dodir je svjež. Promatranjem mineralnih zrna uočavaju se jednim dijelom lećasti oblici, a posebice je to izraženo kod feldspata. Mineralni sastav stijene istovjetan je ostalim agregatima i samim time se klasificira kao granit.



**Slika 16.** Makroskopski uzorak stijene 113.

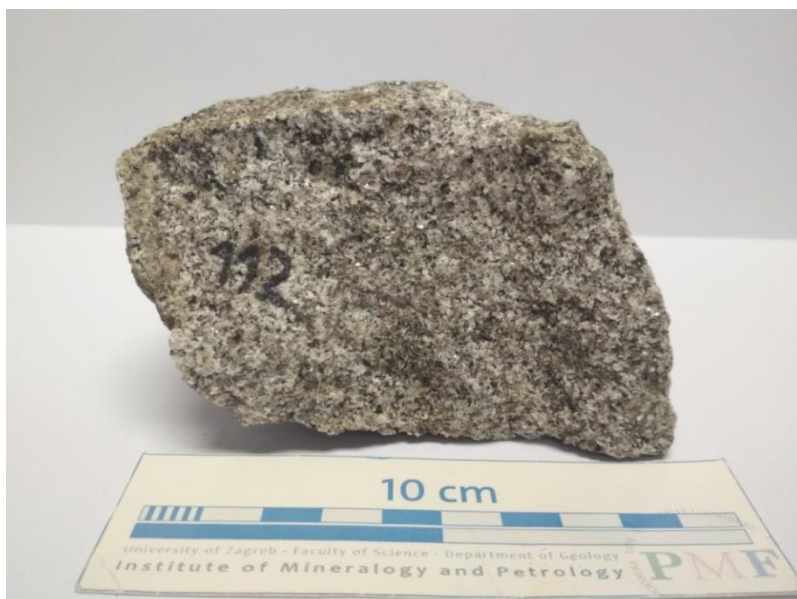
Mikroskopski prepat uzorka 113 (slika 17) sačinjavaju mineralne faze kvarca, feldspata te tinjaca (biotit i muskovit). U volumnom postotnom udjelu uzorak čine kvarc (~ 45 %), potom kalijski feldspat (~ 45 %) dok ostalih ~10 % otpada na skupinu tinjaca. Što se tiče tinjaca najviše je zastupljen mineral biotit, gdje su njegova mineralna zrna po veličini manja od zrna muskovita. Biotit pokazuje slabe naznake pleokrozma i razvijen je u hipidiomorfnim do alotriomorfnim zrnima što se isto tako može reći i za mineral muskovit. Minerali kalijskog feldspata razvijeni su u hipidiomorfnim do alotriomorfnim zrnima i razlikuju se po većim zrnima u odnosu na kvarc koji je razvijen u alotriomorfnim zrnima.

Što se mikrostrukturnog gledišta tiče, uzorak pokazuje karakteristike tipične magmatske kristalizacije i načelno, stijena pokazuje vrlo malo vidljivih deformacijskih procesa. Od niskotemperaturnih struktura vidljivo je undulozno potamnjenje na zrnima kvarca. Prisutne su i strukture koje se javljaju na višoj temperaturi i to prije svega strukture podzrna i njihova rotacija također kod zrna kvarca. Granice među zrnima nisu ravne već pokazuju nepravilni i zaobljeni karakter. To je najprije posljedica kristalizacije gdje su kristalne rešetke unutar minerala „tražile“ stabilizaciju sustava. Navedene strukture i opis ponovo upućuje na uvjete do maksimalno srednjeg stupnja metamorfizma tj. točnije facijes zelenih škriljavaca.



**Slika 17.** Mikroskopski snimak uzorka 113 (N-, N+) sa karakteristikama tipične magmatske kristalizacije. Mjerilo 500 $\mu$ m.

Stijena oznake 112 vidljivo ukazuje na procese alteracija (slika 18) promatrana golim okom sa istim, dakle felsičnim i mafičnim sastavom kao i prethodni uzorak s veličinom zrna ne većim od 3 mm. Budući da je stijena pretrpjela trošenje, njena boja je za nijansu tamnija, što se može spoznati i dodirrom, a rezultat samog dodira je slabo mrvljenje minerala feldspata i ostavljanja praškastog materijala tj. minerala glina. Uzorak se svrstava također u granit te je sama stijena homogene masivne teksture i zrnate strukture.

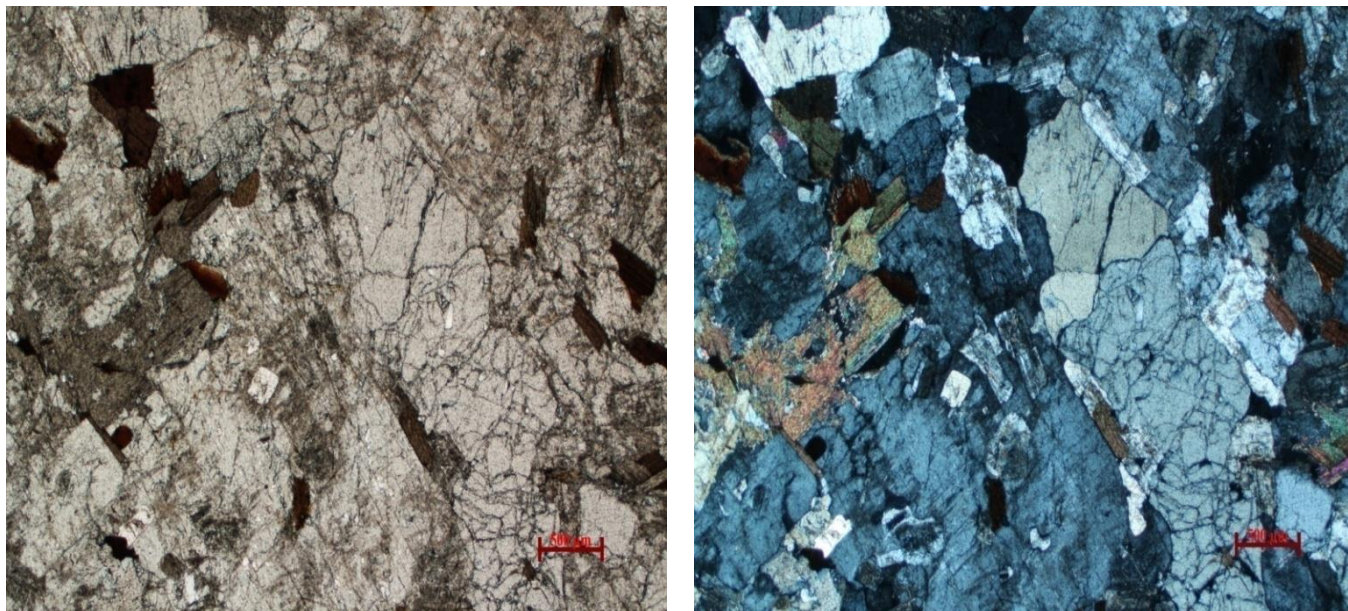


**Slika 18.** Makroskopski uzorak stijene 112 s leukokratskim i melanokratskim mineralima.

Mikroskopski prepat uzorka 112 (slika 19) sadrži mineralne faze kvarca, feldspata i tinjce (biotit i muskovit). Prikazani uzorak u volumnom udjelu sadrži najviše kvarca (~50 %), zatim kalijskog feldspata (~40 %) dočim preostalih 10% otpada na skupinu tinjaca i to u gotovo podjednakom omjeru muskovita (~5%) i biotita (~5%). Minerali kalijskog feldspata razvijeni su u hipidiomorfim do alotriomorfim zrnima i razlikuju se po većim zrnima u odnosu na kvarc koji je razvijen u alotriomorfim zrnima. Biotit se odlikuje također hipidiomorfno do alotriomorfno razvijenim zrnima štapićastog oblika i pokazuju blagi pleokroizam. Veća zrna minerala muskovita prikazuju se u živim interferencijskim bojama 1. reda pod uključenim analizatorom.

Od mikrostruktura na uzorku primjećuje se rotacija podzrna, a ogleda se u raznobojnosti malih zrna unutar većih. U gornjem desnom uglu dijela sa uključenim analizatorom, postoje naznake unduloznog potamnjenja kvarca. Zrna biotita su poredana

nasumično, bez naročite orijentacije što upućuje na tipičnu magmatsku kristalizaciju dok se mineralna zrna muskovita ponegdje spajaju sa zrnima biotita tj. stvara se tzv. muskovitizacija biotita. Prema svemu sudeći, uvjeti u kojima se ova stijena mogla modificirati trebali bi pripadati facijesu zelenog škriljavca.



**Slika 19.** Mikroskopski snimak uzorka 112 (N-, N+) sa većim zrnima muskovita i s nasumičnim zrnima biotita

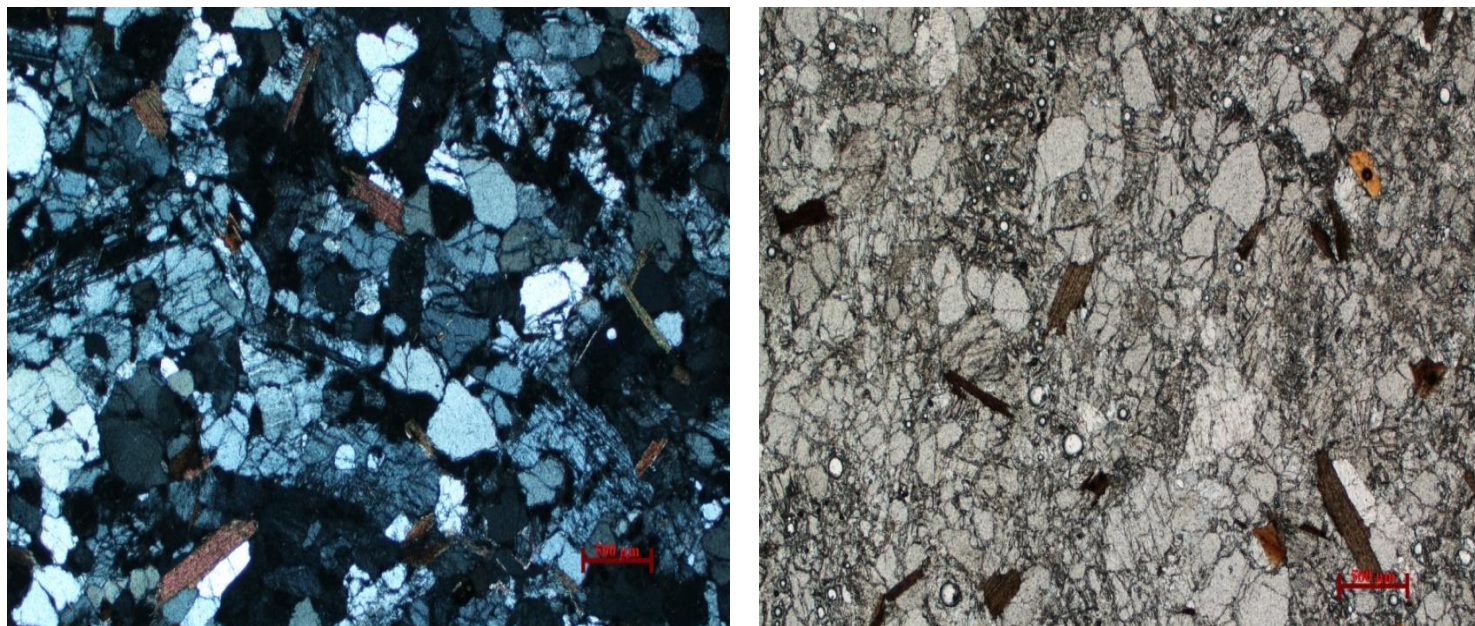
Na slici 20 je prikazan uzorak stijene klasificiran kao sitnozrnati granit homogene teksture i zrnate strukture. Na stijeni se jasno vide leukokratski i mafični minerali tj. svjetlija i tamnija mineralna zrna kao glavni konstituenti stijene. Od svjetlijih minerala prisutni su kvarc i feldspat dok su od tamnijih nazočni samo tinjci, barem onako kako se mogu uočiti iskustveno i golim okom. Mineralna zrna ne premašuju veličinu od 3 mm. Uzorak je na dodir pomalo praškast što znači da je bio izložen utjecaju atmosferilija.



