

Značaj nanogranita u evoluciji kontinentske kore primjer Slavonskih planina

Bertetić, Korado

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:217:322731>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-10**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Korado Bertetić

**Značaj nanogranita u evoluciji kontinentske kore –
primjer Slavonskih planina**

Seminar III
Preddiplomski studij geologije

Mentor:
prof. dr. sc. Dražen Balen

Zagreb, 2023.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Seminar III

Značaj nanogranita u evoluciji kontinentske kore – primjer Slavonskih planina

Korado Bertetić

Rad je izrađen: Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Horvatovac 102a

Sažetak:

Nanograniti su od svog otkrića bili predmet brojnih istraživanja zbog njihovih karakteristika koje nam daju informacije o taljevini i uvjetima koji su vladali tijekom kristalizacije minerala u kojima se nalaze. Osim toga može upućivati na promjenu stanja naprezanja u kori. Nekad se smatralo da nanogranit upućuje na visokotlačne uvjete kristalizacije, ali otkrilo se da ne mora uvijek biti tako. Slavonske planine (naročito Papuk i Požeška gora) također su jedno od nalazišta nanogranita koji se u ovom slučaju nalazi u cirkonima. Cilj ovog rada bio je proučiti nanogranit i njegove sastavnice iz literature i nalaze nanogranita iz Slavonskih planina, te korištenjem klasične petrografske analize pronaći uklopke u cirkonima kao potencijalne kandidate za daljnja, detaljnija istraživanja.

Ključne riječi: nanogranit, kokchetavite, kumdykolite, Požeška gora, Papuk

Rad sadrži: 25+IV stranica, 15 slika, 0 tablica, 29 literaturnih navoda i 0 tabli

Jezik izvornika: hrvatski

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

Mentor: prof. dr. sc. Dražen Balen

Ocjenjivači: prof. dr. sc. Dražen Balen

doc. dr. sc. Zorica Petrinec

doc. dr. sc. Maja Martinuš

Datum završnog ispita: 14.09.2023.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Seminar III

The significance of nanogranites in the evolution of the continental crust - the example of the Slavonian Mountains

Korado Bertetić

Thesis completed in: Faculty of Science, Department of Geology, Horvatovac 102a

Abstract:

Since their discovery, nanogranites have been the subject of numerous studies due to their characteristics that give us information about the original melt and the conditions that prevailed during the crystallization of the minerals in which they are found. In addition, it may indicate a change in the tectonic regime in the crust. Nanogranites were once thought to indicate high-pressure conditions of crystallization, but it was determined that this may not always be the case. The Slavonian Mountains (especially Mt. Papuk and Mt. Požeška gora) are also one of the places where nanogranite can be found, which in this case is found in zircons. The aim of this paper was to study nanogranites and their components from literature and findings of nanogranites from the Slavonian Mountains, and using classic petrographic analysis to find inclusions in zircons as potential candidates for further, more detailed research.

Keywords: nanogranite, kokchetavite, kumdykolite, Mt. Požeška Gora, Papuk

Seminar contains: 25+IV pages, 15 figures, 0 tables, 29 references, and 0 plates

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Central Geological Library, Department of Geology, Faculty of Science

Supervisor: Dražen Balen, Ph.D. Full Professor, PMF, Zagreb

Reviewers: Dražen Balen, Ph.D. Full Professor, PMF, Zagreb

Zorica Petrincec, Ph.D. Assistant Professor, PMF, Zagreb

Maja Martinuš, Ph.D. Assistant Professor, PMF, Zagreb

Date of the final exam: 14.09.2023.

Sadržaj

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Pregled spoznaja o istraživanom području i temi istraživanja	3
2.1.	Regionalno geološki smještaj	3
2.2.	Klasifikacija granita	4
2.3.	Nanograniti i njihov značaj.....	4
2.3.1.	Nanogranit iz Češkog masiva.....	6
2.3.2.	Nalazišta nanogranita u Hrvatskoj.....	7
3.	Materijali i metode istraživanja	9
3.1.	Priprema mikroskopskog preparata	9
3.2.	Izdvajanje teške frakcije sa cirkonima.....	9
3.3.	Materijali i metode opisani u literaturi.....	10
4.	Rezultati	11
4.1.	Mikrofiziografski opis stijene	11
4.2.	Optička analiza zrna cirkona.....	12
4.3.	Rezultati iz literature	14
5.	Rasprava.....	18
5.1.	Nastanak A tipa granitne taljevine	18
5.2.	Izvor taljevine.....	19
5.3.	Cirkoni iz stijena Slavonskih planina.....	20
5.4.	Usporedba cirkona s Trešnjevica i cirkona iz literature.....	21
6.	Zaključak	22
7.	Literatura	23

1. Uvod

Slavonske planine nalaze se u istočnom dijelu Hrvatske i čine ih Psunj, Papuk, Krndija, Dilj gora i Požeška gora. Zapadno od Požeške gore je Psunj, a istočno Dilj gora. Kapavac predstavlja najviši vrh Požeške gore s 618 metara nadmorske visine. Požešku goru primarno grade sedimentne stijene mlađekredne starosti i istovremene magmatske stijene s vulkanskim brečama. Okružena je neogenskim i kvartarnim naslagama vezanim uz evoluciju Panonskog bazena (BALEN et al., 2020). Papuk također predstavlja izdanak predneogenske osnove koju na području Papuka čine permske i jurske sedimentne stijene uz magmatske i metamorfne stijene nastale raznim orogenezama (hercinska i alpska)- (SCHNEIDER et al., 2022).

U stijenama s Požeške gore inkluzije nanogranita opažene su u cirkonu koji je nađen u granitu (BALEN et al., 2020), no također su opažene i u cirkonima iz kiselih vulkanskih stijena Papuka (SCHNEIDER et al., 2022). Granit je kisela intruzivna stijena. Sastavljena je prvenstveno od kremenca i feldspata s manjom količinom tinjaca (dominantno biotita). Spomenuta mineralna asocijacija u pravilu daje granitu crvenkastu, rozu ili sivu boju sa raspršenim crnim zrcima kroz stijenu. Granit nastaje sporim hlađenjem kisele magme u kontinetskoj kori. Osim granita, u kontekstu nanogranitnih inkluzija s područja Slavonskih planina od velike je važnosti i albitni riolit mlađekredne starosti s Papuka. Općenito, riolit je kisela efuzivna stijena koja osim kremenca i feldspata sadrži i plagioklase, te nešto manje hornblende i biotita. Najčešće nastaje erupcijom kisele magme koja se prije erupcije zadržala plitko u kori čime je došlo do značajnijeg pada temperature i početka kristalizacije. Upravo zato riolit najčešće pokazuje porfirnu strukturu u kojoj možemo vidjeti krupnije kristale (fenokristali) i sitnozrnatu osnovu u kojoj se nalaze. Međutim, riolit može nastati i bez prethodnog zaustavljanja i hlađenja magme plitko u kori, odnosno u tom slučaju odmah dolazi do erupcije, što znači da nastali riolit nema fenokristale nego je u potpunosti sitnozrnast (afanitski) ili s staklastom osnovom.

Cirkon ima strukturu nezosilikata, odnosno ima izolirane SiO_4 tetraedre. Kristalizira u holodriji tetragonskog sustava u vidu kombinacije formi prizme i dipiramide. Najčešće se nalazi u vidu akcesornog minerala u kiselim magmatskim stijenama (npr. granit). Kemijski čisti cirkon je bezbojan, ali razne nečistoće i metamiktizacija mogu mu dati boju (crvenkastu, smeđastu, žućkastu, itd.). Može biti izduženog oblika, ali ne mora. Omjer duljine i širine kristala granata ovisi o brzini

kristalizacije iz magme i vezan je uz brzinu hlađenja. Spomenuti omjer najčešće iznosi od 2-3 (PUPIN, 1980). Cirkoni često u sebe uklapaju uranij i torij pa su takvi primjerci korisni za određivanje starosti.

