

# Petrološke značajke granitoidnih stijena kamenoloma "Zebrato" (zapadni Papuk)

---

**Antolović, Ivan**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*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:217:157623>

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

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



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Ivan Antolović

**Petrološke značajke granitoidnih stijena  
kamenoloma „Zebrato“ (zapadni Papuk)**

Diplomski rad

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Ivan Antolović

**Petrološke značajke granitoidnih stijena  
kamenoloma „Zebrato“ (zapadni Papuk)**

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

Mentor:  
Prof.dr.sc. Dražen Balen

Zagreb, 2021.

Ovaj diplomski rad izrađen je u Mineraloško-petrološkom zavodu Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u sklopu diplomskog studija geologije, smjer mineralogija i petrologija pod vodstvom prof. dr. sc. Dražena Balena.

## *Zahvale*

Prije svega zahvale mentoru prof.dr.sc. Draženu Balenu na pruženoj temi, pomoći i savjetima tijekom izrade diplomskog rada. Hvala i prof.dr.sc. Darku Tibljašu na savjetima i pomoći tijekom izrade diplomskog rada. Djelatnicima Mineraloško-petrografskog zavoda i kolegama zahvaljujem na pomoći i savjetima tijekom pisanja i izrade rada.

Zahvaljujem se svojoj obitelji na neizmornoj pomoći i podršci tijekom studija.

Za D+1.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Diplomski rad

# Petrološke značajke granitoidnih stijena kamenoloma „Zebrato“ (zapadni Papuk)

Ivan Antolović

**Rad je izrađen:** Mineraloško-petrografski zavod, PMF, Zagreb, Horvatovac 95

### Sažetak:

Cilj ovoga rada bio je opisati granitoidne stijene kamenoloma „Zebrato“, a prije svega njihove petrološke značajke. Granitoidne stijene Papuka na njegovom zapadnom dijelu većinom čine graniti i migmatiti (gnajsevi). Stijene su opisane na temelju mikroskopskih karakteristika, pomoću rezultata rendgenske difrakcije i proračuna provedenih softverom Perple\_X. Na temelju rezultata analiza opisani su događaji iz geološke povijesti Papuka, tj. lokacije kamenoloma „Zebrato“. Mikrofizografske karakteristike stijena ukazuju da se radi o granitima i migmatitima koji su prema softverskim izračunima genetski povezani i nastali su istovremeno u sličnim uvjetima. Dobiveni su pseudopresjeci i vrijednosti solidusa koji je za obe stijene na 680°C. Na fenokristalu kalijskog feldspata iz migmatita rendgenskom difrakcijom analizirane su zone rasta, utvrđen je različit sastav zona i stupanj trikliničnosti K-feldspata u jezgri od 0,69 što je dalo uvid u moguće promjene uvjeta tijekom kristalizacije kristala i nastanka stijene domaćina. Sustav se sve sporije hladio. Uz dobivene rezultate dan je i pregled dosadašnjih istraživanja tog područja.

**Ključne riječi:** granitoidi, Papuk, migmatiti, Perple\_X

**Rad sadrži:** 48+VII stranica, 20 slika, 7 tablica i 38 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

**Mentor:** prof.dr.sc. Dražen Balen, PMF, Zagreb

**Ocjenjivači:** prof.dr.sc. Dražen Balen, PMF, Zagreb

prof.dr.sc. Darko Tibljaš, PMF, Zagreb

izv. prof. dr. sc. Đurđica Pezelj, PMF, Zagreb

**Datum završnog ispita:** 14. srpnja 2021.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### Graduate Thesis

#### Petrology of granitoids from "Zebrato" quarry (W Papuk)

Ivan Antolović

**Thesis completed in:** Institute of Mineralogy and Petrology, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 95, Zagreb

#### Abstract:

The aim of this paper was to describe the granitoid rocks of the "Zebrato" quarry, and above all their petrological characteristics. The granitoid rocks of Papuk in its western part are mostly granites and migmatites (gneisses). The rocks were described based on microscopic characteristics, using X-ray diffraction results and calculations performed with Perple\_X software. Based on the results of the analysis, events from the geological history of Papuk, ie the location of the "Zebrato" quarry, are described. The microphysiographic characteristics of the rocks indicate that they are granites and migmatites that, according to software calculations, are genetically related and formed simultaneously in similar conditions. Pseudosections and solidus values for both rocks at 680 ° C were obtained. On the phenocrystal of potassium feldspar from migmatite, different growth zones were analyzed by X-ray diffraction, the composition of the zones and the degree of triclinicity of K-feldspar from the core was determined 0,69 which provided insight into possible changes in conditions during crystallization of the crystal and the formation of the host rock. The system cooled more and more slowly. In addition to the obtained results, an overview of previous research in the area is given.

**Keywords:** granitoids, Papuk, migmatites, Perple\_X

**Thesis contains:** 48+VII pages, 20 figures, 7 tables and 38 references

**Original in:** Croatian

**Thesis deposited in:** Central Geological Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb, Croatia

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

**Reviewers:** Dražen Balen, Ph.D. Full Professor

Darko Tibljaš, Ph.D. Full Professor

Đurđica Pezelj, Ph.D. Associate Professor

**Date of the final exam:** July 14th, 2021

## POPIS KORIŠTENIH KRATICA

Å – angstrom

Ab – albit

And - andaluzit

Bt – biotit

Crd – kordijerit

Fsp – feldspat

Gt – granat

Hed - hedenbergit

K-Ar – kalij-argon metoda određivanja starosti

Ky - kijanit

LA-ICP-MS - Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (laserska ablacija- induktivno spregnuta plazma- masena spektroskopija)

Ma – milijun godina ( $10^6$  godina)

Ms – muskovit

Mt - magnetit

N+ - ukršteni nikoli

N- - isključeni analizator

Opx - ortopiroksen

Rb-Sr - rubidij-stroncij metoda određivanja starosti

REE – elementi rijetkih zemalja

Sill - sillimanit

Qtz – kvarc

Vol % - volumni postotak

XRD – rendgenska difrakcijska analiza

$^{\circ}2\theta$  – stupnjevi dva theta



## Sadržaj

1.	Uvod	1
2.	Pregled dosadašnjih istraživanja i geologija područja	2
3.	Materijali i metode istraživanja	11
3.1.	Laboratorijska priprema uzoraka	11
3.2.	Mineralna optika	12
3.3.	Rendgenska difrakcijska analiza	13
3.3.1.	Metoda snimanja površine uzorka	15
3.3.2.	Metoda snimanja praha uzorka	15
3.4.	Termobarometrijske metode	15
3.4.1.	Perple_X	16
4.	Rezultati	17
4.1.	Makroskopski opis stijena	17
4.2.	Mikrofiziografski opis stijena	19
4.3.	Rendgenska difrakcijska analiza	22
4.3.1.	Trikliničnost	30
4.4.	Termobarometrijske metode	32
4.4.1.	Granit	32
4.4.2.	Migmatit	35
5.	Rasprava	38
6.	Zaključak	41
7.	Literatura	42
8.	Popis slika u tekstu	46
9.	Popis tablica u tekstu	48