**Slika 20.** Makroskopski uzorak stijene 111 sa sitnozrnatom osnovom.

U mikroskopskom prepatu (slika 21) nalaze se mineralne faze kvarca, feldspata, biotita i muskovita. Gledajući volumni postotni udio uzorak sadrži najviše kvarca (~55 %), potom kalijskog feldspata (~39 %) dok ostalih ~6% otpada na skupinu tinjaca i to najvećim dijelom na biotit u sveukupnom udjelu od ~5 %. Zrna muskovita broje preostalih ~1 %. Minerali kalijskog feldspata razvijeni su u hipidiomorfnim do alotriomorfnim zrnima i razlikuju se po većim zrnima u odnosu na kvarc koji je razvijen u alotriomorfnim zrnima. Biotit se odlikuje hipidiomorfno razvijenim zrnima izduženog oblika i pokazuje blagi pleokroizam pored manjeg muskovita koji se javlja kao mineral pod analizatorom u živim interferencijskim bojama I. reda

Mikrostrukturno, uzorak je bio zahvaćen deformacijskim procesima odnosno na to navodi činjenica da se primjećuju niskotemperaturne strukture poput unduloznog potamnjenja na zrnima kvarca iako je u biti takva struktura malo zastupljena. Od struktura koje nastaju na malo višim temperaturama primjećuju se već učestala stvaranja podzrna i njihova rotacija. Gdje se može zamijetiti tendencija stvaranja sjecišta trostrukih granica između zrna što daje mogućnost teze gdje mineralna zrna teže kutevima od  $120^\circ$  među sobom. Sve izrečeno ide u prilog činjenici da je stijena nakon magmatske kristalizacije prošla deformacijske uvjete facijesa zelenog škriljavca.



**Slika 21.** Mikroskopski snimci uzorka 111 (N-, N+) sa strukturama podzrna i njihove rotacije. Mjerilo 500 $\mu$ m

## 4.2. Cijelostijenska kemijska analiza

Rezultati dobiveni kemijskom analizom cijelih stijena za glavne elemente u formi oksida i elemente u tragovima u elementarnom stanju sadržani su u tablici 2 (a do c).

**Tablica 2. a.** Udio glavnih elemenata u uzorcima, u tež. % oksida. LOI – (eng. loss on ignition) gubitak žarenjem.

oksid	Oznaka uzorka								
	111	112	113	114	115a	116a	118	119a	120
SiO <sub>2</sub>	73,94	73,57	74,08	73,82	72,31	72,18	91,68	67,3	71,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,14	14,32	13,79	13,95	14,43	14,43	4,31	15,13	14,27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,48	1,17	1,28	1,45	0,46	0,21	0,21	3,32	2,75
MgO	0,32	0,23	0,25	0,25	0,14	0,04	0,17	1,67	0,58
CaO	0,63	0,47	0,42	0,54	0,42	0,42	0,01	1,73	1,45
Na <sub>2</sub> O	3,26	3,18	2,91	3,04	2,4	1,9	0,07	2,87	3,46
K <sub>2</sub> O	4,87	5,29	5,69	5,03	9	9,27	2,26	5,14	3,81
TiO <sub>2</sub>	0,16	0,11	0,15	0,14	0,07	0,01	0,11	0,47	0,42
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,27	0,19	0,19	0,24	0,27	0,7	0,03	0,24	0,12
MnO	0,04	0,03	0,03	0,04	0,01	0,01	0,005	0,04	0,03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004	0,001
LOI	0,7	1,3	1,1	1,4	0,4	0,8	1	1,9	1
Sum_x	99,87	99,88	99,88	99,91	99,88	99,93	99,86	99,79	99,82



**Tablica 2.b.** Udio elemenata u tragovima u uzorcima, izraženo u ppm.

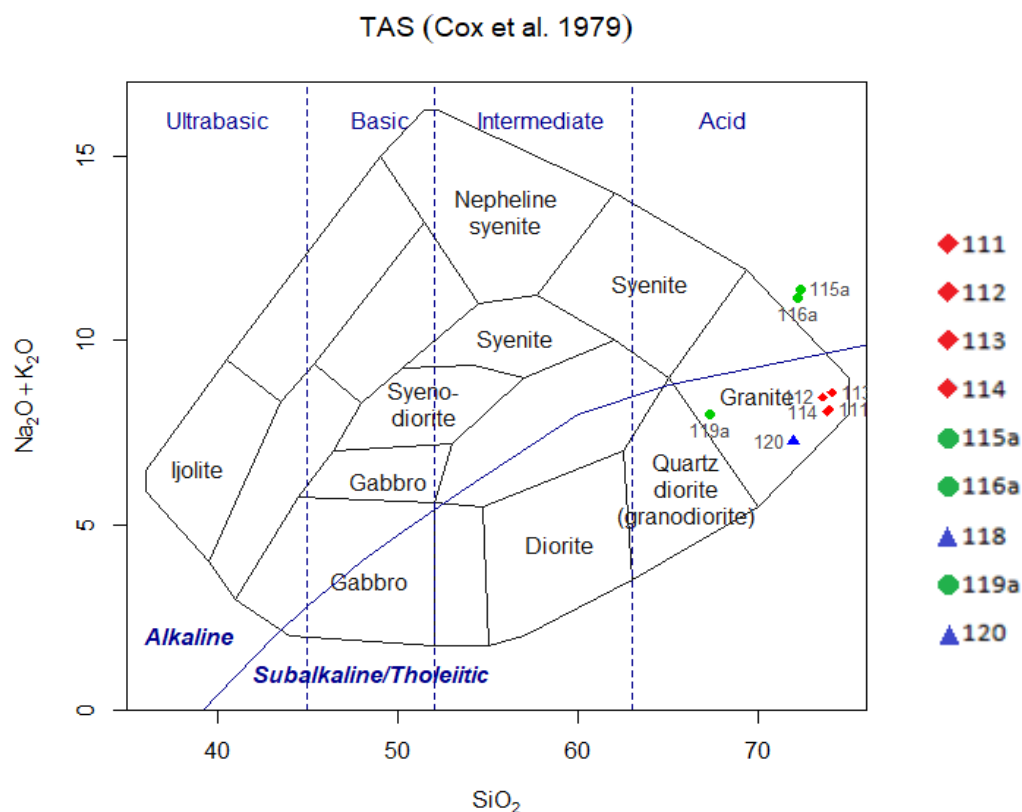
element	Oznaka uzorka								
	111	112	113	114	115a	116a	118	119a	120
Ag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
As	0,25	0,5	2	1,6	6,8	0,9	4,9	2	3,6
Au	2,8	4	2	0,9	0,6	0,25	1,1	0,25	0,6
Ba	254	253	253	124	413	82	494	737	796
Be	4	8	2	2	0,5	2	1	4	0,5
Bi	1,9	0,2	0,2	0,05	0,05	0,3	0,1	3,9	0,2
Cd	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Co	1	0,9	0,9	1,5	0,1	0,2	0,3	6,3	2,8
Cs	17,8	7,9	7,3	15,4	9,4	18,7	2,2	6,2	6,6
Cu	0,5	2	2,3	0,8	0,8	0,3	7,6	2,7	1,9
Ga	22,3	18,4	17,4	17,4	13,9	13,4	3,2	18	17,2
Hf	2,6	2,6	3,5	1,8	0,7	1,4	5,6	4,5	6,5
Hg	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Mo	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,9	0,05	0,3
Nb	12,9	9,6	12,9	14,8	7,5	14,2	2,3	13,8	16,9
Ni	0,4	4	0,7	2,9	0,7	0,05	17,6	0,3	1,3
Pb	2,8	6	5,7	1,2	5,4	3,8	4,3	4,5	4,2
Rb	274,5	253,6	234,7	260,3	260,7	540	63,1	162,3	170,1
Sb	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Sc	5	4	5	5	3	0,5	1	8	7
Se	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Sn	18	5	7	12	6	16	0,5	2	3
Sr	55,7	52,3	44,9	40,2	77,7	37,3	60,5	194,4	198,4
Ta	2,1	1,4	1,8	3,3	1,5	15,5	0,4	1,1	1,1
Th	5,8	5,9	7,9	3,9	0,7	0,1	3,4	11	13,4
Tl	0,5	0,3	0,1	0,5	0,2	0,05	0,5	0,1	0,4
U	3,7	2,8	4,3	3,5	4,5	1,1	0,9	4,7	4,8
V	25	16	17	14	4	4	4	45	32
W	2,2	2	1,9	0,9	0,25	1,9	3,2	1,4	1
Y	20,8	16,1	18,7	9,9	8,2	3,5	5,6	19,2	26,7
Zn	43	21	16	45	9	0,5	43	3	39
Zr	70,1	59,2	86,5	52,4	13,9	17,8	196,7	143,5	231

**Tablica 2. c.** Udio elemenata u tragovima iz skupine elemenata rijetkih zemalja u uzorcima, izraženo u ppm.

Element	Oznaka uzorka								
	111	112	113	114	115a	116a	118	119a	120
La	15,6	11,1	15,1	8,2	3,2	1	9,5	28,4	44,8
Ce	28,7	21,2	31,8	15,6	6	2,1	18,3	55,7	83
Pr	3,48	2,53	3,61	1,81	0,73	0,25	2,24	6,22	9,03
Nd	13,5	10,6	12,9	7,3	2,1	1,2	8,2	23,2	30,7
Sm	2,93	2,39	3,07	1,61	0,85	0,25	1,45	4,82	6,04
Eu	0,45	0,3	0,29	0,29	0,35	0,11	0,37	0,89	1,01
Gd	3,32	2,33	3,16	1,73	1,16	0,41	1,41	4,4	5,67
Tb	0,62	0,43	0,54	0,31	0,24	0,09	0,2	0,65	0,8
Dy	4,32	3,01	3,32	1,77	1,53	0,58	1,19	3,51	5,11
Ho	0,66	0,52	0,62	0,37	0,27	0,1	0,22	0,61	0,87
Er	1,74	1,46	1,88	0,72	0,75	0,23	0,59	1,6	2,38
Tm	0,25	0,25	0,25	0,12	0,12	0,03	0,09	0,23	0,4
Yb	1,46	1,57	1,76	0,89	0,79	0,28	0,62	1,48	2,2
Lu	0,23	0,24	0,24	0,13	0,13	0,03	0,11	0,22	0,37