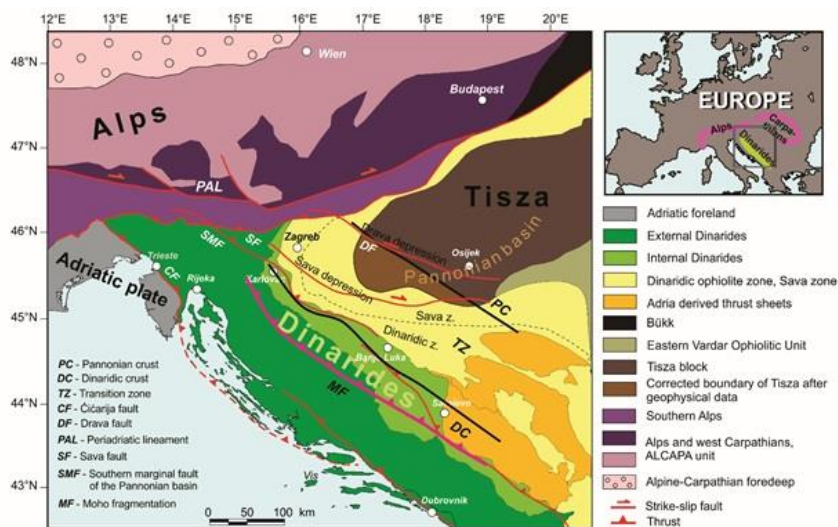
Nanograniti predstavljaju inkluzije taljevine nastale prilikom kristalizacije minerala u koje su uhvaćeni prilikom njihova rasta, odnosno kristalizacije. Sastavljeni su od polimorfnih modifikacija feldspata i SiO_2 , te mineralne faze koja u strukturi sadrži vodu (najčešće tinjci). Osim spomenutih minerala mogu biti prisutni i K-feldspati, staklo i kalcit, ali ne uvijek (FERRERO et al., 2016). Nanograniti su predmet istraživanja jer sadrže informacije o originalnoj taljevini i uvjetima koji su vladali prilikom kristalizacije.

2. Pregled spoznaja o istraživanom području i temi istraživanja

2.1. Regionalno geološki smještaj

Požeška gora nalazi se, geotektonski gledano, u Savskoj zoni (BALEN et al., 2020). Savska zona predstavlja suturnu zonu koja je nastala kao posljedica kolizije tektonskih ploča, u širem smislu Europe i Afrike (Tisije i podloge Dinarida). Područje Savske zone je tijekom mlađe krede i starijeg paleogena bilo područje zalučnog bazena koji se zatvorio sredinom eocena, kada je došlo do kolizije Tisije i Dinarida. Proteže se od Zagreba do Beograda i nakon toga skreće prema jugu i nastavlja se do Grčke (slika 1)-(SCHMID et al., 2008). Savska zona se u starijoj literaturi može naći pod nazivom Sava-Vardar zona. Požeška gora predstavlja najbolji izdanak stijena Savske zone u Hrvatskoj.

Papuk se nalazi sjeverno od Požeške gore i ne smatra se dijelom Savske zone jer dominantno pokazuje geološke značajke Tisije. Tisija je nekada bila dio Europe, ali se sredinom jure odvojila od nje. Najbolji izdanci naslaga Tisije u Hrvatskoj su upravo na Papuku (slika 1).



Slika 1 – Regionalna geološka karta koja prikazuje podjelu terena na zone. Žutom bojom prikazano je pružanje Savske zone, a smeđom Tisije. Preuzeto s <https://www.rgn.unizg.hr/en/studies/postgraduate-study/blog-en/2768-determination-of-the-earth-s-structure-by-local-earthquake-tomography-method>

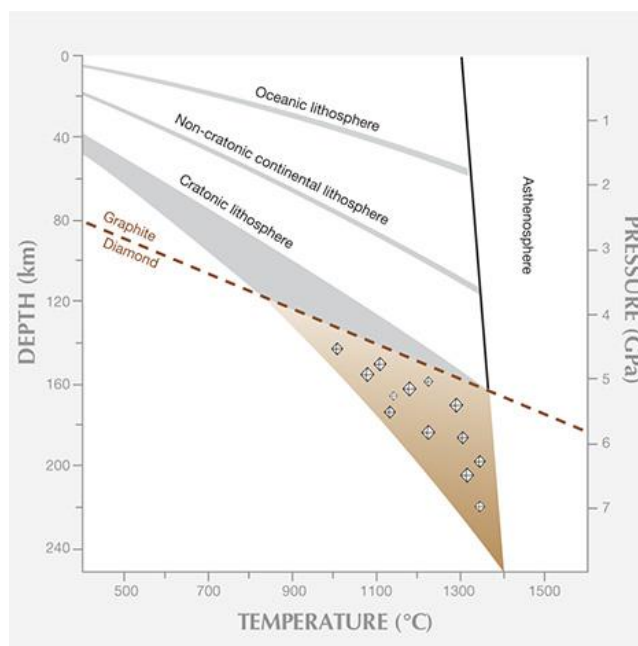
2.2. Klasifikacija granita

Najčešća klasifikacija je na temelju izvorišnog materijala u kojoj razlikujemo S-tip, A-tip, M-tip i I-tip granita. S-tip granita predstavlja granit nastao parcijalnim taljenjem metasedimenata. Bogat je aluminijem i nastaje u zonama regionalnog metamorfizma. A-tip granita je anorogeni granit koji nastaje na stabilnim kratonima. Sadrži do 77 tež% SiO₂. M-tip granita nastaje frakcionacijom plaštne taljevine. I-tip i S-tip granita mogu se formirati u zoni subdukcije (REGELOUS et al., 2021).

Graniti se još mogu klasificirati prema udjelu makroelemenata ili na temelju zasićenja aluminijem. Na temelju zasićenja aluminijem razlikujemo peraluminozni, peralkalni i metaluminozni granit. Peraluminozni granit ima više Al₂O₃ ($Al_2O_3 > CaO + Na_2O + K_2O$), a peralkalni ima manje Al₂O₃ ($Al_2O_3 < K_2O + Na_2O$). Metaluminozni granit ima $CaO + Na_2O + K_2O > Al_2O_3 > K_2O + Na_2O$ (SHAND et al., 1927). Kao parametar klasifikacije granitnih stijena može se razmatrati i morfologija cirkona. Ako razmatramo morfologiju cirkona, prema PUPIN (1980) granitne stijene možemo klasificirati u jednu od tri kategorije; granitoidi iz Zemljine kore, hibridni granitoidi (porijeklo vuku iz plašta i kore) i plaštni granitoidi.

2.3. Nanograniti i njihov značaj

Inkluzije nanogranita zapravo predstavljaju inkluzije vrlo specifičnog mineralnog sastava. Građene su, u slučaju granita Požeške gore, ali i riolita Papuka od kokchetavita, kumdykolita, kristobalita ili kremena (BALEN et al., 2020; SCHNEIDER et al., 2022). Moguća je i prisutnost dodatnih minerala kao što je npr. kalcit prisutan u nanogranitu Češkog masiva (FERRERO et al., 2015.). Dodatni minerali u nanogranitu mogu nam dati još informacija o taljevini iz koje su nastali spomenuti nanograniti (npr. prisutnost kalcita ukazuje da je u taljevini osim H₂O bio prisutan i CO₂). Nekad se smatralo se da je prisutnost kumdykolita i kokchetavita indikator visokog tlaka (HWANG et al., 2004; HWANG et al., 2009) jer su nađeni većinom u stijenama koje nastaju u polju stabilnosti dijamanta (slika 2). Primjerice, metamorfne stijene Češkog masiva su nosioci dijamanta.

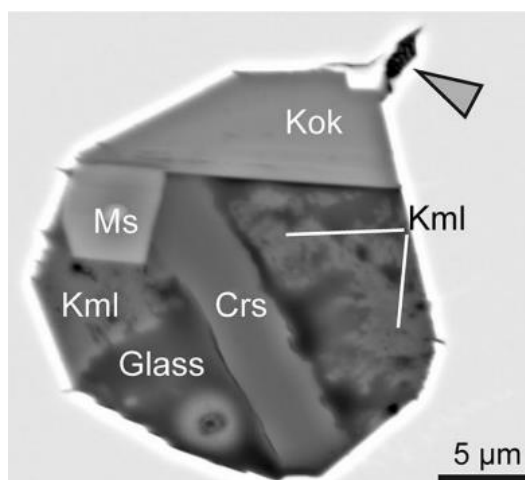


Slika 2 – Dijagram koji prikazuje polje stabilnosti dijamanta i grafita u ovisnosti o tlaku odnosno dubini (preuzeto iz SHIREY i SHIGLEY, 2013).