## 1. Uvod

U ovom diplomskom radu određivane su petrološke značajke granitoidnih stijena iz kamenoloma „Zebrato“. Granitoidne stijene su magmatske stijene koje generalno sadrže kvarc, feldspate i tinjce. Granitoidi pokazuju veliku raznolikost zbog različitih evolucijskih procesa, geneze i porijekla. U kamenolomu se mogu naći dvije vrste granitoidnih stijena, granit i migmatit koji je na temelju kasnije utvrđene genetske povezanosti i mineralnog sastava gnajs. Kamenolom „Zebrato“ (45°30'14.85"S, 17°26'8.44"E) nalazi se na zapadnim obroncima Papuka, pored sela Koturić (Slika 1) u općini Pakrac nedaleko od grada Pakraca. Papuk je jedna od „Slavonskih planina“. Pojam „Slavonske planine“ obuhvaća Papuk, Požešku goru, Psunj, Dilj, Krndiju i Ravnu goru. Papuk je najveća i uz Krndiju i Psunj najstarija gora slavonskih planina (<http://www.papukgeopark.com/>). Na uzorcima koje je ranije prikupio prof. dr.sc. Dražen Balen, optičkim istraživanjima, rendgenskom analizom, cjelostijenskim kemijskim analizama te analizom u software-u Perple\_X u ovom radu odrediti će se petrološke značajke uzorka koji je kombinacija migmatita i granita. Korištena je novija verzija Perple\_X software-a iz veljače 2020 i novi tzv. solid solution modeli. Isti je uzorak korišten je i u diplomskom radu Petre Belobrk (Belobrk, 2015). Sintezom svih dobivenih rezultata i podataka dat će se model nastanka stijena kamenoloma „Zebrato“.



Slika 1 Digitalni ortofoto „Slavonskih planina“ (preuzeto s <https://geoportal.dgu.hr/>) sa istaknutim širim područjem istraživanja

## **2. Pregled dosadašnjih istraživanja i geologija područja**

U ovom je poglavlju dan kronološki pregled dosadašnjih istraživanja koji je povezan s geologijom Papuka i kamenoloma. Tajder (1957) je u svom radu prvi opisao genezu granitoidnih stijena zapadnog dijela Papuka. Granitoidne stijene podijelio je na granodiorite, adamelite, porfiroidne adamelite i granodiorite te leukokratske alkalijske granite. Zaključio je da su ove stijene dio batolita ili štoka u kojem granodioriti predstavljaju najstariju, a leukokratski adameliti i alkalijski graniti najmlađu fazu u kristalizacijskoj evoluciji magme. Vragović (1965a, 1965b) u sklopu svojih istraživanja detaljno opisuje migmatite, granite i gnajseve Papuka. Nakon petrološke i kemijske analize zaključuje da granitske i sa njima udružene stijene predstavljaju rubni dio plutona koji postepeno tone od zapada prema istoku. Opisuje formiranje granitno-metamornog masiva sastavljenog od granita, migmatita i metamornih škriljavaca kroz više sukcesivnih faza za vrijeme i nakon boranja nekog orogenetskog ciklusa ne starijeg od silura. Raffaelli (1965a, 1965b) je istraživao područje Ravne gore. Opisao je hercinski progresivnometamorfni kompleks s jasno izraženim zonalnim rasporedom minerala iz kojeg se postepeno razvijaju migmatiti, a obradio je i kvarcne diorite s kumingtonitom. U međusobnu genetsku vezu dovodi niskometamorfne škriljavce progresivnometamornog kompleksa Ravne gore, na Papuku, s niskometamornim stijenama vanjskog pojasa na kojima je Poljak (1952) odredio silursku starost. Marci (1968) na temelju analiza elemenata u tragovima određuje porijeklo gnajseva Papuka. Na temelju rezultata i odnosa mikro i makro elemenata zaključila je eruptivno porijeklo anklava na Papuku te prisutnost orto i para gnajseva.

Kristaline stijene istočnog dijela Papuka i Krndije Jamičić (1983) dijeli u tri serije na temelju njihovih struktura, tekstura i mineralnog sastava :

1) Serija migmatitskih gnajseva i granita (Jankovačka serija) gdje se pojavljuju homogeno migmatizirani gnajsevi koji se po teksturnim osobinama dijele na anateksite (sitnoborani gnajsevi) i embrešite (porfiroblastični gnajsevi). Toj seriji pripadaju migmatiti, graniti, gnajsevi, pegmatiti i manje mase paragnajseva

2) Serija metamorfoziranih stijena Krndije i južnih padina Papuka (Kutjevačka serija) sastoji se od varijeteta granitoidnih i metamornih stijena koje pripadaju facijesima od zelenih škriljavaca do amfibolitskog facijesa. Stijene koje se pojavljuju u amfibolitskom facijesu su amfiboliti škriljavci, granitoidne stijene te razni varijeteti paragnajseva.

3) Serija niskometamorfoziranih i nemetamorfoziranih stijena (Radlovačka serija) sačinjena je većinom od slejtova, dijabaza, metagrauvaka i konglomerata.

Stijene kamenoloma „Zebrato“ po ovoj podjeli pripadaju Jankovačkoj seriji.

Jamičić et al. (1987) opisuju biotitske gnajseve i bioit-muskovitske gnajseve koji postepeno prelaze u migmatitske gnajseve. Na osnovi teksturnih i strukturalnih osobina razlikuju heterogene i homogene migmatite. Heterogeni migmatiti predstavljaju prijelazne varijetete od paragnajseva prema homogenim migmatitima, dok se među homogenim migmatitskim gnajsevima nalaze sitnoborani gnajsevi (anateksiti) i porfiroblastični gnajsevi (embrešiti). Pamić et al. (1988) objavili su rad o izotopnim starostima granitoidnih i metamornih stijena slavonskih planina i okolne podloge Panonskog bazena koji se temelji na K-Ar i Rb-Sr određivanjima te su dobili rezultate koji dokazuju da su se granitni plutonizam i glavna faza metamorfizma na Psunju, Papuku, Krndiji i okolnoj podlozi Panonskog bazena odigrali za vrijeme hercinske orogeneze. Jamičić et al. (1989) migmatitske gnajseve i granitoidne stijene smjestili su u stariji paleozoik. Tvrde da se migmatitski gnajsevi javljaju u orografskoj osi Papuka, a najzastupljeniji su u njegovom centralnom dijelu. Po strukturalnim i teksturalnim karakteristikama razlikuju heterogene i homogene migmatite. Heterogeni migmatiti pretežno su građeni od salskog materijala, a sastava su leukokraskih tonalita, rjeđe leukokraskih granodiorita i granita. Homogene