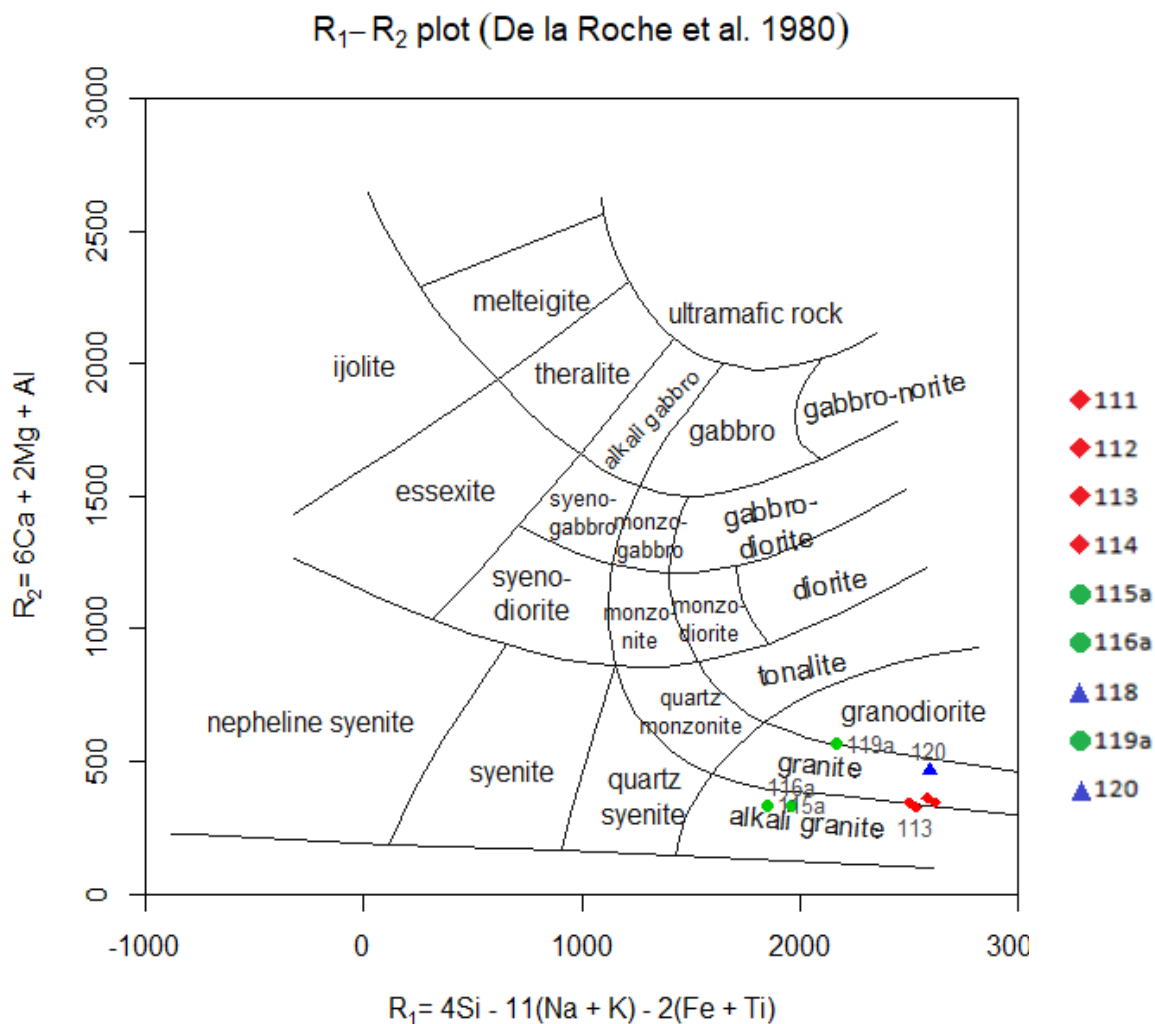
## 4.3. Geokemijski dijagrami

S obzirom na podatke iz cjelokupnog sastava stijene konstruirani su i klasifikacijski, geotektonski, normalizirani multielementni dijagrami nekompatibilnih elemenata te binarni dijagrami u programu GCDkit verzije 4.1. Prvi korišteni klasifikacijski dijagram je TAS Coxa et al. (1979) koji se može koristiti za intruzivne ili efuzivne varijetete, a prikazuje vrijednosti tako da je na osi x prikazana  $\text{SiO}_2$  komponenta (slika 22), a na osi y zbroj  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  uzimajući u obzir njihove ukupne postotne udjele. Napravljena je podjela uzoraka u tri skupine po njihovim glavnim razlikovnim karakteristikama, a ogledaju se u različitoj boji te se spomenuta podjela može pratiti i u daljnjim klasifikacijskim dijagramima. Stoga su izdvojene skupine: 1. Sitnozrnata dvotinjčasta (111, 112, 113 & 114) označena crvenom bojom, 2. Krupnozrnata (115a, 116a & 119a) prikazana zelenom i 3. sa većim udjelom biotita (118 & 120) obilježena plavom bojom.



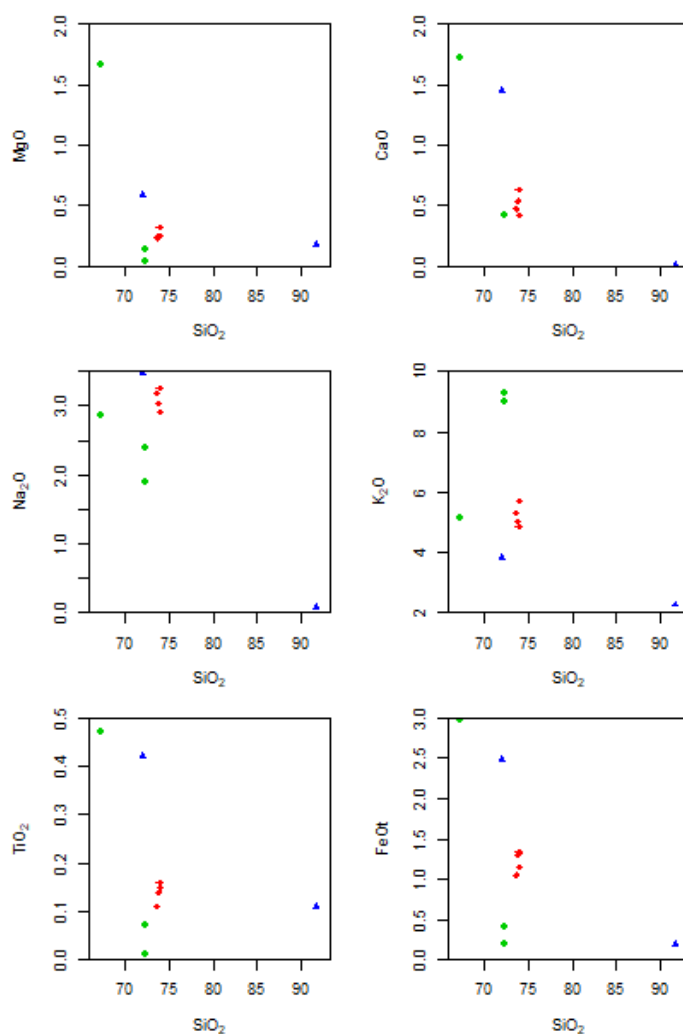
**Slika 22.** TAS dijagram (Cox et al., 1979.). Uzorci 115a i 116a ne padaju u polje granita i ulaze u alkalnu seriju, dok se ostalih šest uzoraka nalazi u polju granita i grupi subalkalne / toleitne serije. Uzorak 118 premašuje vrijednosti dijagrama sa koordinatama (91,68; 2,33).

Sljedeći klasifikacijski dijagram vrlo sličan TAS-u, konstruirali su ga De la Roche et al. (1980), a bitna razlika je u tome što su polja za klasifikaciju prilagođenija plutonitima i samim time brojnija što se tiče imenovanja stijene ukoliko rezultat cjelostijenske analize pokaže vrijednosti tipične za polje kojem pripada (slika 23). Skupina sitnozrnatih dvotinjčastih uzoraka jako se dobro grupirala dok se svi krupnozrnati uzorci i uzorci sa višim udjelom biotita nisu grupirali u jednake skupine.



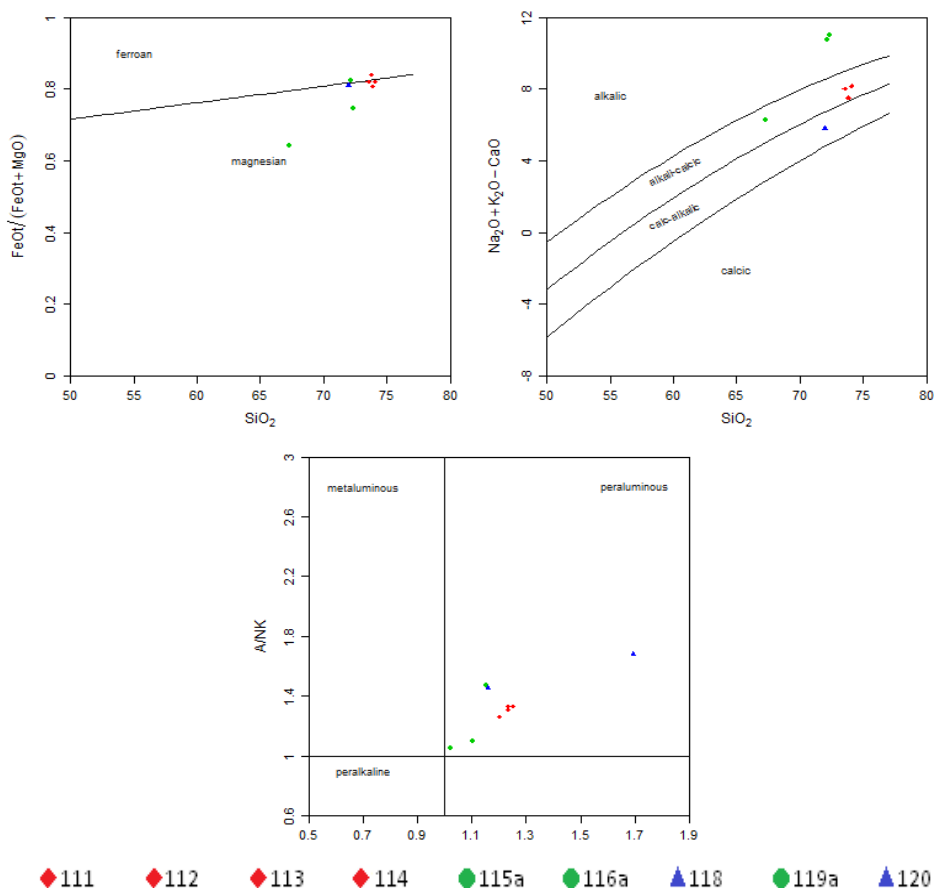
**Slika 23.** Klasifikacijski dijagrami R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> (De la Roche et al., 1980). Crveni odgovaraju polju „običnog“ granit osim uzorka 113 koji upada u alkalne granite, zeleni uzorci 115a i 116a odgovaraju polju alkalijskih granita dok se 119a projicira u granodiorite. Plavi uzorak 120 odgovara polju „običnog“ granita, a uzorak 118 premašuje dijagram sa koordinatama (92,74189; 2,356988) i projiciran je u polje alkalijskih granita.

Glavni pokazatelji veze između makroelemenata prikazani su u dijagramima rasipanja gdje dvije varijable služe kao indikatori frakcioniranja unutar samog granitnog tijela kroz omjer  $\text{SiO}_2$  suprotstavljen ostalim glavnim elementima u obliku oksida (slika 24). Ponovno se prikazuju rezultati sitnozrnatih dvotinžastih uzoraka (crveni rombovi) kao gotovo istovjetni međutim ne mogu dovoljno govoriti o linearnom karakteru (bilo pozivnom ili negativnom) kao i druge dvije skupine koje pokazuju na ponekim dijagramima veliko rasipanje podataka. Međutim jedna skupina (crveni rombovi) pokazuju najbolje grupiranje odnosno najveću geokemijsku konzistentnost što je u skladu sa petrografskim opažanjima.