Minerali od najveće važnosti kod nanogranita su kokchetavit i kumdykolit. Kokchetavit je polimorfna modifikacija K-feldspata koja je prvi put otkrivena kao inkluzija u klinopiroksenu i granatu na masivu Kokchetav u Kazahstanu (HWANG et al 2004.). Prije otkrića kokchetavita znalo se da se K-feldspat u prirodi javlja u vidu jednog od tri moguća minerala, a to su sanidin, ortoklas i mikroklin. Do otkrića kokchetavita nije bio poznat niti jedan drugi polimorf K-feldspata u prirodi osim spomenuta tri. K-feldspat može prijeći u wadeit pri tlakovima većim od 6 GPa i u hollandit pri tlakovima većim od 9 GPa, ali wadeit i hollandit nisu nađeni u prirodi nego su otkriveni u laboratoriju (HWANG et al 2004.). Ukoliko je pri vrlo visokim tlakovima prisutna voda uz K-feldspat, može doći do prijelaza u K-cymrit (HWANG et al., 2004).

Kumdykolit je polimorfna modifikacija albita koja nema u potpunosti uređenu strukturu što ukazuje na kristalizaciju pri visokim temperaturama. Kristalizira metastabilno pri visokom tlaku i pri naglom hlađenju stijene. Također je prvi put otkriven i opisan u uzorcima iz masiva Kokchetav u Kazahstanu (HWANG et al., 2009).

Nanogranit (kumdykolit, kokchetavit i kristobalit) (Slika 3) osim što ukazuje na kemijski sastav originalne taljevine, može ukazivati i da je došlo do naglog hlađenja kao posljedice nagle ekshumacije magme u pliće dijelove zemljine kore (FERRERO et al., 2015).



Slika 3 – Inkluzija nanogranita u zrnju granata nađenog u visokotlačnim granulitima Češkog masiva. Vidljivi su kumdykolit (kml), kokchetavit (kok), muskovit (ms), kristobalit (crs) i staklo (glass). Strelica ukazuje na pukotinu. (preuzeto iz FERRERO et al., 2015).

2.3.1. Nanogranit iz Češkog masiva

U stijenama Češkog masiva su također nađeni nanograniti, ali za razliku od onih nađenih na Slavonskim planinama, češki se nalaze u granulitima. Granuliti su metamorfne stijene koje nastaju pri nešto višim temperaturama od granita i riolita, a to su temperature od 900 – 1100 °C i pritisci u rasponu od 1,8 – 3,0 GPa (FERRERO et al., 2015). U granulitima nanograniti dolaze kao inkluzije u granatima koji su neraspucani jer je jedino u neraspucanim zrnima moguće postići dovoljno visok tlak („overpressure“). Prema navedenom je zaključeno da pojava nanogranita nije limitirana na određenu stijenu ili mineral i da može nastati u širem rasponu tlakova i temperatura nego što se to prethodno smatralo.

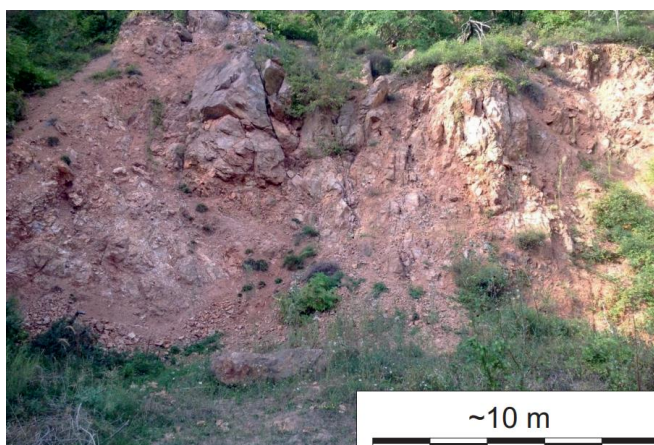
U ovim nanogranitima se uz kumdykolit i kokchetavit javlja i kristobalit ili kvarc i kalcit. Pojava kalcita upućuje na činjenicu da je taljevina bila obogaćena s CO₂ i H₂O, te da je bilo spriječeno otplinjavanje. Kod požeškog nanogranita i riolita Papuka nije nađen kalcit, što znači da ili taljevina nije imala dovoljno CO₂ i H₂O u sebi da bi došlo do njegova formiranja ili otplinjavanje magme nije bilo spriječeno zbog pada tlaka prilikom izdizanja magme. Prisutnost kalcita također upućuje da se završetak kristalizacije odvijao pri tlaku manjem od 1,5 GPa.

2.3.2. Nalazišta nanogranita u Hrvatskoj

Pojava nanogranita zabilježena je i u Hrvatskoj u stijenama Požeške gore i Papuka (BALEN et al., 2020; SCHNEIDER et al., 2022)-(slika 4). Glavni izdanak tzv. Požeškog granita predstavlja napušteni kamenolom blizu malog sela Gradski Vrhovci (45.30270°N, 17.64142°E)-(BALEN et al., 2020)-(Slika 5). Na spomenutom lokalitetu nalazi se granit crvenkaste boje koji u sebi sadrži cirkone kao akcesorne minerale u kojima se nalaze inkuzije nanogranita.



Slika 4 – Karta koja prikazuje geografski položaj lokaliteta Gradski Vrhovci, Trešnjevica i Rupnica. Preuzeto s:
<https://earth.google.com/web/@45.46240707,17.57839972,417.44016958a,112953.49466505d,35y,0h,0t,0r>



Slika 5 – Glavni izdanak Požeškog granita kod sela Gradski Vrhovci (preuzeto iz BALEN et al., 2020).

Na Papuku su od velike važnosti za ovu temu albitni rioliti jer se u njima nalaze cirkoni s inkluzijama nanogranita. Glavni izdanak spomenutih riolita je lokalitet Rupnica koji se nalazi blizu grada Voćina. Vrijedan spomena je i lokalitet Trešnjevica s kojeg potječu uzorci analizirani u ovom radu. Ovdje izdanjuju rioliti u kojima se također nalaze cirkoni kao akcesorni minerali (slika 6). Na Trešnjevici se nalaze albitski rioliti koji su porfirne strukture s fenokristalima albita. Osnova je sitnozrnata i sivkaste boje. Mjestimice je vidljiv i prijelaz feldspata u kaolinit.



Slika 6 – Izdanak na geolokalitetu Trešnjevica. Preuzeto s:
<https://earth.google.com/web/@45.59097564,17.50042104,365.2325232a,0d,60y,329.80036256h,99.73755372t,0r/data=IhoKFmJySzBJdWISRHNJbGZ3YUJ4U1h2bXcQAq>

3. Materijali i metode istraživanja

Za istraživanje nanogranita Požeške gore i Papuka u radovima iz literature korištene su razne vrste analiza. Kemijske analize, slike dobivene pomoću BSE (povratno raspršenih elektrona) i katodoluminiscentne slike dobivene su elektronskom mikroskopom (npr. BALEN et al., 2020; SCHNEIDER et al., 2022). U ovom radu je na već ranije pripremljenim uzorcima (standardni petrografski preparati i separacije cirkona) standardnim petrografskim (polarizacijskim) mikroskopom Zeiss Axiolab s povećanjima 25x, 100x, 200x i 500x napravljen mikrofiziografski opis stijene potencijalnog nosioca cirkona te su pri većim povećanjima snimljeni cirkone i uklopici u njima. Preparati su dobiveni od prof. dr. sc. Dražena Balena koji ih je izradio od uzoraka riolita s lokaliteta Trešnjevica na Papuku. Nedostatak opreme onemogućio je daljnje određivanje vrste i značajki uklopaka, no ova istraživanja su dobra priprema za odabir perspektivnih uzoraka za naprednija istraživanja u budućnosti.

3.1. Priprema mikroskopskog preparata

Priprema započinje rezanjem pločice iz željenog uzorka pomoću dijamantne pile. Dobivenu pločicu smanjuje se na veličinu predmetnog stakalca. Takvu pločicu zalijepi se na stakalce pomoću kanada-balzama i brusi na rotirajućoj ploči do debljine od oko 1 mm, a zatim se ručno polira na prahu različitih frakcija do debljine preparata (20-30 μm). Dobiveni preparat se na kraju pokriva pokrovnim stakalcem lijepljenim kanada-balzomom.