migmatitske gnajseve najčešće opisuju kao mikroklinske porfiroblastične gnajseve dok su plagioklasi manje zastupljeni. Opisana su im i svojstva: paralelna tekstura i okcasta struktura uvjetovana subparalelnim redanjem leća i lamina kvarc-feldspatskog materijala i porfiroblasta mikroklina oko njih oko kojih se povijaju tanke nakupine biotita. Navode da se uz mikroklin koji može biti veličine do 8 centimetara javljaju kvarc, kiseli plagioklas i biotit, a muskovit rjeđe i u manjim količinama te da po mineralnom sastavu mikroklin-porfiroblastični gnajsevi odgovaraju sastavu granita i granodiorita. Nadalje, opisuju granitoidne stijene koje se pojavljuju unutar prethodno opisanih migmatitskih gnajseva kao manje ili veće mase, leće ili žile. Graniti su u migmatite najčešće konkordantno uloženi. Odlikuju se homogenom teksturom bez izrazite folijacije ili s vrlo slabom folijacijom. Svijetlosive do svijetložute boje koja je uvjetovana varijacijama u kvantitativnom odnosu biotita prema ostalim mineralima i trošnošću stijene. Osim biotita, glavni minerali su kvarc, plagioklasi i kalijski feldspat (mikroklin).

Pamić & Lanphere (1991) navode da se hercinski kristalini kompleks slavonskih planina i okolne podloge Panonskog bazena sastoji od:

- 1) anhimetamornih i niskometamornih stijena s metabazitima
- 2) progresivnometamorfne sukcesije niskog i srednjeg stupnja metamorfizma
- 3) migmatita
- 4) S-granita
- 5) I-granita

Navode da su sve te stijene vezane uz regionalno metamorfni kompleks koji je metamorfoziran u  $p - T$  uvjetima niskog i srednjeg stupnja metamorfizma za vrijeme hercinske orogeneze. Nadalje, navode da se iz stijena koje su prošle kroz najviši stupanj metamorfoze postepeno razvijaju hercinski migmatiti, kroz koje se probijaju hercinski S-graniti. Stijene koje su jače metamorfozirane, a dio su tog regionalnog metamorfnog kompleksa probijaju i tijela I-granita, koja su najvećim dijelom hercinske starosti. Dijelovi progresivnometamorfnog kompleksa koji su jače metamorfozirani probijaju tijela I-granita u kojima se često mogu naći i intermedijarne, ali i bazične magmatske stijene.

Prema Pamić & Lanphere (1991) razlikuju se dvije genetske grupe granitoidnih stijena: S-graniti i I-graniti.

S-graniti sačinjavaju jezgre Papuka i Moslavačke gore, gdje su prostorno usko vezani uz migmatite. Petrografski su to većinom granodioriti.

I-graniti su manje rasprostranjena inačica granitoidnih stijena, mogu se naći samo na Psunju, Papuku i Krndiji u jače metamorfoziranim dijelovima regionalnometamornih sekvencija. Razlikuju se od S-granita, petrografski su to većinom monocgraniti (Papuk i Psunj), dok su na Krndiji to tonaliti i granodioriti. Za razliku od S-granita, I-graniti su jako kataklazirani, ponekad i uškriljeni. I-graniti su tipične magmatske stijene plašnog porijekla, a smatra se da kako je ova asocijacija stijena mogla nastati duž aktivnog kontinenteskog ruba, odnosno subdukcijske zone Paleotetisa.

Migmatiti se javljaju na Papuku i u okolnoj podlozi. Po svojem kemijskom i mineralnom sastavu te su stijene identične S-granitima, dakle granodioritnog monocdioritnog sastava. Migmatiti se sastoje od tamnih i svijetlih vrpce. Svijetle, leukosomske vrpce granitnog su sastava, dok su tamne, melanosomske vrpce i leće izgrađene od ishodišnih paragnajseva. Migmatiti se postupno razvijaju iz paragnajseva i tinčevih škriljavaca okolnih regionalnometamornih sekvencija, a radi svojih raznovrsnih tekstura i struktura postoje razni varijeteti migmatita.

Na temelju podataka dobivenih K-Ar i Rb-Sr izotopnih analiza na migmatitima i S-granitima zaključeno je da su te stijene nastale za vrijeme hercinskog orogenetskog ciklusa (Pamić & Lanphere 1991).

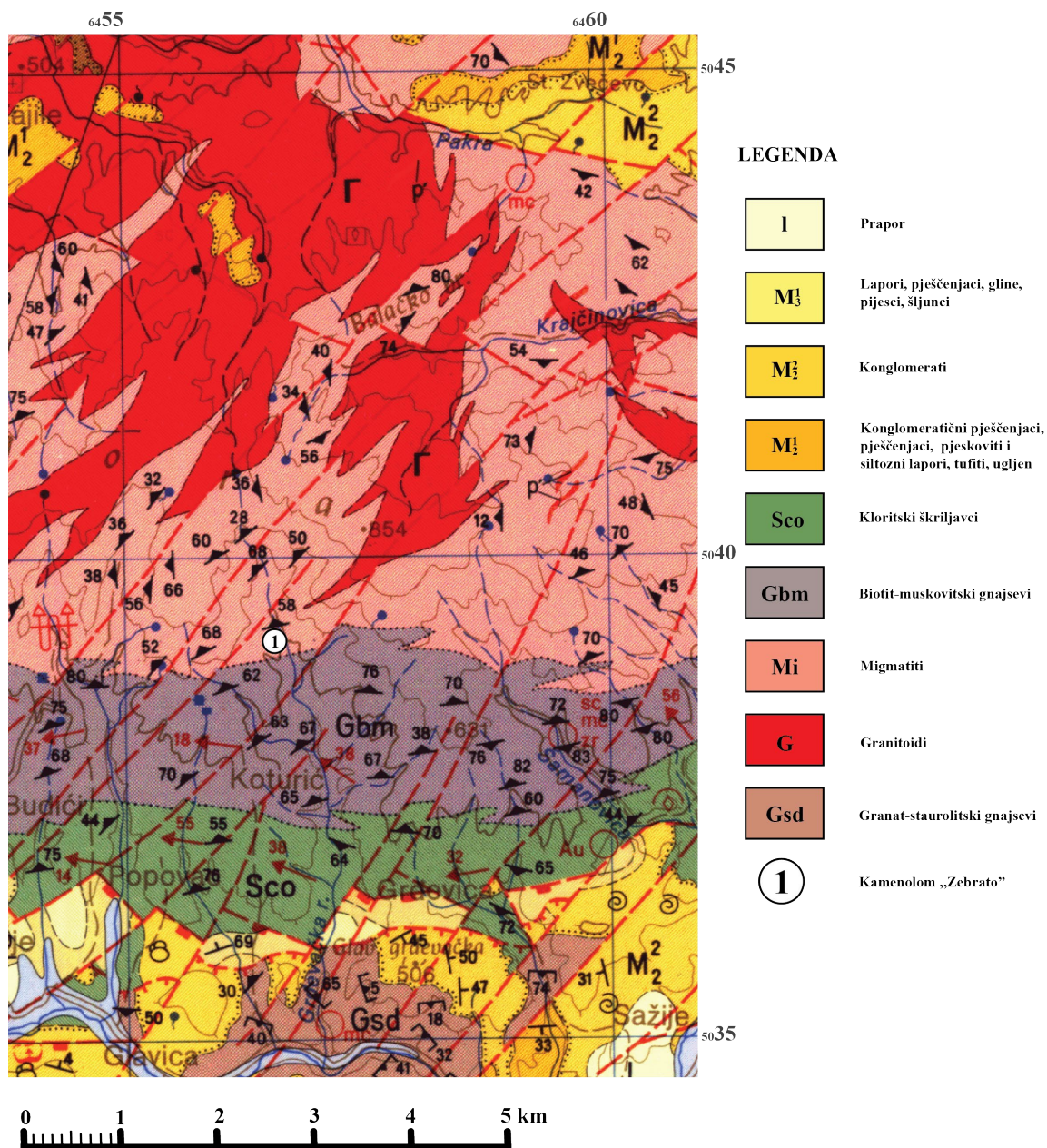
Jovičić et al. (1992) u svome radu opisuju ležište arhitektonskog kamena granita „zebrato“ (Slika 2) na osnovi detaljnih geoloških radova, geofizičkih ispitivanja i rezultata probne eksploatacije. Posebno su obradili petrografski sastav i tektonski sklop. Na osnovi tih istraživanja, fizičko-mehaničkih svojstava kamena i probne eksploatacije dana je ukupna ocjena ležišta. Ležište je vrednovano sa stajališta geoloških, tehnološko-ekonomskih, tehničkih i dekorativnih kriterija te je proglašeno kao nacionalno značajno ležište. Tijekom ispitivanja ležišta zaključeno je da je ležište izgrađeno od porfiroblastičnog granita koji je u direktnom kontaktu s biotit-muskovitnim gnajsevima. Stjenska masa je vrlo kompaktna, bez vidljivih pukotina i ujednačenih dimenzija zrna. U radu su porfiroblastični graniti opisani kao graniti masivne građe, mjestimice prošarani