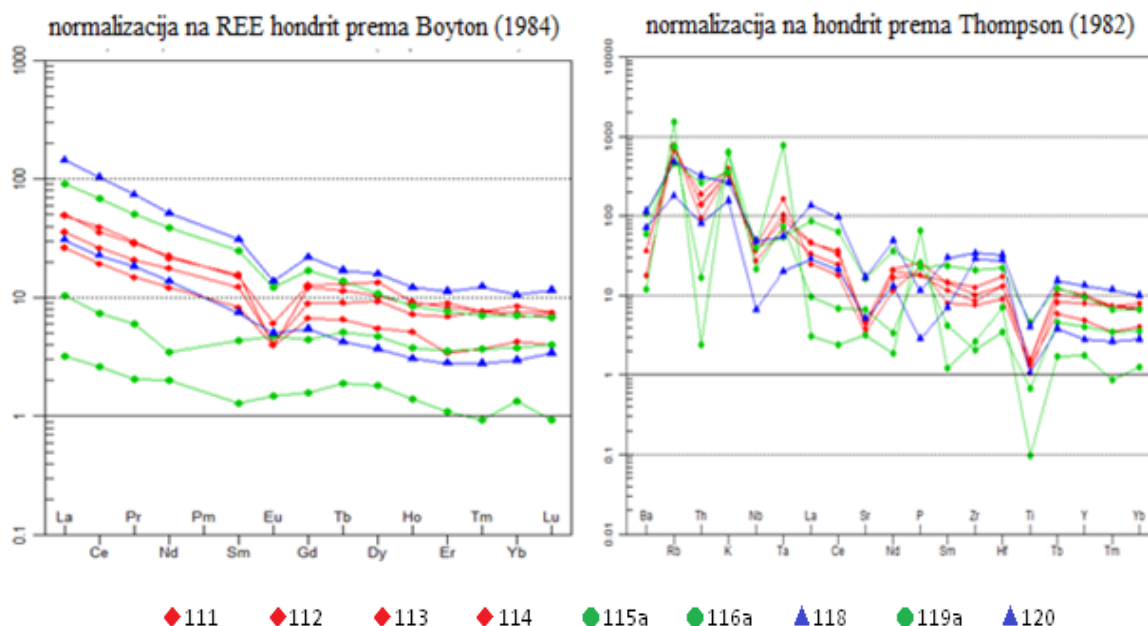
**Slika 24.** Binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) bazirani na omjerima glavnih elemenata u obliku oksida. Crveni odgovaraju uzorcima 111, 112, 113 & 114, zeleni odgovaraju uzorcima 115a, 116a & 119a dok su plavi uzorci 118 & 120.

Također, uzimajući u obzir i klasifikacijske dijagrame namijenjene dominantno granitoidnim varijetetima stijena prema Frost et al. (2001) koji kazuju da se uzorci razlikuju po svojim kemijskim vrijednostima, gdje se većina projicira na međuvrijednost željezom i magnezijem bogate magme (slika 25A), iako uzorak 119a zbog manjka SiO<sub>2</sub> komponente odudara naspram ostale tri relativno dobro grupirane skupine. Najveće raspršenje prikazano je na dijagramu pokazatelja alkalijskog odnosno kalcijско-alkalijskog karaktera (slika 25B), u kojem većina ipak pripada polju alkalijsko-kalcijским magmama gdje su opetovano sva četiri sitnozrnata dvotinžasta uzorka rezultatski vrlo bliska. Zadnji dijagram potpuno je jednoznačan jer se sve stijene projiciraju u polje peraluminoznih magmi, iako i unutar njega postoje vidljiva rasipanja odnosno grupiranja (slika 25C).

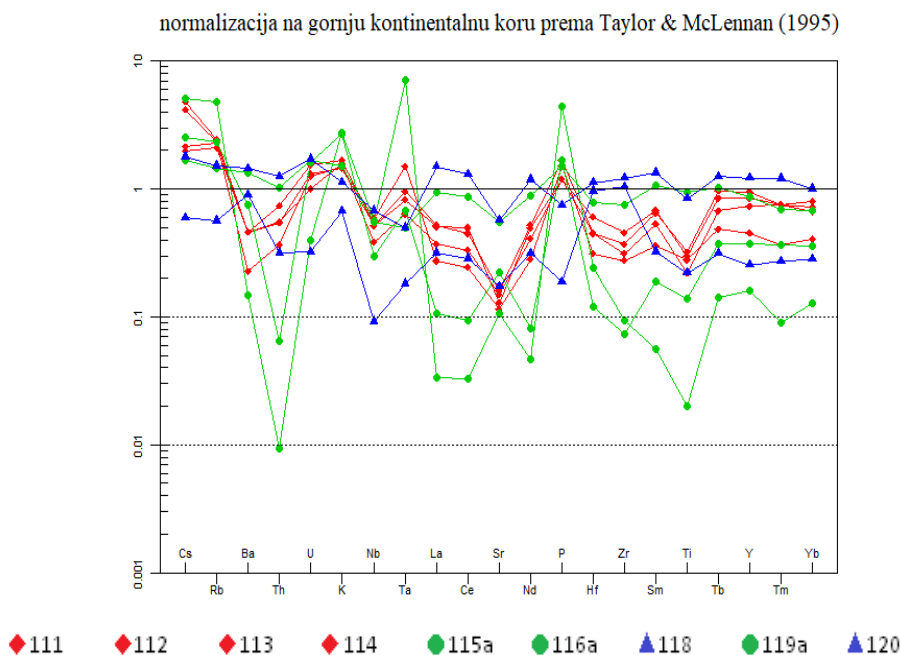


**Slika 25.** Dijagrami klasifikacije za magme prema Frost et al. (2001). **A)** Po prikazanom omjeru mafitnog indeksa i SiO<sub>2</sub>, uzorci 114 i 116a padaju u polje željezovitih magmi, dok su svi ostali u polju magnezijem bogatih magmi. **B)** Gledajući omjer ukupnih alkalijskih komponenti sa SiO<sub>2</sub>, većina je pokazatelja u korist alkalno-kalcijskog polja, izuzev uzoraka 115a, 116a i 118 gdje prva dva pripadaju alkalijskom dok potonji kalcijско-alkalijskom polju. **C)** Svi uzorci pripadaju peraluminoznom polju prema omjeru ASI i A/NK.

Dijagrami normalizacije generalno grupiraju nekompatibilne elemente s obzirom na jedan od planetarnih rezervoara bilo da je riječ o plaštu, hondritu ili nekom drugom specifičnom tektonskom okruženju. Rezultati kompatibilnosti lantanida normaliziranih na hondrit prema Boytonu (1984) prikazuju jasno izraženu europijevu anomaliju (slika 26A) osim dva uzorka pegmatitnog tipa 115a i 116a, što se povezuje i sa mikroskopskim opažanjima, dok prikaz elemenata prema Thompsonu (1982) pokazuje Ti, Nb, Sr (osim za 115a i 116a) i Th anomalije (slika 26B) što ima određene geodinamske i petrološke implikacije (Tang et al., 2016). S druge strane dijagram normalizacije na gornju kontinentalnu koru prema Tayloru & McLennanu (1995) može davati potpunije rezultate od normalizacije na nediferencirana izvorišta budući da je granit nastao u kontinentalnoj kori. Rezultati sva tri dijagrama normalizacije mogu poslužiti također i za usporedbu gdje se vidi da dijagram normalizacije na gornju kontinentalnu koru (slika 27) pokazuje generalno istovjetne pokazatelje kao i dijagram prema Thompsonu (1982). Dijagrami normalizacije generalno potvrđuju rezultate dobivene i u prethodnim klasifikacijskim dijagramima, što se također može reći i ako usporedimo prethodne rezultate sa mikroskopskim opažanjima.



**Slika 26.** A) multielementni dijagram uzoraka normaliziranih na REE hondrit prema Boyton (1984) i B) multielementni dijagram uzoraka normaliziranih prema Thompson (1982).

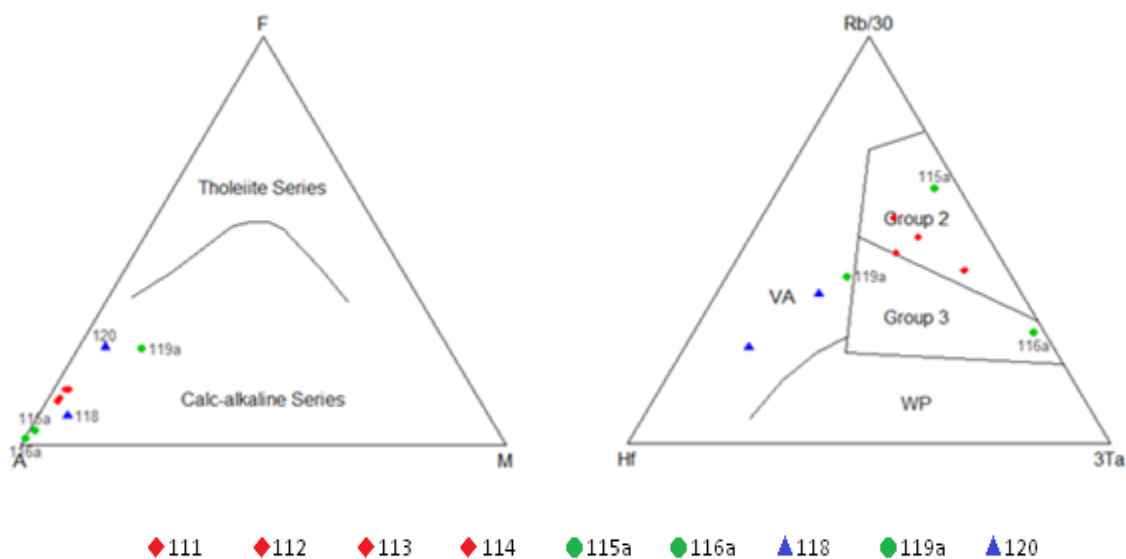


**Slika 27.** Dijagram normalizacije na gornju kontinentalnu koru prema Taylor & McLennan (1995)

#### 4.4. Geotektonski smještaj na temelju geokemijskih podataka

Po klasifikacijskom trokomponentnom dijagramu temeljenom na elementima u tragovima prema Irvine & Baranger (1971), uzorci isključivo pripadaju kalcijko-alkalijskoj seriji time da većina pokazuje grupiranje prema A vrhu trokomponentnog dijagrama što znači da uzorkovane stijene posjeduju značajne količine alkalne komponente (slika 28A). Drugi klasifikacijski dijagram po Harris et al. (1986.) koji omogućava pobližu podjelu granitoidnih stijena kazuje kako su dobiveni rezultati uzoraka raspršeni na gotovo sva polja (slika 28B) osim na polje WP (graniti unutar ploča). Zanimljivo je primjetiti da se sva tri krupnozrnata uzorka projiciraju u tri različita polja, dočim su uzorci sa višim udjelom biotita svrstani u granite vulkanskog luka, a sitnozrnati dvotinčasti potpali pod sinkolizijsko polje.