3.2. Izdvajanje teške frakcije sa cirkonima

Prije analiziranja potrebno je izdvojiti cirkone iz uzoraka. U radovima iz literature opisani su postupci izdvajanja cirkona iz uzoraka (npr. SCHNEIDER et al., 2017). Prvo se uzorak usitni na komade od nekoliko centimetara pomoću geološkog čekića, a nakon toga se usitni pomoću mehaničke drobilice na zrna do 0,4 mm. Dobivene uzorke se prosijava kroz set sita čime dobivamo različite frakcije. Mikroskopom se utvrdi u kojoj frakciji se nalaze cirkoni pogodni za analizu. Nakon navedenih procesa provodi se odglinjavanje čime se uklone čestice gline (frakcija manja od 4 μm). Na kraju je još potrebno odvojiti teške

minerale što se može pomoću teških tekućina. Teški minerali imaju gustoću veću od $2,9 \text{ g/cm}^3$. Cirkoni se nakupljaju u teškoj frakciji jer im je gustoća $4,6 - 4,7 \text{ g/cm}^3$.

3.3. Materijali i metode opisani u literaturi

Uzorci granita prikupljenih s raznih lokaliteta na Požeškoj gori i riolita s Papuka analizirani su pomoću ICP-MS (induktivno spregnuta plazma – masena spektrometrija) i ICP-ES (induktivno spregnuta plazma – emisijska spektroskopija) metodama (BALEN et al., 2020; SCHNEIDER et al., 2022).

Pomoću Ramanove spektroskopije analizirana su izdvojena zrna cirkona kako bi se otkrile vrste inkluzija u njima (BALEN et al., 2020; SCHNEIDER et al., 2022). Ramanova spektroskopija je nedestruktivna kemijska analiza koja se temelji na interakciji svjetla s kemijskim vezama u nekom materijalu. Ovom metodom moguće je dobiti detaljne informacije o molekularnim interakcijama, kemijskom strukturi, kristalinitetu i fazi. Većina laserskog svjetla koje se rasprši na materijalu je iste valne duljine kao i prije raspršenja, ali jedan mali dio svjetla nakon raspršenja ima drugu vrijednost valne duljine koja ovisi o kemijskoj strukturi materijala, a efekt je poznat kao Ramanovo raspršenje („Raman scatter“).

Skenirajući elektronski mikroskop (SEM) koristi se za otkrivanje morfologije zrna cirkona u požeškom granitu (BALEN et al., 2020; SCHNEIDER et al., 2022).

Laserska ablacija – induktivno spregnuta plazma – masena spektrometrija (LA-ICP-MS) koristi se za određivanje koncentracije izotopa određenih elemenata u cirkonu granita Požeške gore (BALEN et al., 2020; SCHNEIDER et al., 2022). U aparaturi prvo dolazi do laserske ablacije uzorka. Izdvojene čestice se transportiraju i ioniziraju u struji plemenitog plina (najčešće helija). Nakon toga ioni odlaze u detektor na izotopnu analizu masenim spektrometrom.

Određivanje starosti cirkona moguće je pomoću omjera izotopa $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ i $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ (BALEN et al., 2020; SCHNEIDER et al., 2022). Datiranje je odrađeno na temelju omjera $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$.

Osim do sada spomenutih metoda, na granitu Požeške gore također je izvršena analiza rendgenskom difrakcijom na prahu (XRD ili „X-ray diffraction“).

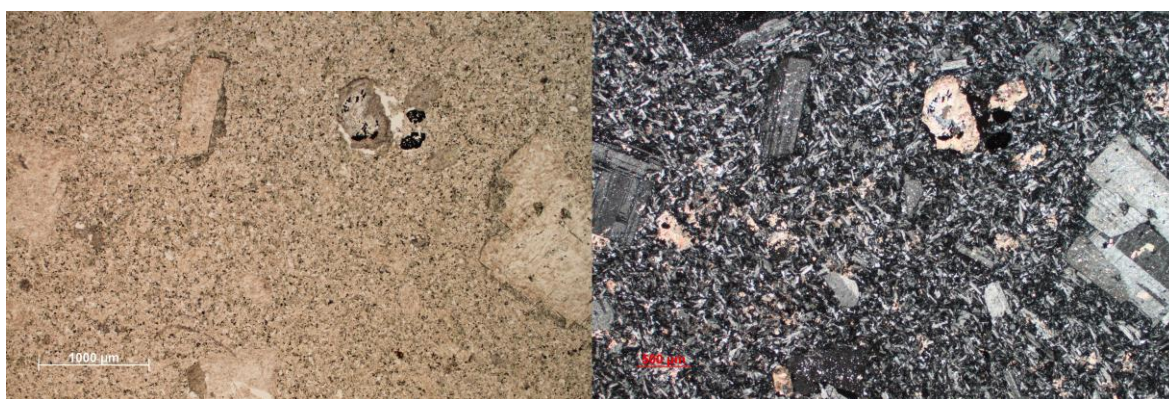
4. Rezultati

4.1. Mikrofiziografski opis stijene

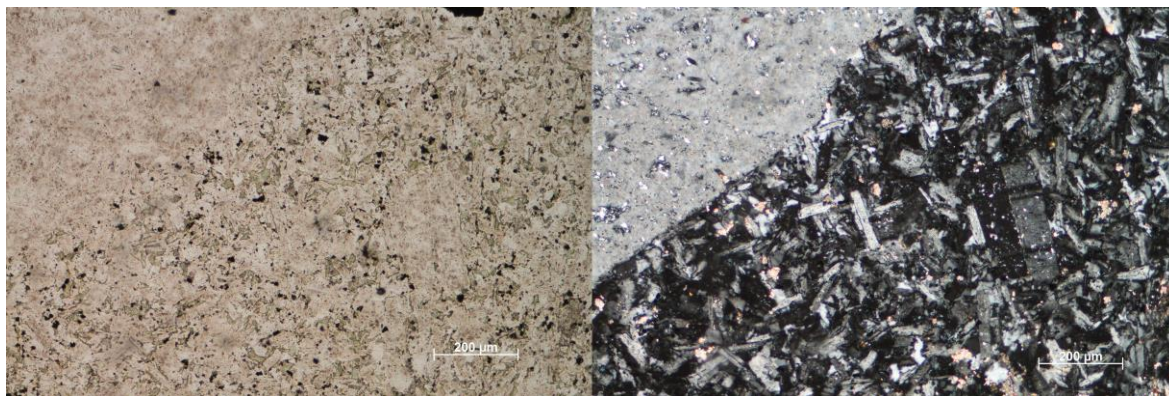
Analiziran je u preparatima s lokaliteta Trešnjevica. Vidljiva je porfirna struktura riolita (slike 7 i 8) s lokaliteta Trešnjevica na Papuku. Fenokristale uglavnom čini albit (1 % An), ali ima ga nešto i u sitnozrnatoj osnovi svijetlo sive boje uz biotit i kvarc. Osim spomenutih minerala, u osnovi dolaze još akcesorni magnetit, te sekundarni kaolinit, klorit i kalcit (BALEN i PETRINEC, 2015). U holokristalinoj, sitnozrnatoj osnovi mjestimice su vidljivi tragovi prijelaza u kaolinit. U mikroskopskom preparatu može se uočiti raspon veličina fenokristala (od mm do μm dimenzija; slike 7 i 8). Fenokristale albita čine pločasta idiomorfna zrna. Prema navedenom je zaključeno da je to albitni riolit.

Na lokalitetu Trešnjevica u literaturi su osim albitnog riolita nađeni i ostali varijeteti. Varijeteti nađeni na Trešnjevici su egirin – albitski riolit i anortoklas – egirinski riolit (Balen i Petrincec, 2015). Egirin – albitski riolit je tamne boje i ima izraženu porfirnu strukturu. Fenokristale kod ovog riolita čine albit i kiseli oligoklas, a u osnovi se javlja i natrijski klinopiroksen egirin. Kao akcesorni minerali javljaju se hematit, apatit i magnetit.

Anortoklas – egirinski riolit je tamosive boje s tankim igličastim fenokristalima feldspata u gustoj afanitskoj osnovi (BALEN i PETRINEC, 2015). U ovom riolitu dolaze anortoklas, oligoklas – albit, egirin, magnetit, a od sekundarnih minerala dolazi kaolinit.