žilicama sitnozrnatog granita koji su holokristalni, srednje do krupnozrnati sa slabo izraženo subparalelnom teksturom. Navodi se da se u srednjezrnatoj osnovi nalaze porfiroblasti kalijskih feldspata veličine od 0,5 do 3 centimetara. Mikroklin, oblika krupnih porfiroblasta, duboko prodire među ostale minerale. Oko 95% stijene čine mikroklin, kvarc, plagioklasi i biotit. Sporedni minerali su muskovit i opaki minerali, a akcesorni su cirkon i apatit. Opisani su i sitnozrnati graniti koji se nalaze unutar porfiroblastičnih granita. Zrna su izometrična i alotriomorfna te dominiraju kvarc, mikroklin i plagioklasi. Kristalinu podlogu Panonskog bazena Pamić (1999) dijeli na četiri geotektonska megabloka: 1) Južnotisijски (Slavonsko-moslavački) megablock izgrađen većinom od paleozojskih metamorfnih sekvencija, granita i migmatita; 2) Sjevernodinaridski, izgrađen od paleogenskih metamorfnih megasekvencija, gornjokredno-paleogenskog fliša, tektonitnog ofiolitnog melanža i sinkinematskih granita; 3) Zagorsko-srednjotransdanubijski blok, nešto manje veličine, izgrađen od miješanih južnoalpskih i sjeverozapadno-dinaridskih tektonostratigrafskih jedinica; 4) Pohorsko-međimurski blok, najmanje površine, izgrađen od tektonostratigrafskih jedinica Istočnih Alpa i Predadriatskog lineamenta. Pamićeva se podjela temelji na geotektonskoj podlozi Panonskog bazena, a bila je tada prihvaćena od strane svih geologa cirkumpanonskih zemalja. Pohorsko-međimurski i Južnotisijски megablokovi paleogeografski su vezani uz južni rub Euroazije, a Sjevernodinaridski i Zagorsko-srednjotransdanubijski megablokovi genetski su vezani uz sjeverni rub Apulije (Afrika). Kristaline stijene Papuka, pa tako i kamenoloma „Zebrato“ pripadaju megajedinici Tisije koja se nalazi u jugoistočnom dijelu Panonskog bazena, a predstavlja dio kore, odnosno litosfere koji se odvojio od južnog ruba euroazijske ploče tijekom otvaranja istočnog dijela alpskog Tetisa u srednjoj juri. Utjecajem tektonike tijekom mezozoika i kenozoika, Tisija se smjestila na položaju gdje je i danas. Ti su tektonski pokreti bili kontrolirani Alpsko-Karpatsko-Dinaridskom tektonskom zonom tog orogenog sustava. Balen & Horváth (2003) proveli su geotermobarometrijsko istraživanje variscijskih metamorfnih stijena s područja Kutjevačke rijeke u Slavoniji i povezali ih s onima u južnoj Mađarskoj. Kovács Kis et al. (2004) proveli su istraživanja na uzorcima fenokristala kalijskih feldspata s lokaliteta Pakra i .Sloboština. Utvrdili su da se uzorci sastoje od mikrokлина, albita i kvarca. Odredili su da su temperature kristalizacije stijena ispod i oko 460°C. Trikliničnost uzoraka je bila u rasponu od 0,81 do 0,93. Zaključili su da su da postojanje albita unutar kristala mikrokлина

isključuje nastanak fenokristala direktno iz taljevine već zajedničku kristalizaciju na niskim temperaturama. Balen et al. (2006) su na temelju datiranja monacita s područja Kutjevačka Rijeka u Slavoniji, odredili starost metamornih stijena kao pre-variscijske, točnije ordovicijsko-silurske. Što je u skladu s vrijednostima iz rada Balen & Horváth (2003). Prema tim istraživanjima, vrijednosti koje bi odgovarale i lokalitetu kamenoloma „Zebrato“ odnosno Papučko-jankovačkom kompleksu kretale bi se oko 330 do 350 Ma. Horváth et al. (2010) su u radu opisali uzorke s lokaliteta Kutjevo i Krndija. Na temelju istraživanja granata iz tinjčevih škriljavaca i paragnajseva određeni su P-T uvjeti nastanka i starost stijena. Zaključeno je da su stijene s Krndije variscijske starosti (350 Ma), a stijene s lokaliteta Kutjevo pred ili rano-variscijske starosti (440 Ma) što poništava prijašnje pretpostavke koje su govorile da stijene s ovih lokaliteta pripadaju istoj tektonsko-metamorfnoj jedinici. Horvat et al. (2011) su istraživali razlike različitih kalijevih feldspata iz granitoidnih stijena i gnajseva na temelju rentgenske difrakcije uzoraka u prahu. Računali su triklinikitet (*eng. triclinicity*) po Goldschmidt & Laves (1954) i promjene u strukturama feldspata po metodama od Kroll & Ribbe (1983) i Godinho & Jaleco (1973). Rezultati istraživanja pokazali su da tip kalijevog feldspata koji se pojavljuje ovisi o stijeni domaćinu, a radi se o varijacijama u strukturi od ortoklasa preko srednje uređene strukture mikrokлина do visoko uređenog mikrokлина. Nadalje, rezultati su pokazali da se visoke vrijednosti triklinikiteta uz visok udio Al u feldspatima indiciraju na sporije hlađenje sustava tijekom kristalizacije dok se kod nižih vrijednosti triklinikiteta radi o relativno bržem hlađenju sustava što doprinosi manjoj uređenosti rešetke kod kalijevih feldspata što je u ovome radu primjenjeno da se zaključi geneza pojedinih istraživanih stijena. Balen et al. (2015) u svom su radu na temelju podataka dobivenih iz uzorka ortognajsa, stijene iz najstarijeg metamornog kompleksa na Papuku, koji pripada megajedinici Tisija, odredili P-T uvjete i starost na cerijem bogatim monactima ( $528 \pm 7$  Ma), torijem bogatim monacitima ( $491 \pm 6$  Ma) i iz jezgri granata ( $616 \pm 23$  Ma). Balen et al. (2018) su istraživanjem na škriljancima s područja Papuka zaključili kako su oni posljedica Alpinskog kolizijskog procesa, a ne prekambrijskog ili ranije paleozojskog metamorfizma. Te su starosti najmlađe u Slavoniji. Horvat et al. (2018) datirali su stijene s raznih lokaliteta na području Slavonskih planina. Uzorci su većinom granitoidne stijene. Metoda kojom su određivali starosti stijena je izotopna analiza uran-olovo na kristalima cirkona. Izmjerene starosti su oko 380 Ma i sugeriraju magmatsku aktivnost u kasnom devonu.