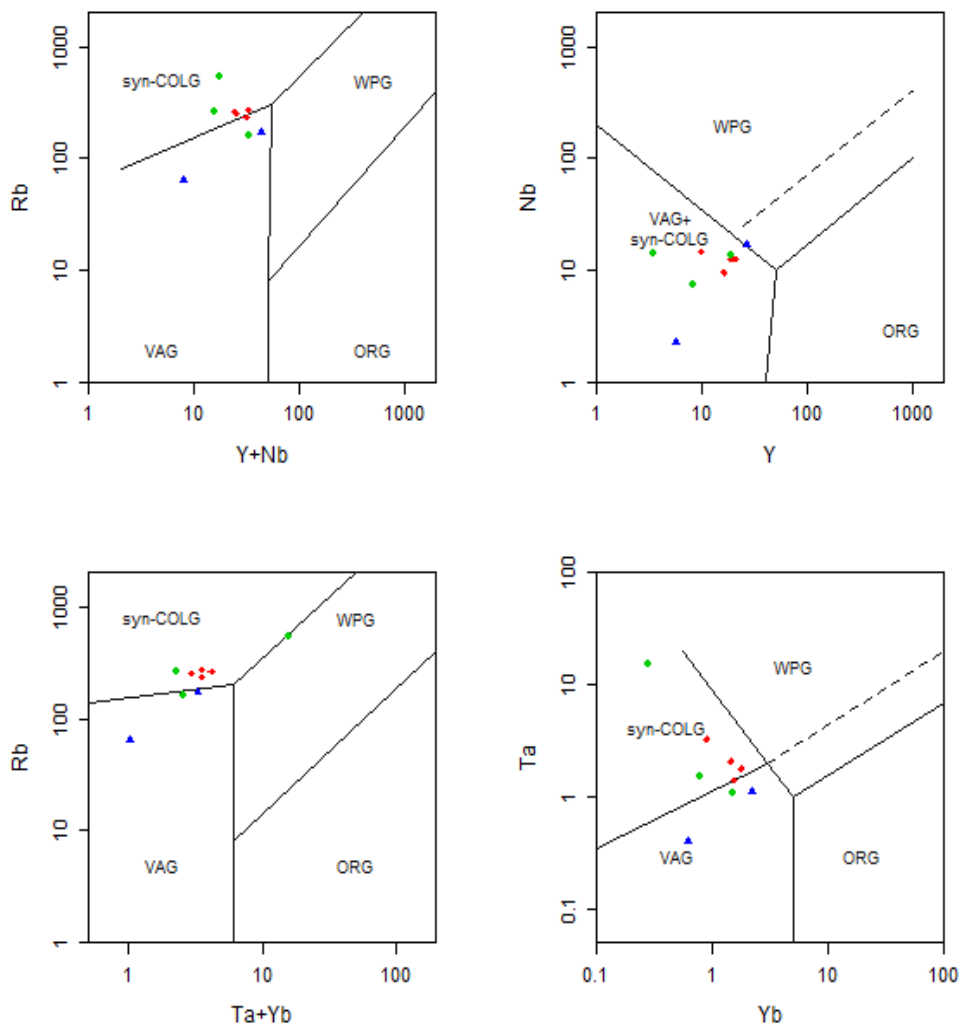




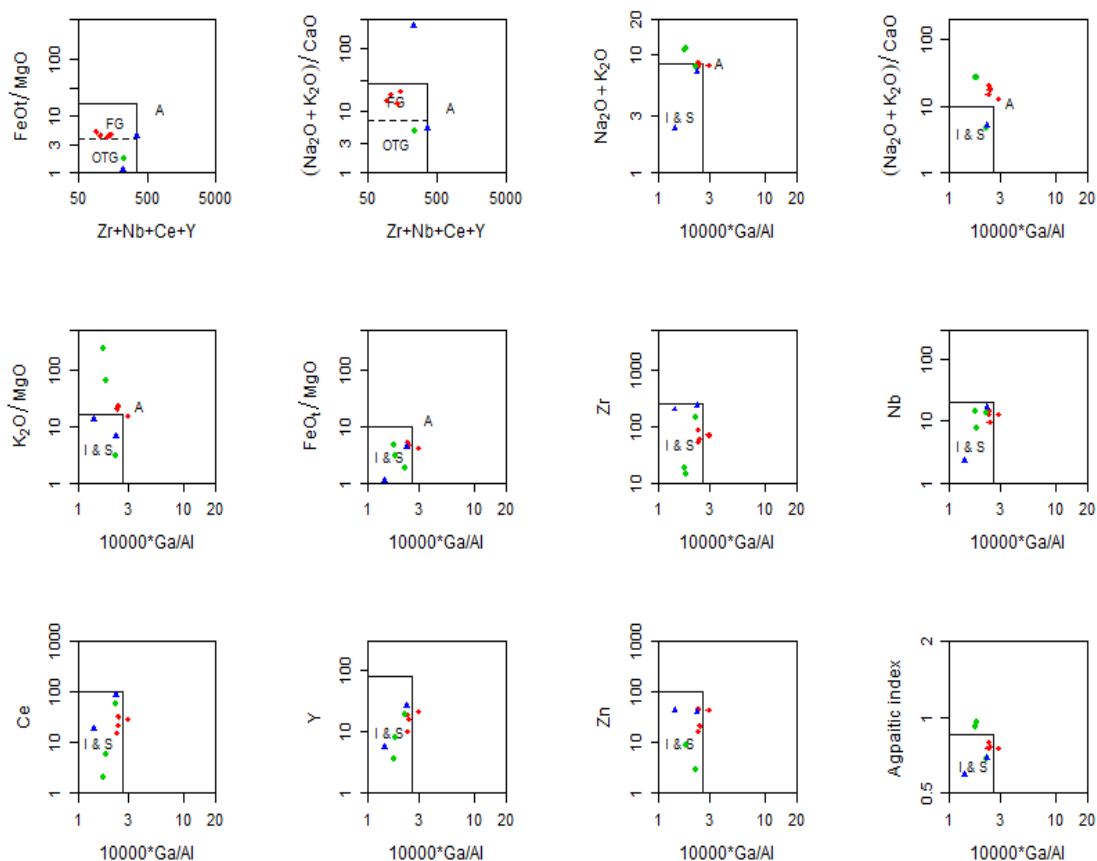
**Slika 28.** Diskriminacijski dijagrami geotektonskog okruženja **A)** Irvine & Baranger (1971) AFM klasifikacijski dijagram. Svi uzorci pripadaju kalcijsko-alkalijskoj seriji. **B)** Geotektonski klasifikacijski dijagram Rb/30- Hf – 3Ta prema Harris et al. (1986). WP- graniti unutar ploča, VA – graniti vulkanskog luka, Group 2 – sinkolizijski graniti, Group 3 – postkolizijski graniti. Uzorci jedino ne padaju u polje WP- (granita unutar ploča), dok ih je najveći broj projiciran u sinkolizijske granite iako su tri uzorka svrstana u polje granita otočnog luka i jedan u postkolizijske granite.

Klasifikacijski dijagrami koji upotpunjuju saznanje o geotektonskom smještaju uzoraka su dijagrami prema Pearce et al. (1984). Pokazuju omjere između elemenata u tragovima (slika 29) te je velika većina uzoraka pala u polja sinkolizijskih i granita vulkanskih lukova.

Usporedo klasifikacijskim dijagramima vezanim uz geotektonski smještaj, podrijetlo materijala iz kojeg je magma nastala također je bitno za ustanoviti. Prema Whalen et al. (1987) klasifikacijskim dijagramima, velika većina uzoraka projicira se u polje I- i S- tipa magmi (slika 30).

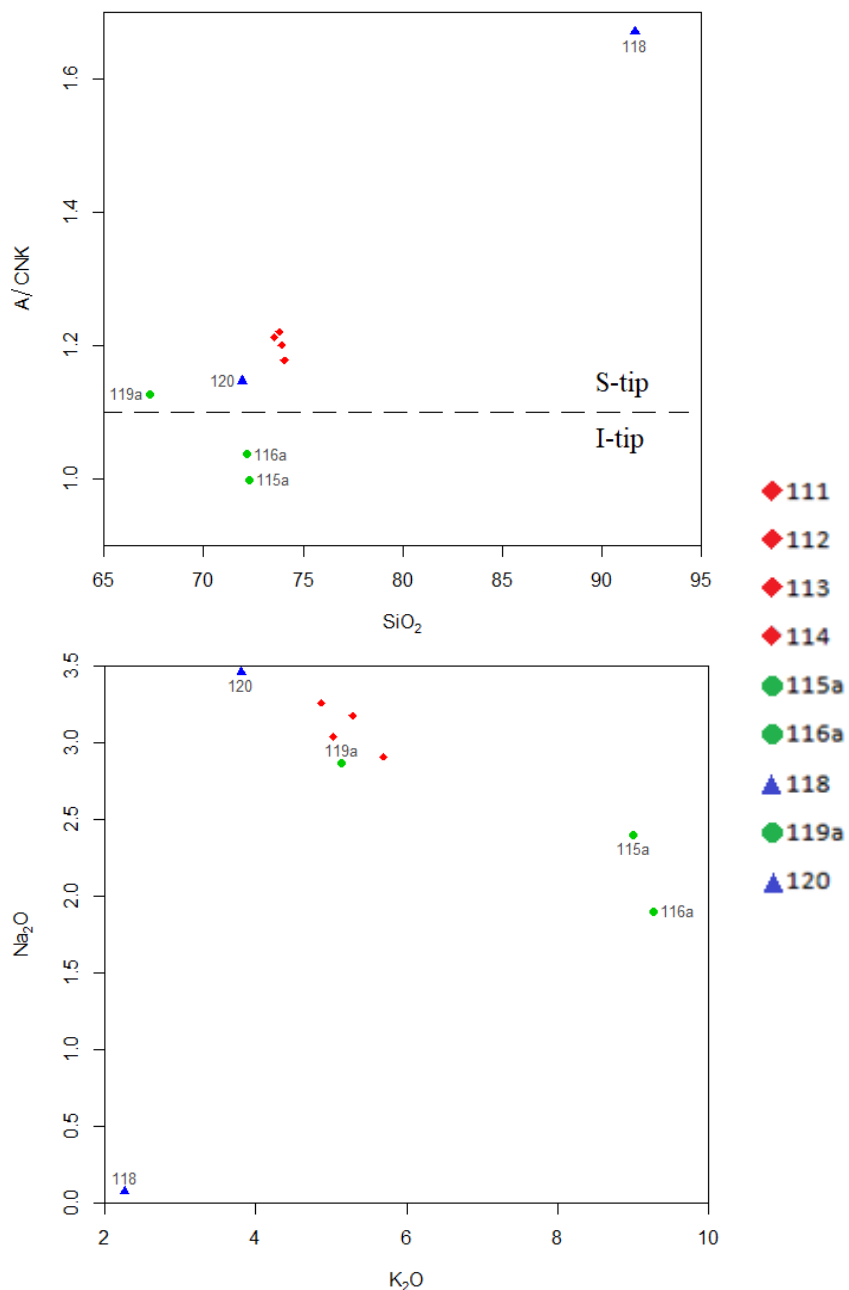


**Slika 29.** Klasifikacijski dijagrami s obzirom na geotektonski položaj prema Pearce et al. (1984). ORG – graniti srednjooceanskih hrptova, VAG – graniti vulkanskih lukova, WPG – graniti unutar ploča i syn-COLG – sinkolizijski graniti.



**Slika 30.** Klasifikacijski dijagrami za determinaciju A-tipa granita za razliku polja I- i S-tipa prema Whalen et al. (1987), temeljem omjera između glavnih elemenata i elemenata u tragovima. Većina uzoraka se projicira u polja I- i S- tipa magmi. ORG - nefrakcionirani I-, S- i M- graniti; FG – felsični graniti.