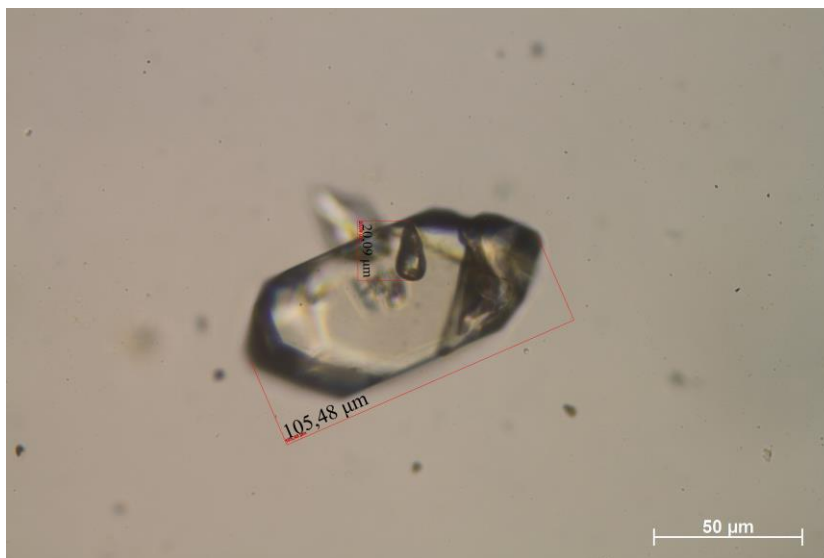
Slika 7 – Fenokristali albita u sitnozrnatoj osnovi albitnog riolita bez uključenog analizatora (lijevo) i sa uključenim analizatorom (desno). Vidljive su različite veličine fenokristala.



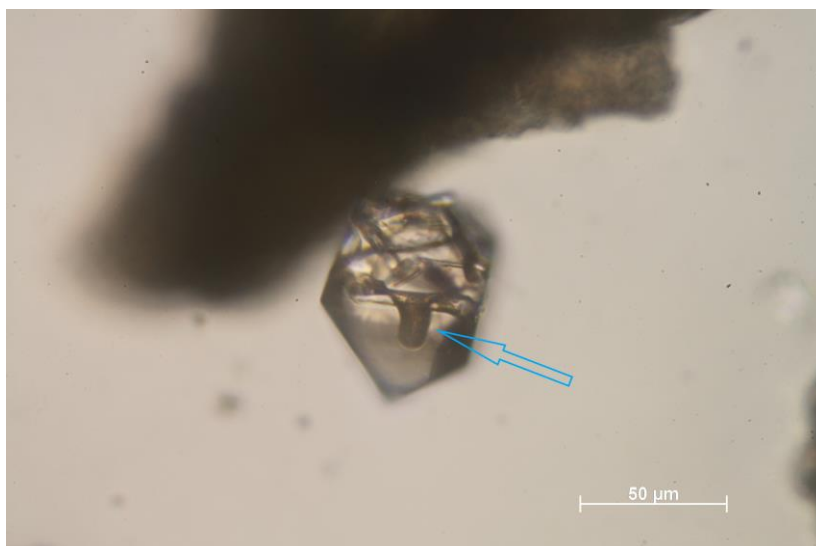
Slika 8 – Kontakt fenokristala albita (lijevo gore) sa sitnozrnatom osnovom. Bez uključenog analizatora (lijevo) i sa uključenim analizatorom (desno).

4.2. Optička analiza zrna cirkona

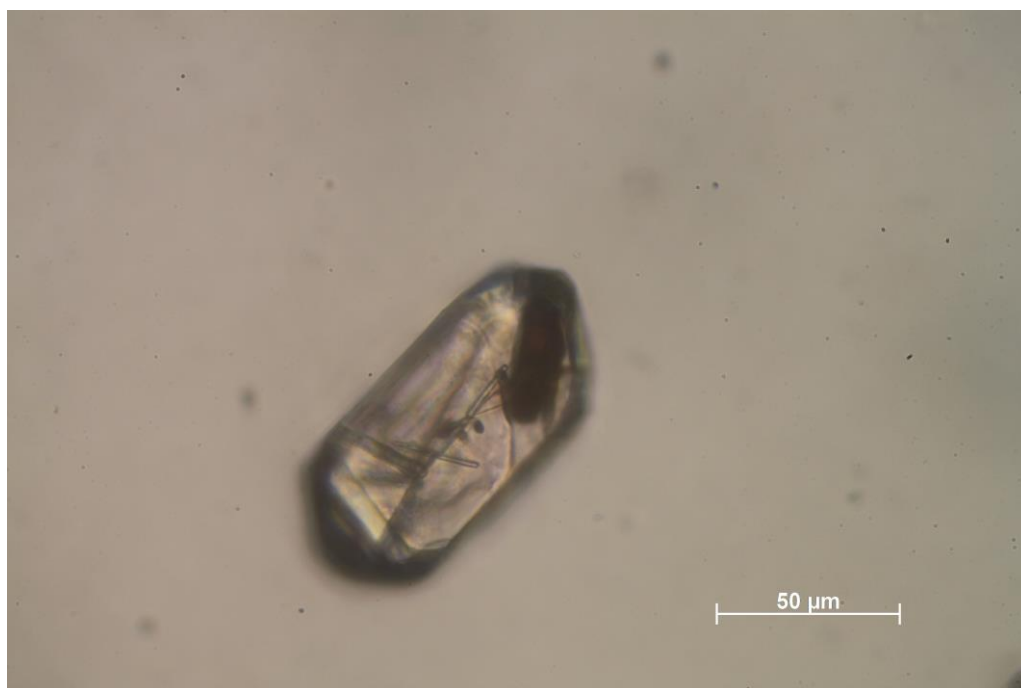
Analizom ranije spomenutim mikroskopom dobivene su slike na kojima se mogu uočiti inkluzije taljevine u cirkonima (slike 9, 10, 11). Cirkoni su u uzorcima bezbojni s brojnim uklopcima igličastog apatita (slike 12, 13) i nešto manje čestim inkluzijama taljevine. Cirkoni su bili većinom idiomorfni do hipidiomorfni.



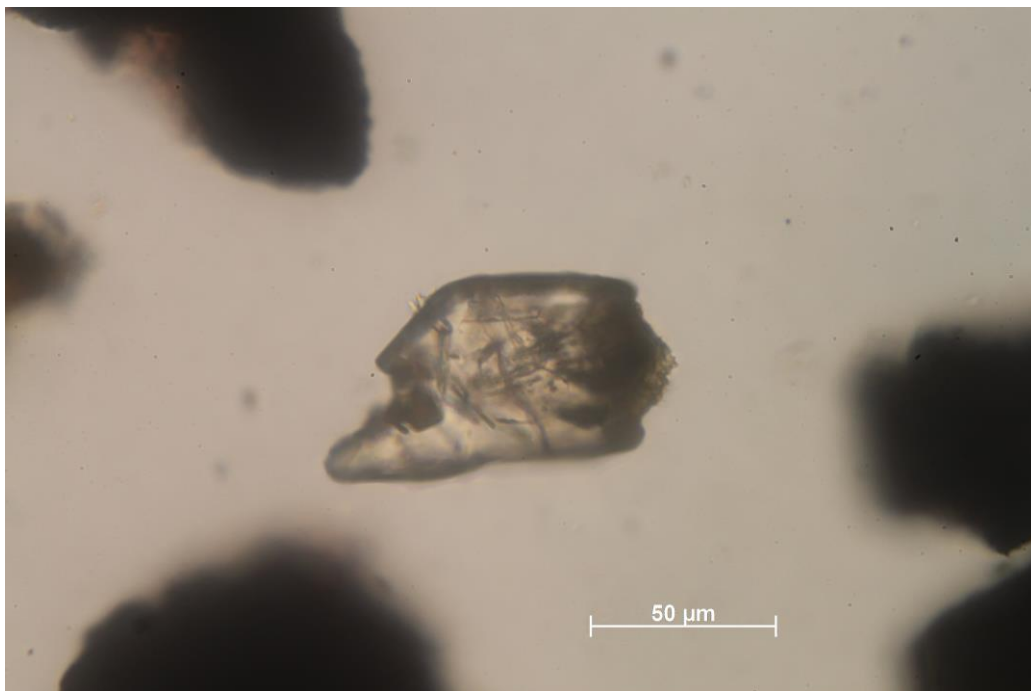
Slika 9 – Idiomorfno zrno cirkona duljine 105.48 µm s vidljivom inkluzijom taljevine u obliku kapljice duljine 20.09 µm. Slikano bez uključenog analizatora.