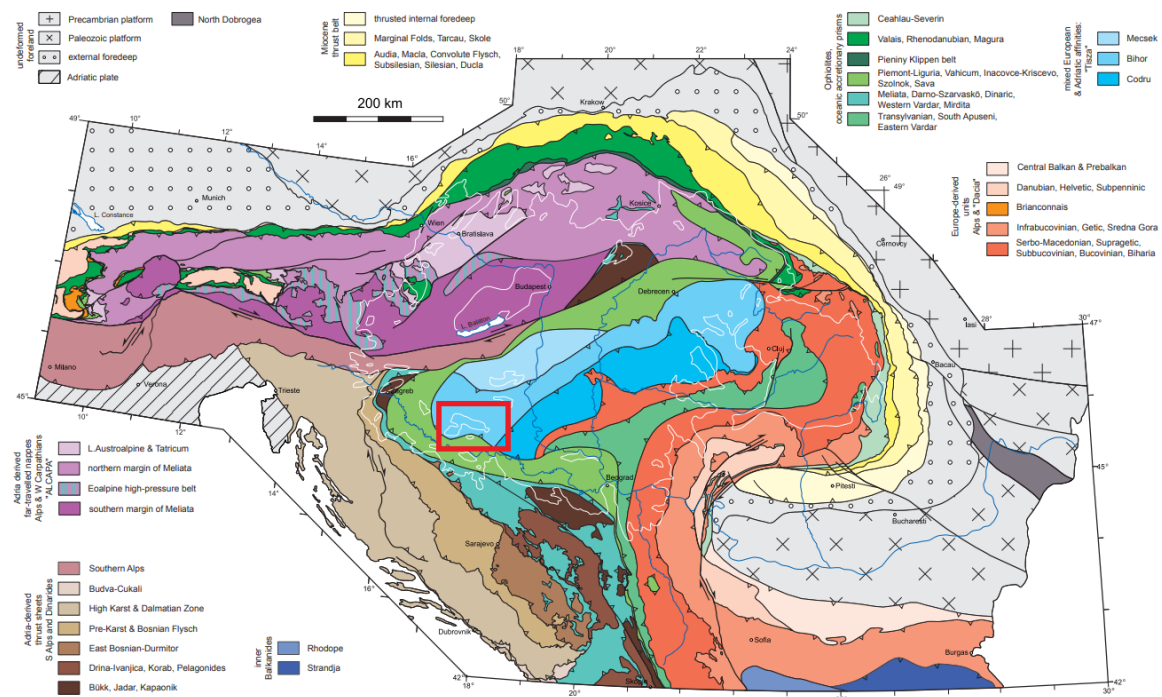


Balen & Massonne (2020) su u svom radu na uzorcima migmatita i gnajseva s Papuka odredili P-T-t put i odredili vrijeme nastanka stijena. Datiranje na zrnima monacita i ksenotima odrađeno je pomoću elektronske mikroprobe, a na zrnima cirkona i apatita iz uzoraka metodom LA-ICP-MS. Ponderirano srednje vrijeme nastanka jest  $374.1 \pm 5.8$  Ma, a dobiveni P-T uvjeti su  $9-9.5$  kbar and  $610^\circ\text{C}$ . Događaj se odvio tijekom variscijske orogeneze. Uz navedenu starost, određena je i klasična variscijska starost koja se nazirala iz statističke analize koja iznosi oko 330 Ma. Balen et al. (2020) su na uzorku granita s područja Požege, iz Sava zone, koji je bogat alkalijskim feldspatima odredili geokemijska svojstva, starost izotopnim radiometrijskim metodama, postojanje anomalija REE i kemijski sastav. Na temelju tih podataka određeno je da je magma iz koje je kristalizirao granit tipa A, a kristalizacija se odvijala tijekom kolizije europske i afričke ploče ( $83.6 \pm 1.5$  Ma), odnosno tijekom krede. Nadalje, može se pretpostaviti da je uzdizanje magme bilo brzo, događaj se odvio na prijelazu iz kompresijske u ekstenzijsku fazu praćen s otvaranjem sedimentnog bazena. Slovenec et al. (2020) istraživali su gobroidne stijene s Papuka, koje predstavljaju južnu granicu megajedinice Tisija. Na temelju istraživanja zaključili su kako bi te stijene mogle predstavljati dokaze kontaktne zone kontinentalnog ruba Gondwane.



Slika 2 Isječak geološke karte list Daruvar (Jamičić, 1988) s označenim lokalitetom

Danas prevladava mišljenje opisano u Schmidt et al. (2008) gdje se na području Slavonskih planina dodiruju velike strukturne jedinice Sava zona i megajedinica Tisija (Slika 3). Megajedinica Tisija, zvana i Tisza ili Tisa u cirkumpanonskim zemljama fragment je litosfere odlomljen od južnog kraja europske ploče od koje je većinom građen i jugoistočni dio kristaline podloge Panonskog bazena. Današnji smještaj ove jedinice rezultat je kompleksne mezozojske i kenozojske tektonike tijekom Alpsko-Karpatско-Dinarske orogene evolucije. Unutrašnja građa megajedinice Tisija je vrlo složena, obuhvaća tri velike navlačne ljsuke (*eng. Nappe*) koje su nagnute u smjeru juga. Nastale su kompresijskom tektonikom u turonu nakon čega su transportirane prema sjeverozapadu. Te su navlake Meček, Kodru i Bihor. Meček navlaka je strukturno najniža, a prekrivena je navlakama Bihor i Kodru. Svaki od ovih sustava sadrži stijene kristaline podloge i post-varisijске sekvencije koje ih prekrivaju. U kasnoj kredi započinje završna faza zatvaranja Tetisa gdje se Jadranska mikroploča subducira pod Tisiju. Ta subdukcija na kraju rezultira kolizijom tijekom najmlađe krede i paleogena čija je posljedica stvaranje Sava suturne zone uz južni rub Tisije sa smjerom pružanja SZ-JI. Metamorfne stijene Slavonskih planina (Psunja, Papuka i Krndije) koje se izdižu na južnom dijelu Panonskog bazena pripadaju Bihor navlačnom sustavu.