Budući da se po rezultatima klasifikacijskih dijagrama prema Whalen et al. (1987) velika većina uzoraka svrstava u polje I- i S- tipa magmi, daljnja distinkcija je nužna ukoliko se želi doći do približno jednoznačnih rezultata. Imajući to za cilj, binarni klasifikacijski dijagram na temelju podataka iz Chappell & White (2001) sugerira kojem tipu magme pripada pojedini uzorak (slika 31A), gdje je granica između S-tipa i I-tipa granita  $A/CNK=1.1$  pa se tako po spomenutoj literaturi uzorci 115a i 116a projiciraju u polje magma I-tipa, a svi ostali unutar S-tipa magmi. Zadnji binarni dijagram pokazuje grupiranje šest uzoraka između 3.0 wt% za  $Na_2O$  i 4-6 wt% za  $K_2O$  (slika 31B) što bi išlo u prilog leukogranitima iz rada Balen & Petrinec (2010), dok se krupnozrnati 115a i 116a ponašaju vrlo slično, ali su ipak odvojeni od ostatka. Uzorak 118 se kao i u većini dijagrama ponaša kao potpuno zasebni uzorak po svojim karakteristikama pa tako i omjeru  $Na_2O$  i  $K_2O$ .



**Slika 31. A)** Binarni varijacijski dijagram s omjerom SiO<sub>2</sub> nasuprot indeksa zasićenja aluminijem gdje su crveni uzorci izrazito grupirani, zeleni uzorci 115a & 116a su jedan blizu drugoga u polju I-tipa dok 119a malo odstupa svojom vrijednošću i pada u polje S-tipa. Plavi uzorci prikazuju ogromno odstupanje, ali padaju u polje S-tipa granita. **B)** Harkerov dijagram Na<sub>2</sub>O i K<sub>2</sub>O. Crveni uzorci su opetovano izvrsno grupirani, zeleni stanovito odstupaju glede uzorka 119a, a plavi uzorci pokazuju veliko odstupanje.

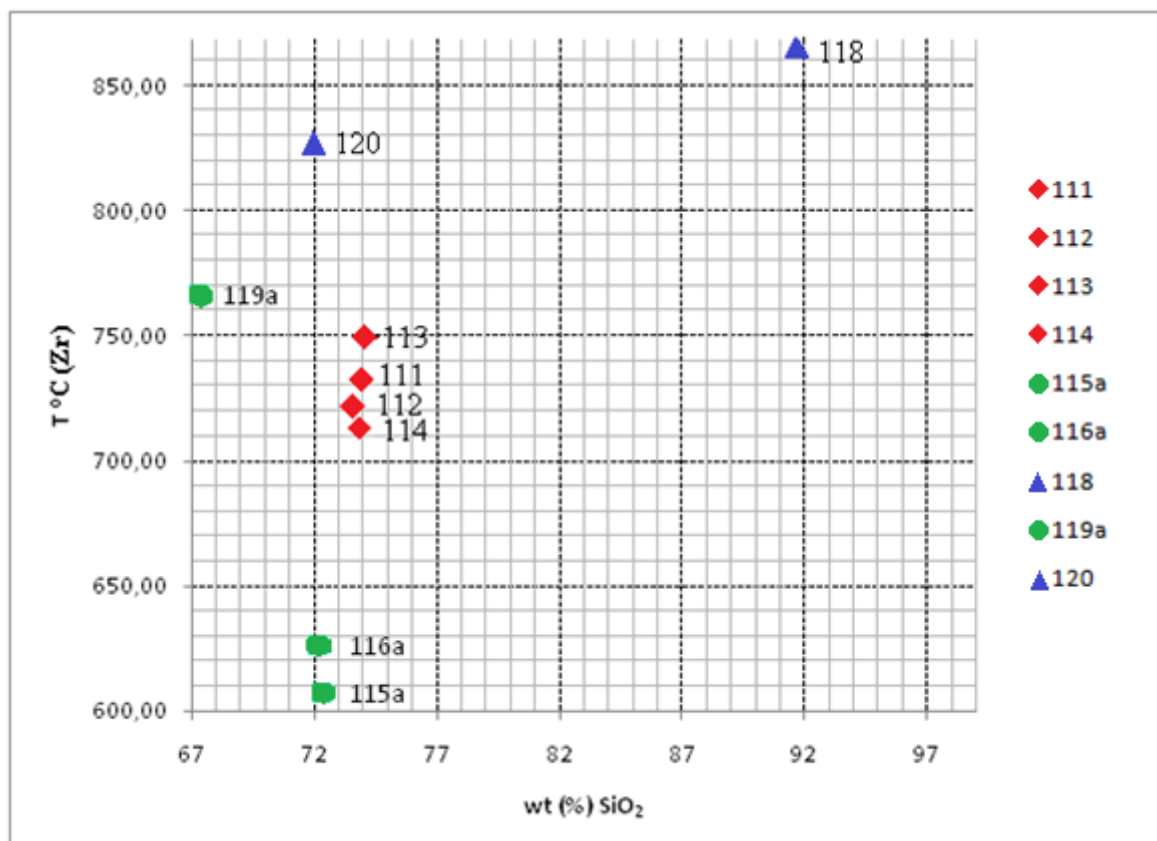
## 4.5. Termometrija utemeljena na sadržaju cirkonija

Temperature zasićenja cirkonijem omogućuju davanje detalja o termalnoj evoluciji magmatskih stijena. Za njihovo dobivanje potrebni su određeni geokemijski podaci dobiveni cjelostijenskom analizom (tablica 3) pomoću kojih se izračunavaju vrijednosti temperatura. Visoke se temperature očitavaju kod uzoraka sa većim udjelom biotita (slika 32), oko 700-750°C za sitnozrnate dvotinjčaste, dok se 115a i 116a za razliku od 119a, ponovno grupiraju vrlo blizu jedan drugom i to ovaj put na otprilike 610-630°C.

**Tablica 3.** Prikaz vrijednosti glavnih elemenata (u postotnom udjelu) u vidu oksida te vrijednost cirkonija izražena u ppm-ovima.

uzorak	111	112	113	114	115a	116a	118	119a	120
Zr	70,1	59,2	86,5	52,4	13,9	17,8	196,7	143,5	231
SiO <sub>2</sub>	73,94	73,57	74,08	73,82	72,31	72,18	91,68	67,3	71,95
TiO <sub>2</sub>	0,16	0,11	0,15	0,14	0,07	0,01	0,11	0,47	0,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,14	14,32	13,79	13,95	14,43	14,43	4,31	15,13	14,27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,48	1,17	1,28	1,45	0,46	0,21	0,21	3,32	2,75
MnO	0,04	0,03	0,03	0,04	0,01	0,01	0,005	0,04	0,03
MgO	0,32	0,23	0,25	0,25	0,14	0,04	0,17	1,67	0,58
CaO	0,63	0,47	0,42	0,54	0,42	0,42	0,01	1,73	1,45
Na <sub>2</sub> O	3,26	3,18	2,91	3,04	2,4	1,9	0,07	2,87	3,46
K <sub>2</sub> O	4,87	5,29	5,69	5,03	9	9,27	2,26	5,14	3,81
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,27	0,19	0,19	0,24	0,27	0,7	0,03	0,24	0,12
<i>TotMol</i>	1,76	1,75	1,75	1,75	1,78	1,76	1,67	1,74	1,75
<i>M</i>	1,19	1,18	1,21	1,16	1,48	1,42	0,65	1,38	1,28

$T(\text{Zr})^{\circ}\text{C} (M)$	735,89	723,42	751,69	715,18	607,66	626,07	868,78	781,74	832,78
<i>FM</i>	1,23	1,21	1,24	1,20	1,50	1,42	0,71	1,60	1,35
$T(\text{Zr})^{\circ}\text{C} (FM)$	733,15	721,52	749,44	713,11	606,73	625,80	864,11	766,06	826,76



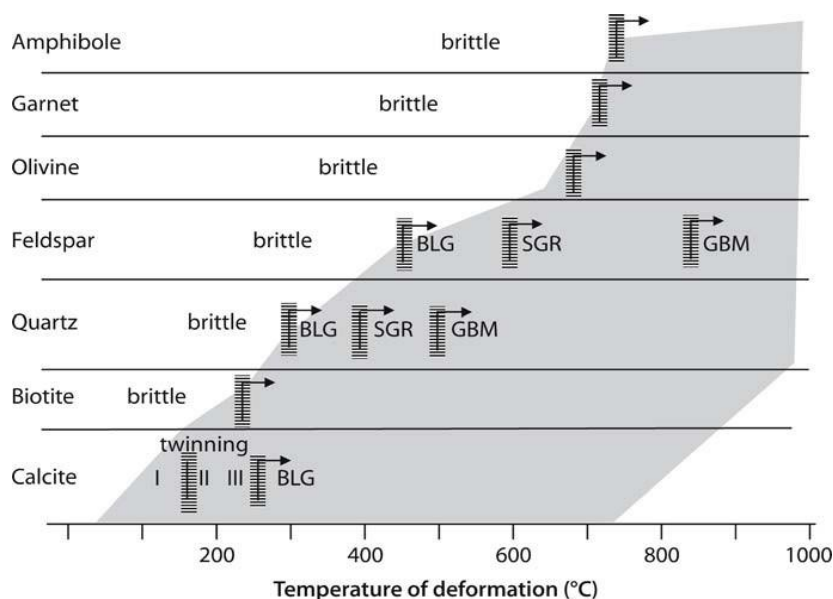
**Slika 32.** Grafički prikaz vrijednosti temperature cirkonija u odnosu na udio SiO<sub>2</sub> u uzorcima

## 5. Rasprava

### 5.1. Pregled mikrostruktura u uzorcima

Budući da se granitoidne stijene sastoje u najvećoj mjeri od mineralnih faza kvarca, feldspata (i/ili plagioklasa) te od onih grupe tinjaca, najčešće biotita i muskovita, radi boljeg razlikovanja, svih devet uzoraka grupirano je u tri osnovne skupine, a kriterij su bila mineraloška svojstva pojedinih granitoidnih varijeteta. Tako su se u prvu skupinu grupirali uzorci 115a, 116a i 119a sa krupnijim leukokraskim mineralima (feldspati+kvarc), zajedničkim imenom nazvani pegmatit. Drugu skupinu predstavljaju uzorci (118 i 120) koji imaju povišeni volumni postotak biotita u odnosu na ostale (15-20%). Zadnja, treća skupina, su uzorci klasificirani kao sitnozrnati dvotinjčasti, s oznakama 111, 112, 113 i 114. Karakterizira ih sitnozrnata osnova u kojoj se najčešće pojavljuju kvarc i kalijski feldspat te manjoj mjeri minerali grupe tinjaca biotit i muskovit (~10 vol.%).

Nakon magmatske kristalizacije, stijena može proći procese naprezanja i deformacije uzrokovanih metamornim događajima, hidrotermalnim izmjenama u zemljinoj kori itd. te pritom ostaviti „zapis“ koji nam omogućuje praćenje i interpretaciju mikrostruktura koje su na taj način nastale. Stoga će različite mineralne faze tvoriti neistovjetne strukture ukoliko na njih primjenimo iste temperature (slika 33), a sve je to posljedica različitih kristalnih rešetki koje minerali posjeduju. Mikrostrukture koje nastaju tijekom deformacije možemo podijeliti na strukture oporavka te strukture dinamičke rekristalizacije koje zahtijevaju malo više temperature. Mikrostrukture koje se vide na izbrusku zapravo predstavljaju ogledalo procesa, bilo metamornih ili sukcesivnih deformacija koje bivaju „zamrznute“ u vremenu. Ovisno o temperaturi, minerali se ponašaju krto, što pogotovo vrijedi za niže temperature zalijeganja, ili plastično ako gledamo prema većim dubinama zalijeganja što ujedno znači i više temperature.