Slika 10 – Hipidiomorfno zrno cirkona s vidljivom bipiramidom i inkluzijom taljevine (strelica). Slikano bez uključenog analizatora pod povećanjem 500x.



Slika 11 – Hipidiomorfno zrno cirkona s vidljivom inkluzijom taljevine (lijevo gore u zrnju) i uklopcima štapičastih apatita. Slikano bez uključenog analizatora.



Slika 12 – Zrno cirkona bogato uklopcima igličastog apatita. Slikano bez uključenog analizatora.

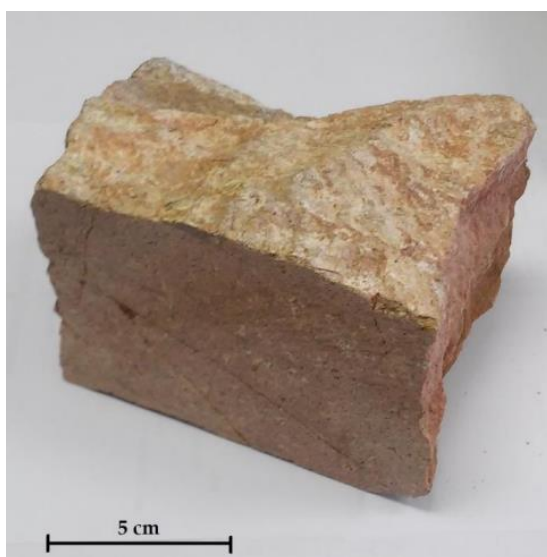


Slika 13 – Zrno cirkona s uklopcima apatita. U centru zrna je vidljiv šesterokutni poprečni presjek apatita. Slikano bez uključenog analizatora.

4.3. Rezultati iz literature

Kako bi opažanja u ovom radu bilo moguće usporediti sa prethodnim istraživanjima i kako bi se pokazala perspektivnost korištenih uzoraka za detaljniju analitičku obradu, potrebno je iznijeti rezultate koje su postigli drugi autori u različitim radovima. Granit s Požeške

gore je crvenkaste boje (slika 14) i građen je većinom od feldspata i kvarca s nešto manje tinjaca. U spomenutom granitu dolaze i cirkoni, apatit, hematit i monacit u vidu akcesornih minerala. Požeški granit ima povišen udio SiO_2 (69,90 tež%), veliku količinu K_2O (3,89 tež%) i Na_2O (4,79 tež%), povišen omjer $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (0,81), puno Al_2O_3 (15,32 tež%), manje CaO (0,28 tež%), MgO (0,07 tež%) i MnO (0,04 tež%) i više Fe_2O_3 (3,30 tež%)- (BALEN et al., 2020). Prema navedenim rezultatima za granit zaključeno je da je peraluminozan, željezovit i alkalno-kalcijski po sastavu. Osim navedenih karakteristika, također ima i pozitivnu kalijevu, olovnu i cirkonijevu anomaliju, ali i negativnu anomaliju HFSE elemenata („high field strenght elements“). Prema kemijskom sastavu stijene i starosti ima puno sličnosti između granita Požeške gore i riolita Papuka iz čega je zaključeno da su te dvije pojave vjerojatno dio iste formacije (senonska bazaltno-riolitna formacija)-(PAMIĆ et al., 1997).



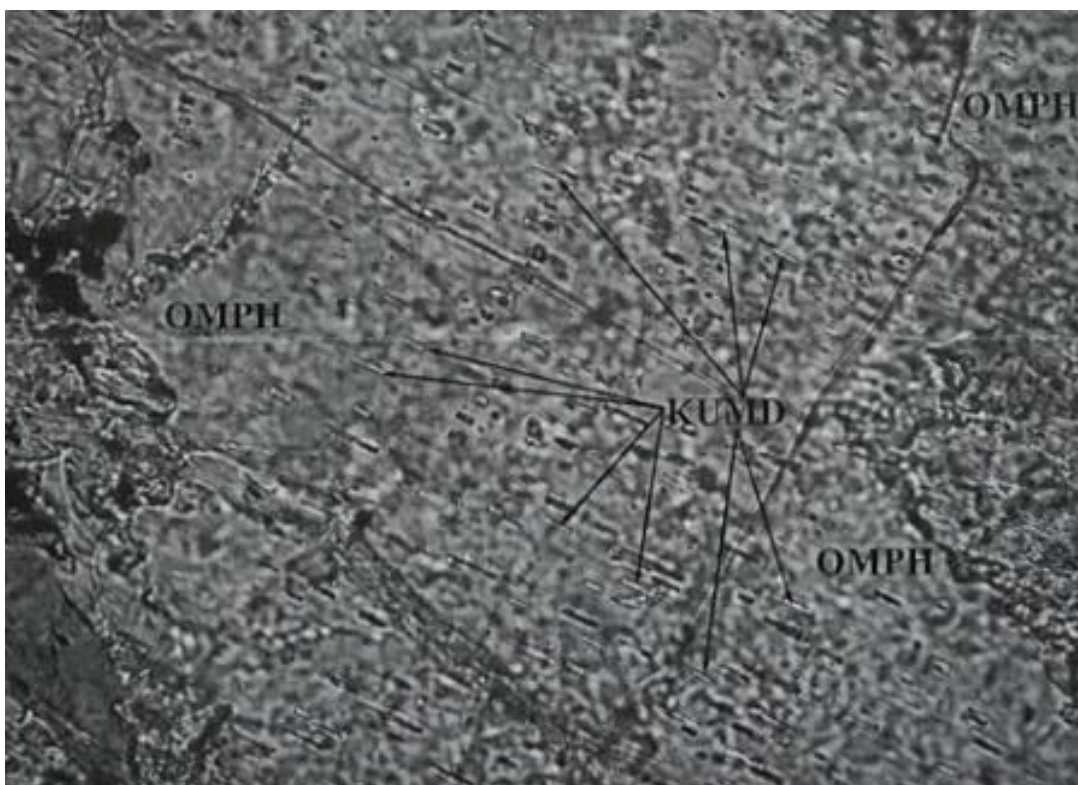
Slika 14 – Uzorak crvenkastog granita s Požeške gore (SCHNEIDER, 2017).

Kristali cirkona su žućkasti do bezbojni. Inkluzije hematita i apatita kao zasebnih minerala, te kokchetavita i kumdykolita u uklopcima taljevine nalaze se u nekim od cirkona. Spomenute inkluzije otkrivene su i analizirane pomoću Ramanove spektroskopije. Od spomenutih minerala najvažniji su kumdykolite (slika 15) i kokchetavite jer predstavljaju metastabilne polimorfne modifikacije koje su jedino mogle nastati kao posljedica brze kristalizacije. Osim navedenih inkluzija, otkrivene su i inkluzije igličastog

minerala za koji se pretpostavlja da je inkluzija jednog od Ti-minerala (anatas, rutil ili brukit).

Kemijska analiza cirkona otkrila je da omjer Th/U (0,64 – 0,89) prisutan u cirkonu ukazuje na magmatsko porijeklo (BALEN et al., 2020). Osim toga otkrilo se i da je cirkon vjerojatno kristalizirao na visokoj i konstantnoj temperaturi u kori (oko 900 °C). U cirkonu je prisutna izražena negativna europijeva anomalija i pozitivna cerijeva anomalija. U nekim slučajevima je pozitivna cerijeva anomaliju u cirkonima manje izražena što je moguća posljedica alteracije cirkona.

Pomoću rezultata ICP-MS analize izračunato je da je cirkon nastao na 860 – 950°C (BALEN et al., 2020). U-Th-Pb metodom je dobivena starost od 83 milijuna godina.



Slika 15 – Štapićasti kristali kumdykolita (kumd) uklopljeni u omfacit (omph). Preuzeto s <https://www.mindat.org/photo-995179.html> (09.08.2023.)