Slika 3 Tektonske jedinice prema Schmidt et al. (2008). Crveno su uokvirene Slavonske planine.

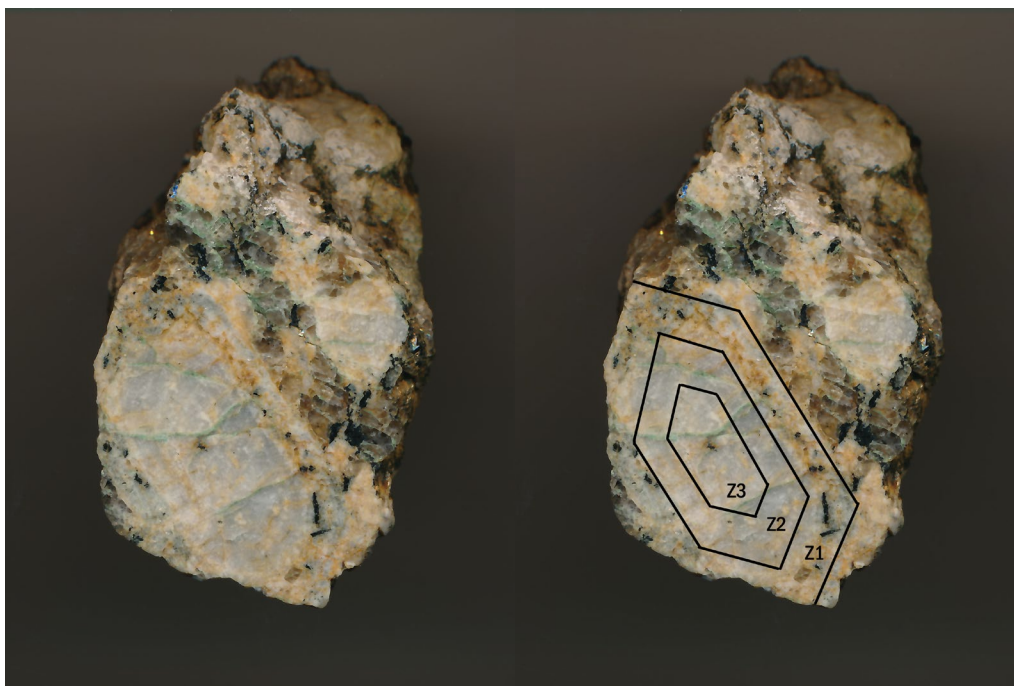
### 3. Materijali i metode istraživanja

#### 3.1. Laboratorijska priprema uzoraka

Uzorci iz kamenoloma koje je ranije prikupio prof.dr.sc. Dražen Balen pripremljeni su za analiziranje u laboratoriju u Mineraloško-petrografskom zavodu Geološkog odsjeka.

Obrađeno je ukupno 7 uzoraka, tri uzorka granita i četiri migmatita. Za mikroskopsku analizu uzorci granita i migmatita ispiljeni su na tanke pločice rotirajućom dijamantnom pilom, brušeni su na prahu 500 kako bi se uklonile sve nepravilnosti i kako bi površina pločice postala glatka. Porozni i lako drobljivi uzorci su prije lijepljenja impregnirani „šelakom“. Pločice su zalijepljene na laboratorijska stakalca smolom poznatog indeksa loma. Nakon sušenja smole ručno su izbrušeni do debljine od 20-30 mikrona na prahovima različite granulacije. Izbrusci su prekriveni pokrovnim stakalcima koja su na njih nalijepljena kanada balzamom indeksa loma 1,54. Nakon hlađenja i čišćenja stakalaca od viška kanada balzama u alkoholu slijedi analiza pomoću polarizacijskog mikroskopa. Uzorci granita označeni su kao G1, G2 i G3, a uzorci migmatita s M2 i M4.

Za rendgensku analizu jedan je uzorak migmatita pripremljen za snimanje arheološkom XRD nedestruktivnom metodom gdje se snima ispolirana površina uzorka. Ispiljen je u pločicu i učvršćen tekućom plastikom kako se ne bi raspao. Taj je uzorak označen s M1. Uzorak M3 ispoliran je na prahovima 240 i 500, te na kraju pomoću korundova praha kako bi se mogao skenirati. Primijećen je zonalan rast kristala iz uzorka M3, nakon fotografiranja uzorka na rotirajućoj dijamantnoj pili ispiljena je pločica i izdvojen je monokristalan dio. Mehanički su odvojene zone kristala Z1, Z2 i Z3. Tako odvojeni dijelovi kristala smrvljeni su u prah u ahatnom tarioniku i pripremljeni za XRD analizu



Slika 4 Zone fenokristala feldspata Z1, Z2 i Z3, uzorak M3

### 3.2. Mineralna optika

Polarizacijski mikroskop koristi se za određivanje mineralnog sastava, mikrofiziografskih i mikrotektonskih osobina te struktura i tekstura promatrane stijene. Osnovni dijelovi polarizacijskog mikroskopa redom od izvora svjetlosti do okulara su: izvor svjetlosti, polarizator, iris-zaslon, kondenzator, mikroskopski stolić, tubus s objektivom, utor za umetanje akcesornih pločica, analizator, Amici-Bertrandova leća, okular.

Pomoću polarizacijskog mikroskopa opažaju se optička svojstva minerala u prolaznoj svjetlosti, dakle uvjet je da su minerali prozirni, odnosno nisu opaki. Svjetlost se prolaskom kroz polarizator polarizira što znači da vibrira samo jednoj ravnini okomitoj na smjer širenja svjetlosti. Vibracijski smjer polarizatora proizvođači namještaju paralelno sa smjerom S-J ili I-Z tj. paralelno s jednom od niti nitnog križa. Preparate možemo promatrati u ortoskopskim ili konoskopskim uvjetima. Ovisno o tome je li leća, koja se



naziva kondenzor, uključena u tok svjetlosti ili ne, opažanja provodimo u snopu paralelnih zraka svjetlosti koje na preparat padaju pod pravim kutom (ortoskop) ili u snopu konvergentne svjetlosti (konoskop).