**Slika 33.** Temperaturna ovisnost mehanizama deformacije za različite minerale. Trake označavaju prijelazne zone. Strelice označavaju učinak brzine napreznja. BLG, SGR, GBM - glavne vrste rekristalizacije. Sivkasta domena je područje kristaloplastične deformacije. Preuzeto iz Passchier & Trouw (2005).

Uzimajući u obzir temperaturu nastanka pojedinih struktura, zamijećuje se kod svih devet uzoraka struktura oporavka poput unduloznog potamnjenja kvarca, a nastaje na otprilike 300°C, dok je kod zrna feldspata prisutna na sitnozrnatim dvotinječastim uzorcima 116a, 119a i 120 i javlja se na temperaturi od približno 400°C. Kada je riječ o plastičnoj deformaciji tj. dinamičkoj rekristalizaciji odnosno mehanizmu redukcije štete tada se kod svih devet uzoraka odmah zamijećuje i dokazuje deformacijske procese u zemljinoj kori nakon kristalizacije.

Srednjotemperaturna struktura dinamičke rekristalizacije jest rotacija podzrna, a javlja se na temperaturi od otprilike 400°C do 600°C gdje niža vrijednost pripada kvarcu te viša feldspatu. Uzorci te strukture se prikazuju u svih devet mikroskopskih preparata u manjoj ili većoj mjeri gdje bi njihov nastanak upućivao da su se nalazili u to vrijeme u metamofnom facijesu zelenih škriljavaca (npr. Starijaš et al., 2010; Pamić, 1990) ukoliko gledamo temperaturne pokazatelje.



## 5.2. Interpretacija opaženih geokemijskih karakteristika

Klasifikacija uzoraka prema dijagramu TAS Cox et al. (1979) pokazuje projiciranje rezultata pretežito u polje granita i to većina pod subalkalnu/toleitnu seriju, izuzev 115a i 116a koji spadaju u alkalnu seriju. Slični rezultati, kada je riječ klasifikacijskom dijagramu prema De la Roche et al. (1980) prikazuju zapravo slične pokazatelje, a to su da uzorci 115a i 116a pripadaju alkalnim granitima, kao i uzorak 118, dok ostali potpadaju u područje „običnog“ granita. Važno je spomenuti da su 115a i 116a uzorci alkalne serije jer pokazuju suvišak alkalnih komponenti u odnosu na silicij kao što je slučaj i sa klasifikacijskim dijagramom De la Roche et al. (1980) koji pokazuje da je 118 također pokazatelj alkalija u suvišku pa se uzorci stoga nazivaju alkalni graniti. Uzorak 113 iz skupine sitnozrnatih dvotinjčastih pokazuje graničnu vrijednost između „običnog“ i alkalnog granita, no kako su sva tri ostala uzorka iz spomenute skupine po rezultatima vrlo blizu jedan drugome, na ovo neznatno odstupanje nebi trebalo davati preveliku važnost.

Binarni klasifikacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) pokazuju omjere  $\text{SiO}_2$  sa  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  te  $\text{FeO}_{\text{tot}}$ . Uz trendove frakcionacije, koji se relativno slabo uočavaju (osim sitnozrnatih dvotinjčastih uzoraka koji pokazuju izrazito grupiranje podataka), nemamo izražene linearne trendove već su svi uzorci pomalo raspršeni bez obzira koji dijagram gledali pa tako ne možemo zamijetiti izraženiju korelaciju, bilo negativnog ili pozitivnog karaktera.

Ukoliko gledamo klasifikacijske dijagrame prema Frost et al. (2001), uzimajući u obzir na osi ordinate mafitni indeks, uzorci su svrstani u međuvrijednost željezom bogatih magmi kojem pripadaju 112 i 115a, i magnezijem bogatih magmi sa svim ostalim uzorcima koji se u potonje polje projiciraju. Također prikazuju veliki udio svstavanja uzoraka u alkalijsko-kalcijsku, manji dio u alkalijsku dok samo jedan uzorak 118 u kalcijsku seriju. Svi uzorci su peraluminoznog karaktera i poklapaju se sa rezultatima iznesenim u svim dosadašnjim radovima o granitima Moslavačke gore (npr. Pamić, 1990; Starijaš et al., 2010; Balen & Broska, 2010 itd).

Na dijagramu normalizacije prema Boytonu (1984) na REE hondrit zamjetna je europijeva anomalija, što ukazuje na frakcionaciju plagioklasa, dok na 115a i 116a linearni

trend nije pokazao rezultate anomalija iz razloga što plagioklasi u velikom broju nasu prisutni u tim uzorcima. Prema dijagramu normalizacije na hondrit Thompson (1982), uočava se izrazita negativna Ti anomalija koja je kod dijagrama normalizacije na gornju kontinentalnu koru prema Tayloru & McLennanu (1995) slabije izražena, a predstavljala bi vjerojatno posljedicu frakcionacije primjerice sfena, ilmenita ili rutila, dok bi Sr anomalija koja bi mogla označavati frakcionaciju apatita, no pegmatitni uzorci 115a i 116a potonju anomaliju ne prikazuju. S druge strane, negativna Th anomalija izrazito je vidljiva u oba dijagrama normalizacije kod pegmatitnih uzoraka 115a i 116a dok je kod drugih malo ili nimalo vidljiva, a kazuje nam na moguće frakcioniranje minerala bogatih torijem. Značajno je za primjetiti negativnu Nb anomaliju na dijagramu normaliziranom na hondrit koja je karakteristična za kontinentalnu koru te posljedično upućuje na uključenost materijala kore u magmatske procese.

Razmatrajući geotektonski smještaj, ukoliko promatramo situaciju u trokomponentnom AFM dijagramu, rezultati svih devet uzoraka nam kazuju da pripadaju kalcijско-alkalijskoj seriji što upućuje na obogaćenje  $\text{SiO}_2$  i alkalija te magmu iz konvergentnih granica ploča. Prema Harris et al. (1986) trokomponentnom dijagramu pokazuje se veliko rasprešenje rezultata na tri polja ukoliko ih promatramo zasebno, no svi sitnozrnati dvotinčasti uzorci se projiciraju u sinkolizijske granite, zatim manji udio u granite vulkanskog luka (118 & 120) dok se krupnozrnati procijiraju na skoro sva polja osim u granite unutar ploča. Kao geotektonska dopuna, Pearce et al. (1984) dijagrami kazuju slične rezultate gdje su svi uzorci projicirani u sinkolizijske i granite vulkanskog luka što spominje i Garašić et al. (2007) u svojem radu.

Što se tiče izvorišta materijala iz kojega je magma nastala, dijagrami prema Whalen et al. (1987), zamišljeni za razlikovanje A-tipa granita u odnosu na one I- i S-tipa te se na velikoj većini dijagrama primjećuje grupiranje uzoraka u zajedničko polje koje prikazuje da je materijal koji tvori granit nastao prerađivanjem iz magmatskih ili sedimentnih stijena. Alternativni prikaz dolazi u obliku rezultata na dijagramima prema Chappell and White (2001) gdje se razlikovanje I- i S- tipa granita odvija prilikom konstruiranja grafičkog prikaza na kojem je pri vrijednosti 1.1 A/CNK distinkcija između već dva spomenuta granita, onda se može zaključiti kako uzorci 115a i 116a pripadaju polju I-granita, dočim svih ostalih sedam uzoraka nalazi svoje mjesto u polju S-tipa granita. S obzirom na činjenicu da i neki dodatni procesi unutar kompleksnih magmatskih

sustava (kao npr. miješanje magmi ili frakcionacija uzrokovana izdvajanjem u manja magmatska tijela (Chappell (1996)) mogu imati utjecaj na ovako grupiranje uzoraka, dobivene podatke treba interpretirati s oprezom.

Što se tiče temperature zasićenja cirkonija u magmi uzorci prikazuju vrijednosti od otprilike 610-630°C za krupnozrnate uzorke 115a i 116a. Vrijednost od 730-750°C poprimili su sitnozrnati dvotinjčasti uzorci dok se najviše temperature očitavaju kod uzoraka sa većim udjelom biotita gdje im je gornja granica oko 850°C. Rezultati pokazuju malo odstupanje no što ih prezentiraju Balen & Broska (2010) kada su ustanovili raspon između 720–730°C, što zapravo pokazuje vrijednosti sitnozrnatih dvotinjčastih uzoraka u ovom radu koji su i jedini tipični graniti.

## 6. Zaključak

Na lokalitetu potoka Srednja rijeka koji se nalazi na sjeverozapadnim obroncima Moslavačke gore, uzorkovano je devet uzoraka granitoidnih varijeteta na kojima je napravljena analiza mineralnog sastava i petrografskih obilježja, kao i mikrostrukturnih karakteristika koje ukazuju na djelovanje naknadnih procesa naprezanja koji su uslijedili nakon solidifikacije granita. Proučeni su geokemijski pokazatelji koji su dali kvantitativne informacije o međusobnoj povezanosti promatranih stijena, izvorišnom materijalu i uvjetima njihova nastanka. Najbitnije je za istaknuti sljedeće:

- Budući da temperaturne granice nastanka mikrostrukture tj. između struktura oporavka i struktura mehanizama redukcije štete za pojedinačne minerale nisu oštre, vodeći se temperaturnom tablicom pojavljivanja mikrostrukture daje se zaključiti da svih devet uzoraka pokazuje relativno zastupljeno undulozno potamnjenje kvarca dok samo nekoliko undulozno potamnjenje feldspata što ukazuje na temperature od oko 250 - 350 °C.
- Neke od mehanizama vezane uz dinamičku rekristalizaciju odnosno mehanizama redukcije štete primjećujemo također kod svih uzoraka kada je riječ o strukturama stvaranja podzrna i rotacije podzrna koje se događaju u velikoj većini u facijesu zelenih škriljavaca što sugerira da temperature nisu premašivale vrijednosti 300-500°C.
- Prema klasifikacijskim dijagramima sitnozrnati dvotinjčasti uzorci pokazuju najbolje grupiranje podataka u polja „običnog“ granita dok se sve to prethodno ne može reći za krupnozrnate uzorke 115a i 116a koji stoje kao izvojeni u gotovo svim pokazateljima jer pokazuju suvišak alkalija i sami njihov naziv bi mogao biti alkalijski graniti. Uzorci sa povišenim udjelom biotita prikazuju rezultate alkalijskog granita i „običnog“ granita.
- Svih devet uzoraka je peraluminoznog karaktera ( $A/CNK > 1.1$ ), pokazujući međuvrijednosti magme obogaćene željezom i magnezijem te da pripadaju kalcijsko-alkalijskoj seriji. Geotektonski, uzorci spadaju među sinkolizijske i granite vulkanskog luka, dakle sugerirajući da se radi o uključenosti kontinentalne kore u genetske procese koji je dodatno upotpunjen prisutnom Nb anomalijom.
- Gledajući podrijetlo materijala iz kojeg je magma nastala, pokazatelji upućuju na S-tip granita, iako krupnozrnati 115a i 116a, kao što su i u svim prethodnim

dijagramima pomalo izdvojeni iz grupe upućuju na veću kemijsku sličnost I-tipu granita.

- Temperatura zasićenja cirkonijem u magmi kreće se od 600°C za najnižu te do 850°C za najvišu vrijednost gdje krupnozrnati uzorci predstavljaju najniže vrijednosti, a uzorci s višim udjelom biotita najviše, dočim sitnozrnati dvotinjčasti pokazuju izrazito grupiranje na oko 730-750°C, što pokazuje mala odstupanja od prethodnih radova na tu temu.
- Iz svega navedenog, može se zaključiti da graniti promatrani u sklopu izrade ovog diplomskog rada predstavljaju u osnovi iste tipove granita koji su ranije istraživani na širem području sjevera Moslavačke gore. Geokemijske specifičnosti pojedinih grupa mogu ukazivati na utjecaj lokalnih procesa, dok opažene mikrostrukturne karakteristike nastale uslijed djelovanja naprezanja ukazuju na subsolidusne promjene uzrokovane kasnijim tektonskim poremećajima koji su obilježili evoluciju ovog dijela kristalinske podloge Panonskog bazena.