Albitni riolit s Papuka predstavlja efuzivnu magmatsku stijenu koja je po sastavu kisela. Spomenuti rioliti su svijetlosive boje s porfirnom strukturom. Albit u vidu fenokristala čini čak do 30 vol.% stijene (SCHNEIDER et al., 2022). Magnetit, apatit,

cirkon i aegirin javljaju se u vidu akcesornih minerala, a hematit, apatit i anatas dolaze u vidu inkluzija u cirkonu (SCHNEIDER et al., 2022).

5. Rasprava

Požeški graniti su alkalni graniti s visokim udjelom SiO₂ (69 tež%)-(BALEN et al., 2020). Po svom mineralnom sastavu spadaju u leukogranite. Ovako visoki udio SiO₂ ukazuje na frakcionaciju magme jer do povećanja udjela SiO₂ dolazi izdvajanjem mafitnih minerala. Prema prisutnim elementima u tragovima zaključeno je da se radi o A-tipu granita (BALEN et al., 2020). A-tip granita je anorogeni granit koji nastaje u uvjetima bez izražene tektonike i izdizanja orogena. Karakterizirani su relativno niskim udjelom vode.

U požeškom granitu su otkrivene veće količine elemenata velikog naboja (HFSE) i elemenata velikog atomskog radijusa (LILE). A-tip granita ima veće količine HFSE, kalija i FeO, a relativno niske udjele, odnosno koncentracije MgO, CaO, Cr, Ni, Sr i Ba što se poklapa s geokemijskim karakteristikama požeškog granita (BALEN et al., 2020).

A-tip granita se dalje dijeli na A₁ i A₂ podtipove granita. A₁-tip granita nastaje iz OIB-a („ocean island basalt“), a A₂ tip granita nastaje taljenjem Zemljine kore ili miješanjem kore i plašta. Da bi nastao A₁ tip granita potrebna je ekstenzija terena kako bi se magma mogla izdignuti, ali potreban je neki događaj koji će tu izdižuću magmu zaustaviti u kori kako bi došlo do kontaminacije te magme kako bi mogli nastati spomenuti graniti. A₂-tip granita nastaje neposredno nakon kraja kompresijskog tektonskog režima, odnosno početkom ekstenzijskog režima. A₂-tip najčešće nastaje kontinentskim riftingom koji nastaje zbog ekstenzije terena. Kod spomenutog riftovanja često dolazi do interakcije izdižuće magme sa magmom iz kore i do njezina smještanja u koru čime nastaje spomenuti granit. Zaključeno je da požeški granit spada u A₂ granite prema visokim omjerima Ce/Nb (3,42) i Y/Nb (2,21)-(BALEN et al., 2020). Rioliti Papuka su efuzivni ekvivalent granita Požeške gore pa su njihove taljevine (magma/lava) tretirane kao istovrsni materijal.

5.1. Nastanak A tipa granitne taljevine

Formiranje A tipa granitne taljevine uključuje djelomično taljenje izvornih stijena unutar Zemljine kore. Izvori magme za A-tip granita mogu varirati, ali općenito uključuju djelomično taljenje već postojećih stijena. Neki od potencijalnih izvora magme za formiranje A-tipa granita prema LOISELLE i WONES (1979) su:

1) Donja kontinentska kora. Djelomično taljenje donje kore, koja se sastoji od raznih vrsta stijena uključujući granulite, gnajseve i mafitne stijene, može generirati

magme iz kojih nastaju graniti A-tipa. Taljenje donje kore uzrokuje povišene temperature zbog geotermalne topline ili prodora toplije magme.

2) Gornji plašt. U nekim slučajevima graniti A-tipa mogu imati komponente koje potječu iz plašta. Taljevina iz gornjeg plašta može migrirati u donju koru što dovodi do djelomičnog taljenja stijena kore i nastanka magme A-tipa.

3) Miješanje dvije magme. A-tip granita može nastati i miješanjem magme nastale taljenjem stijena kore sa magmom iz plašta.

Točna priroda izvora magme za granite A-tipa varira ovisno o geološkim uvjetima (temperatura, tlak, tektonika, fluidi). Formiranje A-tipa granita često uključuje kombinaciju procesa djelomičnog taljenja, asimilacije i frakcijske kristalizacije.

5.2. Izvor taljevine

Požeški granit sadrži velike koncentracije cerija i HFSE-a koje se ne poklapaju s vrijednostima koje bi bile prisutne da je izvor tih granita bio mafitnog ili plašnog porijekla (BALEN et al., 2020). Osim toga, u požeškom granitu nisu prisutni fenokristali ni ksenoliti što znači da spomenuti granit nije nastao miješanjem magmi. Prema navedenom, zaključeno je da je granit s Požeške gore najvjerojatnije nastao djelomičnim taljenjem donjeg dijela Zemljine kore (BALEN et al., 2020). Na to ukazuje i omjer Zr/Hf u požeškom granitu. U Zemljinoj kori postoje dva moguća izvora magme za nastanak A-tipa granita, a to su bezvodne granulitne stijene u donjoj kori i granodioritne ili tonalitne stijene. U slučaju granita Požeške gore i riolita Papuka smatra se da je potencijalni izvor taljevina nastala taljenjem tonalitnih stijena donje kore. Granuliti bi proizveli magmu drukčijeg kemijskog sastava koji ne odgovara sastavu Požeškog granita. Parcijalnim taljenjem tonalita ili granodiorita nastaje alkalna do kalcijaska granitoidna taljevina koja je peraluminozna na visokim tlakovima. Relativno nizak omjer Rb/Sr ukazuje da je dio materijala porijeklom iz dubina većih od 20 kilometara (donja kora ili plašt). Udio elemenata rijetkih zemalja („rare earth elements“, REE) ne pokazuje „tetrad-effect“ što znači da taljevina nije imala značajan udio fluida u sebi (BALEN et al., 2020). Tetrad-effect se javlja kod lantanoida zbog povećane stabilnosti četvrtine, polovice, tri četvrtine i pune 4f elektronske orbitale (MCLENNAN, 1994). Prema navedenom, graniti s Požeške gore i rioliti s Papuka su najvjerojatnije nastali parcijalnim taljenjem i miješanjem stijena u

donjoj kori i mafitnih stijena koje su subducirane na tlakovima od oko 10 kbar (BALEN et al., 2020; SCHNEIDER et al., 2022).

5.3. Cirkoni iz stijena Slavonskih planina

Cirkoni iz stijena Slavonskih planina svojom morfologijom ukazuju na kristalizaciju u donjoj kori i gornjem plaštu gdje je vladala visoka temperatura. U cirkonima požeškog granita vidljiva je pozitivna cerijeva anomalija što ukazuje na oksidaciju magme (BALEN et al., 2020). Cirkon koji kristalizira iz magme s relativno malim udjelom fluida ima mali udio Hf u sebi što znači da ima velik omjer Zr/Hf. Visok Zr/Hf omjer je obično kod cirkona nastalih iz plaštne taljevine.

U cirkonu požeškog granita su u vidu inkluzija nađeni kumdykolit i kokchetavit koji se smatraju indikatorima vrlo visokih tlakova jer su nađeni u stijenama koje su nosioci dijamanata i koje se formiraju u polju stabilnosti dijamanta. Međutim, u visokotlačnim granulitima Boemskog masiva u Češkoj su najveći zabilježeni tlakovi manji od 3 GPa što znači da nisu potrebni vrlo visoki tlakovi za formiranje spomenute mineralne asocijacije i time je poništena tvrdnja da su kumdykolite i kokchetavite indikatori vrlo visokih tlakova (FERRERO et al., 2015). FERRERO et al. (2015) su također zaključili kroz detaljna strukturna i kemijska istraživanja da kumdykolit i kokchetavit predstavljaju metastabilne polimorfne modifikacije koje kao takve upućuju na brzo hlađenje magme.

Cirkoni s Papuka su iznimno bogati uklopcima apatita, a može se naći i hematit i anatas (SCHNEIDER et al., 2022). Osim uklopaka kristala, spomenuti cirkoni također imaju inkluzije taljevine koja je vrlo korisna kao indikator sastava originalne taljevine i uvjeta koji su vladali.

Morfologija cirkona u požeškom granitu ukazuje na cirkon koji je kristalizirao iz magme koja dolazi iz gornjeg plašta i donjeg dijela zemljine kore. Omjer duljina/visina kristala cirkona odgovara brzom kristalizaciji (BALEN et al., 2020).