Različiti uvjeti promatranja služe za opažanje raznih pojava. U ortoskopskim uvjetima bez analizatora promatramo oblik, veličinu, pukotine, kalavost, indeks loma, reljef, pseudoapsorbiciju, boju i pleokroizam. S analizatorom u ortoskopskim uvjetima razlikujemo optički izotropne i anizotropne materijale, određujemo interferencijske boje, dvolom, debljinu preparata, orijentaciju indikatriše u mineralu, potamnjenja, optički karakter izduženja, zoniranje i sraslace. U konoskopskim uvjetima možemo razlikovati jednoosne i dvoosne anizotropne materijale te optički pozitivne i negativne materijale. Uz to i procijeniti kut optičkih osi te u slučaju kad je optički anizotropan materijal izbrušen okomito na optičku os možemo ga razlikovati od optički izotropnih materijala.

Fotografije mikroskopskih uzoraka snimljene su digitalnom kamerom proizvođača Cannon koja je postavljena na mikroskop proizvođača Zeiss. Fotografije su snimane u ortoskopskim uvjetima, s i bez uključenog analizatora, a daljnja obrada fotografija provedena je u programu AxioVision 4.8 (tvrtke Carl Zeiss Microimaging) te u programima Adobe Illustrator i Photoshop.

### 3.3. Rendgenska difrakcijska analiza

XRD analiza obavljena je u rendgenskom laboratoriju na Mineraloško-petrografskom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu. Korišten je uređaj Phillips PW 3040/60 X'Pert Pro. Uzorci praha snimani su dva puta. Prvi puta dvostruko brže. Parametri snimanja metodom praha drugi puta su: bakrena anoda ( $\text{CuK}\alpha$  zračenje je valne duljine  $\lambda=1.54178 \text{ \AA}$ ), raspon snimanja bio je od  $5^\circ$  do  $65^\circ 2\theta$ , 40mA, 40kV, brzinom od  $0,0130^\circ 2\theta$  u sekundi. Uzorci su snimljeni na sobnoj temperaturi ( $25^\circ\text{C}$ ). Uvjeti snimanja arheološkom metodom su: bakrena anoda ( $\text{CuK}\alpha$  zračenje je valne duljine  $\lambda=1.54178 \text{ \AA}$ ), raspon snimanja bio je od  $10^\circ$  do  $63^\circ 2\theta$ , brzinom od  $0,02^\circ 2\theta$  u sekundi, program gixrd; omega postavljen na 17.

Rendgenska difrakcijska metoda (XRD) je nedestruktivna analitička metoda koja otkriva informacije o kristalnoj strukturi. U geologiji se koristi za identifikaciju i kvantifikaciju različitih kristalnih faza. Ova metoda koristi rendgensko zračenje. Rendgensko zračenje je vrsta elektromagnetskog zračenja visokih frekvencija i energija, a vrlo male valne duljine (od od 1 Å do otprilike 200 Å). Rendgensko zračenje obasjava tvar čija kristalna rešetka djeluje kao optička rešetka za rendgensko zračenje. Prilikom interakcije materijala i rendgenskih zraka dolazi do difrakcije koju možemo opisati kao refleksiju zraka na skupovima mrežnih ravnina. Rendgenska difrakcija opisana je Braggovim zakonom (Slika 5). Taj zakon mora biti ispunjen kako bi na nekoj mrežnoj ravnini došlo do rendgenske difrakcije:

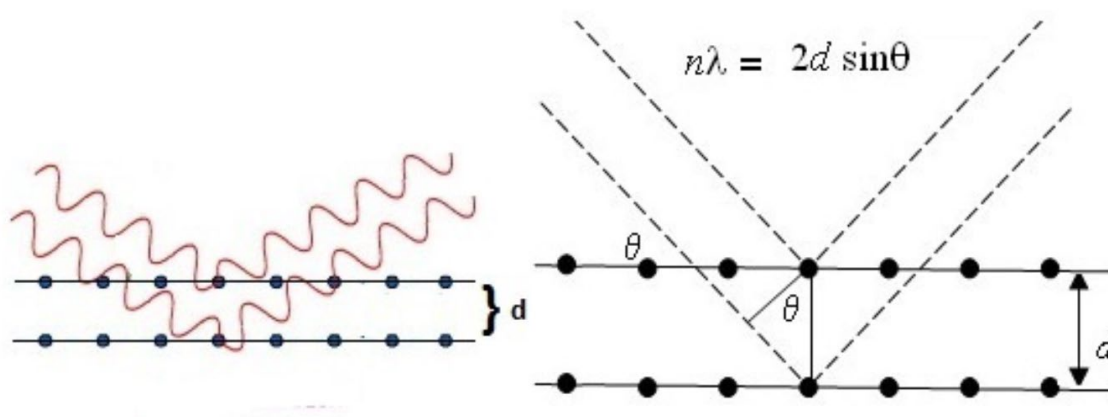
$$2 d_{hkl} \sin\theta = n\lambda$$

$d_{hkl}$  = međumrežni razmak ravnina u kristalu

$\theta$  = difrakcijski kut

$n$  = razlika u hodu među valovima (cijeli broj)

$\lambda$  = valna duljina upadnog rendgenskog zračenja



Slika 5 Braggov zakon i formula:  $\lambda$  – valna duljina zračenja,  $d$  – međumrežni razmak,  $n$  – cijeli broj i  $\theta$  - kut difrakcije. ([https://hr.wikipedia.org/wiki/Braggov\\_zakon](https://hr.wikipedia.org/wiki/Braggov_zakon))

Ovisno o potrebama ispitivanja mogu se provesti analize metodom monokristala ili metodom praha. Metoda praha može se prilagoditi i za analizu cjelovitih uzoraka.

Difrakcijske slike interpretirane su pomoću programa X'Pert HighScore Plus (Degen et al., 2014).

### 3.3.1. Metoda snimanja površine uzorka

XRD: sniman je monokristal feldspata iz uzorka M1 i to 12 puta. Snimane su različite pločice koje pokrivaju cijeli kristal. Snimanje je radi prevelikog broja interferencija bilo neuspješno i nije dalo očekivane rezultate, odnosno rezultati mjerenja se nisu mogli jednoznačno interpretirati.

### 3.3.2. Metoda snimanja praha uzorka

Sniman je prah zona fenokristala Z1, Z2 i Z3 (Slika4). Prah je nanesen na staklene nosače i sniman u navedenim uvjetima kako bi se iz rendgenograma provela kvalitativna fazna analiza te na temelju indiciranog rendgenograma odredila trikliničnost feldspata. Prema formuli  $\Delta = 12.5*[d(131)-d(\bar{1}\bar{3}1)]$  od Goldschmidt & Laves (1954). Pomoću programa UnitCell (Holland & Redfern, 1997) izračunate su dimenzije jedinične ćelije.