## 7. Literatura

- Balen, D. (1999): Metamorfne reakcije u amfibolskim stijinama Moslavačke gore. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagreb, 264.
- Balen, D. & Broska, I. (2010): Tourmaline nodules-products of devolatilization within the final evolutionary stage of granitic melt?- Geol. Soc. London, Special publications 350, 53–68.
- Balen, D. & Petrinc, Z. (2010): Complex Cretaceous evolution of the Moslavačka Gora crystalline: different aspects from various types of “foreign” and “cognate” enclaves inside granites. 4. Hrvatski geološki kongres, Zagreb, 135–136.
- Balen, D. & Petrinc, Z. (2011): Contrasting tourmaline types from peraluminous granite: a case study from Moslavačka gora (Croatia). *Mineralogy and Petrology*, 102(1), 117–134.
- Bons, P. D., Urai, J. L. (1992): Syndeformational grain growth: microstructures and kinetics. *J. Struct. Geol.*, 14, 1101–1109
- Boyton, W. V. (1984): Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Rare earth element geochemistry (Ed.: Henderson, P. ). Elsevier, 63–114.
- Chappell, B. W. (1996): Magma Mixing and the Production of Compositional Variation within Granite Suites: Evidence from the Granites of Southeastern Australia. *Journal of Petrology*, 37/3, 449–470.
- Chappell, B. W. & White, A. J. R. (1974): Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8, 173–174.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R. (1983): Granitoid Types and Their Distribution in the Lachlan Fold Belt, Southeastern Australia. *Geological Society of America Memoirs*, 159, 21–34. <http://dx.doi.org/10.1130/MEM159-p21>.
- Chappell, B. W. & White, A. J. R. (2001): Two Contrasting Granite Types. 25 Years Later. *Australian Journal of Earth Sciences*, 48, 489–499. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1440-0952.2001.00882.x>.
- Clarke, D.B. (1992): *Granitoid Rocks*. Chapman and Hall, London, 1–15.
- Cox, K. G., Bell, J. D. & Pankhurst R. J. (1979): *The Interpretation of Igneous Rocks*. George Allen and Unwin, London, 450 str.
- De La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P. & Marchal, M. (1980): A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major element analyses – its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology* 29, 183–210.

- Frost, B. R., Branes, C. G., Collins, W. J., Arculus, R. J., Ellis, D. J. & Frost, C. D. (2001): A Geochemical Classification for Granitic Rocks. *Journal of Petrology*, 42/11, 2033–2048.
- Garašić, V., Kršinić, A., Schuster, R. & Vrkljan, M. (2007): Leucogranite from Srednja rijeka (Moslavačka gora, Croatia). 8th Workshop on Alpine geological studies, 21–21.
- Harris, N. B. W., Pearce, J. A. & Tindle, A. G. (1986): Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward M.P. and Reis A.C. (eds.), *Collision tectonics. Special Publications*, London, Geological Society, 19, 67–81.
- Irvine, T. N. & Baranger, W. R. A. (1971): A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523–548.
- Janousek, V., Farrow, C. M., Erban, V. & Moyen J. F. (2019): Geochemical Data Toolkit (GCDkit) written in R language. User's Guide to version 6.0. Preuzeto s [http://www.gcdkit.org/doc/getting\\_started.pdf](http://www.gcdkit.org/doc/getting_started.pdf), (2.2. 2020.)
- Kišpatić, M. (1889): Kristalinični trup Moslavačke gore. *Rad JAZU*, Zagreb, 1–19.
- Koch, F. (1899): Prilog geološkom poznavanju Moslavačke gore. *Rad JAZU*, 139 (27), Zagreb, 1–24.
- Mesić, L. (2018): Geomorfološka obilježja Moslavačke gore. *Diplomski rad*, 58 str.
- Palinkaš, L. A., Palinkaš, S. S., Bermanec, V., Borojević-Šoštarić, S., Balogh, K., Neubauer, F. & Žigovečki-Gobac, Ž., (2000): Fluid inclusion data and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age of the Srednja rijeka pegmatite, Moslavačka gora MTS., Croatia. *Estudios geológicos*, v. 19 (2), 2009, 276–278.
- Pamić, J. (1990): Alpine granites, migmatites and metamorphic rocks from Mt Moslavačka Gora and the surrounding basement of the Pannonian Basin (Northern Croatia, Yugoslavia). *Rad Jugoslovenske Akademije Znanosti i Umjetnosti*, 10, 7–121.
- Pamić, J., Krkalo, E. & Prohić, E. (1984): Granitne stijene sjeverozapadnog dijela Moslavačke gore u sjevernoj Hrvatskoj. *Geologija – razprave in poročila* 27, Ljubljana, 201–211.
- Pamić, J., Balen, D., & Tibljaš, D. (2002): Petrology and geochemistry of orthoamphibolites from the Variscan metamorphic sequences of the South Tisia in Croatia—an overview with geodynamic implications. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 91, 787–798.
- Passchier, C. W. & Trouw, R. A. J. (2005): *Microtectonics*. Springer, Berlin, 40–55.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. & Tindle, A. G. (1984): Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956–981.
- Pryer, L. L. (1993): Microstructures in feldspars from a major crustal thrust zone: the Grenville Front, Ontario, Canada. *J. Struct. Geol.* 15: 21–36.

- Rezaaiyaan, R., Hieftje, G. M., Anderson, H., Kaiser, H. & Meddings B. (1982) : Design and Construction of a Low-Flow, Low-Power Torch for Inductively Coupled Plasma Spectrometry. *Applied Spectroscopy*. 36 (6), 627–631.
- Shigematsu, N. (1999): Dynamic recrystallization in deformed plagioclase during progressive shear deformation. *Tectonophysics* 305: 437–452.
- Starijaš, B., Gerdes, A., Balen, D., Tibljaš, D. & Finger, F. (2010): The Moslavačka gora crystalline massif in Croatia: A Cretaceous heat dome within remnant Ordovician granitoid crust. *Swiss Geological Society* 2010, 62–80.
- Stipp, M., Stünitz, H., Heilbronner, R., & Schmid, S. M. (2002): The eastern Tonale fault zone: a “natural laboratory” for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700 °C. *J. Struct. Geol.* 24 : 1861–1884.
- Tang, M., McDonough, W. F. & Ash, R. D. (2016): Europium and strontium anomalies in the MORB source mantle. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, (197), 132–141.
- Taylor, S., R. & McLennan, S. M. (1995): The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews in Geophysics* 33, 241–265.
- Thomas, Robert (2001): *A Beginner's Guide to ICP-MS. Spectroscopy* , Advanstar Communications, 1–75.
- Thompson, R. N. (1982): British Tertiary volcanic Province. *Scottish Journal of Geology*, 18, 49–107.
- Tučan, F. (1953): Nov prinos poznavanju kristalinih stijena Moslavačke gore. *Spom. Miše Kišpatića, JAZU*, 39–69.
- Watson, E. B. & Harrison, T. M. (1983): Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth Planet Sci. Lett.* 64: 295–304
- Watson, E. B., Wark, D. A. & Thomas, J. B. (2006): Crystallization thermometers for zircon and rutile. *Contrib. Mineral. Petrol.* 151,413–433.
- Whalen, J. B., Currie, K. L. & Chappell, B. W. (1987): A-Type Granites - Geochemical Characteristics, Discrimination and Petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 95(4), 407–419.
- Wolf, H. (1862) : Sitzungen der k.k. Geologischen Reichsanstalt. Sitzung an 29 April 1862. *Jahrb. Geol. Reichsan.*, 12 (3), 229, Wien.



## 8. Popis slika u tekstu

- Slika 1.** Smještaj Moslavačke gore u sklopu Republike Hrvatske (preuzeto iz Mesić, L., 2018, diplomski rad)
- Slika 2.** Geološka karta Moslavačke gore i lokalitet Srednja rijeka
- Slika 3.** Isječak topografske karte M 1:25 000 sa označenim kamenolomom Srednja rijeka te mjestima uzorkovanja
- Slika 4.** Makroskopski uzorak stijene 111
- Slika 5.** Makroskopski uzorak stijene 112
- Slika 6.** Makroskopski uzorak stijene 113
- Slika 7.** Makroskopski uzorak stijene 114
- Slika 8.** Makroskopski uzorak stijene 115a
- Slika 9.** Makroskopski uzorci stijene 116a
- Slika 10.** Makroskopski uzorak stijene 118
- Slika 11.** Makroskopski uzorak stijene 119
- Slika 12.** Makroskopski uzorci stijene 120
- Slika 13.** Mikroskopski uzorak 111 (N-, N+)
- Slika 14.** Mikroskopski uzorak 112 (N-, N+)
- Slika 15.** Mikroskopski uzorak 113 (N-, N+)
- Slika 16.** Mikroskopski uzorak 114 (N-, N+)
- Slika 17.** Mikroskopski uzorak 115a (N-, N+)
- Slika 18.** Mikroskopski uzorak 116a (N-, N+)
- Slika 19.** Mikroskopski uzorak 118 (N-, N+)
- Slika 20.** Mikroskopski uzorak 119a (N-, N+)
- Slika 21.** Mikroskopski uzorak 120 (N-, N+)
- Slika 22.** TAS dijagram (Cox et al., 1979.).
- Slika 23.** R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> dijagram (De la Roche et al., 1980).
- Slika 24.** Binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami)
- Slika 25.** Dijagrami klasifikacije za magme prema Frost et al. (2001).
- Slika 26. A)** multielementni dijagram uzoraka normaliziranih na REE hondrit prema Boyton (1984) i **B)** multielementni dijagram uzoraka normaliziranih prema Thompson (1982).
- Slika 27.** Dijagram normalizacije na gornju kontinentalnu koru prema Taylor & McLennan (1995).
- Slika 28 A)** Geotektonski klasifikacijski dijagram Rb/30- Hf – 3Ta prema Harris et al. (1986). **B)** Irvine & Barager (1971) AFM klasifikacijski dijagram.
- Slika 29.** Klasifikacijski dijagrami s obzirom na geotektonski položaj prema Pearce et al. (1984).
- Slika 30.** Klasifikacijski dijagrami za determinaciju A- tipa granita za razliku polja I- i S-tipa prema Whalen et al. (1987),

**Slika 31.** **A)** Binarni varijacijski dijagram s omjerom SiO<sub>2</sub> nasuprot indeksa zasićenja aluminijem; **B)** Harkerov dijagram Na<sub>2</sub>O i K<sub>2</sub>O

**Slika 32.** pokazatelj vrijednosti temperature cirkonija u odnosu na udio SiO<sub>2</sub> u uzorcima

**Slika 33.** Temperaturna ovisnost mehanizama deformacije za različite minerale.

## 9. Popis tablica u tekstu

**Tablica 1.** Klasifikacija tipova granita prema izvorišnom materijalu i njegovih bitnih karakteristika. Podaci dobiveni iz Clarke (1992) i Chappell & White (1983)

**Tablica 2.(od a do c)** Udio glavnih i sporednih elemenata u uzorcima

**Tablica 3.** Prikaz vrijednosti glavnih elemenata ( u postotnom udjelu) u vidu oksida te vrijednost cirkonija izražena u ppm-ovima.