Istraživanje je otkrilo da se cirkon u granitu formira pri oko 900 °C. Budući da se požeški granit formirao pri dubini od oko 30 kilometara (donja kora/gornji plašt), dobije se geotermalni gradijent od oko 30 °C/km što spada u 20 – 50°C/km koliko iznosi prosječni gradijent za zalučni bazen (BALEN et al., 2020). Isto vrijedi i za cirkone u riolitu Papuka (SCHNEIDER et al., 2022).

5.4. Usporedba cirkona s Trešnjevica i cirkona iz literature

Cirkoni iz uzoraka s lokaliteta Trešnjevica pokazuju brojne sličnosti s cirkonima analiziranim u radovima iz literature (npr. BALEN et al., 2020; SCHNEIDER et al., 2022). Analizirana zrna cirkona bila su bezbojna i imala su brojne uklopke igličastog apatita kao zasebnog minerala i inkluzije taljevine. Analizirana zrna cirkona pokazuju forme bipiramide i prizme. Duljina nekih od idiomorfničkih zrna nađenih u preparatima s lokaliteta Trešnjevica iznosi oko 100 μm , a širina oko 40-50 μm što se poklapa s vrijednostima duljine i širine cirkona koji sadrže inkluzije nanogranita iz literature (npr. SCHNEIDER et al., 2022). Stijena u kojoj su nađeni analizirani cirkoni je albitni riolit što se također poklapa sa literaturom (SCHNEIDER et al., 2022).

Nedostatak opreme onemogućio je analizu inkluzija taljevine u cirkonima iz preparata, ali zbog navedenih sličnosti analiziranih cirkona sa cirkonima koji sadrže inkluzije nanogranita iz literature, smatram da inkluzije taljevine nađene u analiziranim cirkonima potencijalno predstavljaju inkluzije nanogranita. Zbog toga smatram da analizirani cirkoni predstavljaju potencijalno perspektivan materijal za daljnja, detaljnija istraživanja.

6. Zaključak

Inkluzije u mineralima, a posebno one koje se smatraju nanogranitima, od vrlo velikog su značaja jer mogu sadržavati informacije o originalnoj taljevini iz koje je kristalizirala stijena koja sadrži te minerale. Sastav i sadržaj volatila inkluzije može se smatrati reprezentativnim za originalni sastav taljevine prisutne tijekom duboke subdukcije. Iz tih razloga mnogo pažnje se posvećuje istraživanju i opisivanju inkluzija nanogranita.

Ovim istraživanjem otkrivene su brojne sličnosti cirkona iz preparata s lokaliteta Trešnjevica, kao i stijene u kojoj dolaze s cirkonima i stijenom iz literature (npr. BALEN et al., 2020; SCHNEIDER et al., 2022). Zbog spomenutih sličnosti uzoraka analiziranih u ovom radu s onima iz literature, smatram da spomenuti uzorci s lokaliteta Trešnjevica potencijalno sadrže nanogranit i mogu doprinijeti još detaljnijem tumačenju nanogranita i procesa koji su vezani uz nanogranite.

7. Literatura

BALEN, D. & PETRINEC, Z. (2015): Točka 3. Bazični i kiseli vulkanizam Papuka na primjeru kamenoloma Trešnjevica I voćinskog vulkanskog tijela. Vodič ekskurzije, 5. Hrvatski geološki kongres, 18-25.

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

BALEN, D., SCHNEIDER, P., OPITZ, J., MASSONNE, H.-J. (2022): Pressure-temperature-time constraints on the evolution of epidote-bearing albite granite from mt. Medvednica (Croatia): further evidence of the middle triassic opening of the Neotethys ocean. *Geologica Carpathica*, 73, 411-433.

BALEN, D., SCHNEIDER, P., MASSONNE, H.-J., OPITZ, J., LUPTÁKOVÁ, J., PUTIŠ, M., PETRINEC, Z. (2020): The Late Cretaceous A-type alkali-feldspar granite from Mt. Požeška Gora (N Croatia): Potential marker of fast magma ascent in the Europe–Adria suture zone. *Geologica Carpathica*, 71, 361-381.

CASTRO, A. A. F. (2019): The dual origin of I-type granites: The contribution from laboratory experiments. *Geological Society London Special Publications*, 491, 101-145.

FERRERO, S., ZIEMANN, M. A., ANGEL, R. J., O'BRIEN, P. J., WUNDER, B. (2015): Kumdykolite, kokchetavite, and cristobalite crystallized in nanogranites from felsic granulites, Orlica-Snieznik Dome (Bohemian Massif): not evidence for ultrahigh pressure conditions. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 171, 3.

HWANG, S.-L., SHEN, P., CHU, H.-T., YUI, T.-F., LIOU, J. G., SOBOLEV, N. V., ZHANG, R.-Y., SHATSKY, V. S., ZAYACHKOVSKY, A. A. (2004): Kokchetavite: a new potassium-feldspar polymorph from the Kokchetav ultrahigh-pressure terrane. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 148, 380-389.

HWANG, S.-L., SHEN, P., CHU, H.-T., YUI, T.-F., LIOU, J. G., SOBOLEV, N. V. (2009): Kumdykolite, an orthorhombic polymorph of albite, from the Kokchetav ultrahigh-pressure massif, Kazakhstan. *European Journal of Mineralogy*, 21, 1325-1334.

LOISELLE, M. C., WONES, D. R., (1979): Characteristics and origin of anorogenic granites. In Proceedings of the Annual Meetings of the Geological Society of America and Associated Societies, San Diego, CA, USA, 11, 468.

MCLENNAN, S. M. (1994): Rare earth element geochemistry and the „tetrad“ effect. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58/9, 2025-2033.

PAMIĆ, J. (1997): Vulkanske stijene Savsko-dravskog međuriječja i Baranje. Nafta, Zagreb, 192.

PUPIN, J., P. (1980): Zircon and granite petrology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 73, 207-220.

REGELOUS, A., SCHARFENBERG, L., DE WALL, HELGA. (2021): Origin of S-, A- and I-type granites: Petrogenic evidence from whole rock Th/U ratio variations. *Minerals*, 11(7), 672.

SCHMID, S. M., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, B., MATENCO, L., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TISCHLER, M., USTASZEWSKI, K. (2008): The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences*, 101, 139-183.

SCHNEIDER, P. (2017): Geneza granita Požeške gore na temelju petrografije te morfoloških, kemijskih i spektroskopskih značajki cirkona. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet.

SCHNEIDER, P., BALEN, D., OPITZ, J., MASSONNE, H.-J. (2022): Dating and geochemistry of zircon and apatite from rhyolite at the UNESCO geosite Rupnica (Mt. Papuk, northern Croatia) and the relationship to the Sava Zone. *Geologia Croatica*, 75, 249-267.

SHAND, S. J. (1927): On the relations between silica, alumina, and the bases in eruptive rocks, considered as a means of classification. *Geological Magazine*, 64, 446-449.

SHIREY, S. B., SHIGLEY, J. E. (2013): Recent advances in understanding the geology of diamonds. *Gems & Gemology*, 49/4.

Internetski izvori:

<https://geology.com/rocks/rhyolite.shtml> (pristupljeno 02.08.2023.)

<https://geology.com/rocks/granite.shtml> (pristupljeno 02.08.2023.)

<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=49902> (pristupljeno 05.08.2023.)

<https://www.mindat.org/min-35578.html> (pristupljeno 03.08.2023.)

<https://www.mindat.org/min-27460.html> (pristupljeno 26.07.2023.)

<https://www.rgn.unizg.hr/en/studies/postgraduate-study/blog-en/2768-determination-of-the-earth-s-structure-by-local-earthquake-tomography-method> (pristupljeno 05.08.2023.)

<https://geologyhub.com/granite-rock-classification-and-origin/> (pristupljeno 02.08.2023.)

<https://earth.google.com/web/@45.46240707,17.57839972,417.44016958a,112953.49466505d,35y,0h,0t,0r> (pristupljeno 02.09.2023.)

<https://earth.google.com/web/@45.59097564,17.50042104,365.2325232a,0d,60y,329.80036256h,99.73755372t,0r/data=IhoKFmJySzBJdWISRHNJbGZ3YUJ4U1h2bXcQAq>
(pristupljeno 02.09.2023.)

<https://www.horiba.com/usa/scientific/technologies/raman-imaging-and-spectroscopy/raman-spectroscopy/> (pristupljeno 03.08.2023.)