## 3.4. Termobarometrijske metode

Geotermobarometrija je geološka disciplina koja se bavi određivanjem temperatura i tlakova na kojima nastaju stijene. U toj se disciplini za izračune često koriste softverski alati od kojih je jedan i Perple\_X koji je korišten u ovom radu (<http://www.perplex.ethz.ch/>) (Connolly & Kerrick, 1987). Za rad u programu korišteni su rezultati kemijske analize stijene preuzeti iz Belobrk (2015). Osim za iscrtavanje raznih dijagrama, Perple\_X vrlo je dobar za dobivanje pseudopresjeka, odnosno izokemijskih faznih dijagrama koji prikazuju polja stabilnosti različitih mineralnih parageneza u stijeni.



### 3.4.1. Perple\_X

Perple\_X je skup programa napisanih u programskom jeziku Fortran77. Koristi se za izračun i grafički prikaz faznih dijagrama, pseudopresjeka i termodinamičkih podataka. Za potrebe naših izračuna bitni programi od kojih je Perple\_X sačinjen su Build, Vertex, Pssect, Werami i Pstable. Podaci dobiveni kemijskom analizom, željeni raspon temperatura i tlakova te ostali ulazni podaci unose se u Build. U Buildu se definiraju odnosno pripreme za izračun, a zatim se na temelju tih podataka provode izračuni pseudopresjeka u Vertexu. Izlazna datoteka Builda je u obliku (ASCII) datoteke s ekstenzijom '.dat' koja sadrži sve ulazne podatke. Trajanje izračuna, ovisno o željenim izlaznim podacima, može trajati satima. Za iscrtavanje dijagrama, tj. pseudopresjeka na temelju izlazne datoteke iz Vertexa koristi se Pssect. Na temelju izračunatog pseudopresjeka mogu se odrediti volumni udjeli pojedinih faza u sustavu, konstruirati izoplete i drugi parametri sustava. Za te se izračune koristi program Werami, a za njihov se grafički prikaz koristi Pstable.

## 4. Rezultati

### 4.1. Makroskopski opis stijena

Među uzorcima stijena kamenoloma „Zebrato“ možemo razlikovati dvije različite stijene koje su na lokalitetu u kontaktnoj zoni. Prvi uzorak (Slika 6), ima homogenu teksturu i holokristalinu strukturu. Sivosmeđe je boje. Moguće je odrediti da sadrži kvarc, feldspate i tinjce. Stijena je određena kao granit.



Slika 6 Makroskopski prikaz stijene iz kamenoloma „Zebrato“ na kojoj se jasno vidi homogena tekstura, uzorak G1

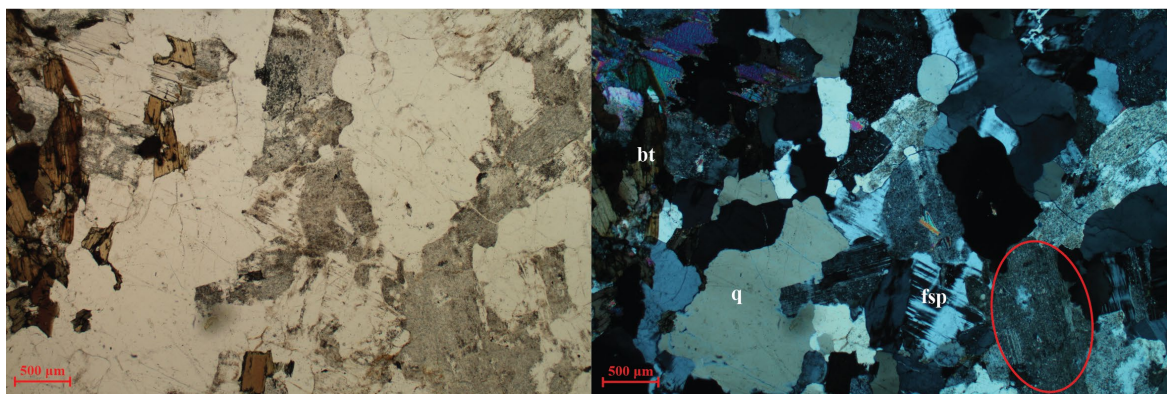
Sljedeći je uzorak s istog lokaliteta migmatit (Slika 7). Krupnozrnatiya stijena od granita s istog lokaliteta, vidno se izdvajaju leukosomni i melanosomni dijelovi. Moguće je odrediti mineralni sastav stijene, ona sadrži kvarc, tinjce i feldspate.



Slika 7 Makroskopski prikaz migmatita iz kamenoloma „Zebrato“, uzorak M4

## 4.2. Mikrofiziografski opis stijena

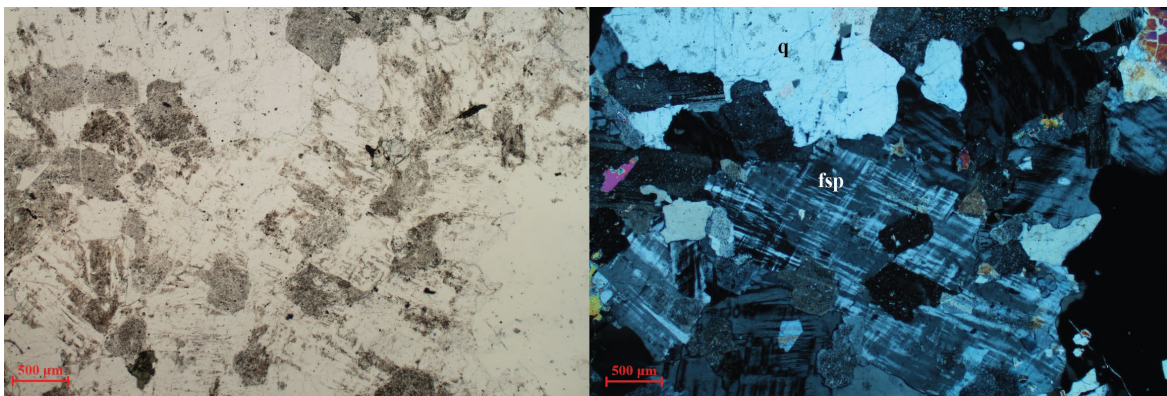
U uzorku granita G1 oko 50% zrna feldspata je u potpunosti sericitizirano i ne postoji preferirana orijentacija zrna. Tekstura je homogena, a struktura zrnata. Zrna su bezbojna u uvjetima N-, a u N+ interferiraju do bijele boje I. reda. Primjećuju se polisintetske sraslačke lamele i rešetkasta građa. Zrna mikrokлина imaju nizak negativan reljef. Zrna kvarca imaju nizak pozitivan reljef. U uvjetima N- su bezbojna, a u uvjetima N+ interferiraju do žućkaste boje I. reda. Primjetna su undulozna potamnjenja na nekim zrnima (N+). Muskovit se pojavljuje većinom kao uklopak u većim zrnima kvarca i feldspata, bezbojan je (N-), a interferira do žute boje III. reda sa prekrštenim nikolima. Bez uključenog analizatora primjetna je pseudoapsorpcija, a s uključenim struktura „ptičjeg oka“. Zrna biotita izražene su zelene do smeđe vlastite boje (N-) koja prekriva njihovu interferencijsku boju i kod prekrštenih nikola (N+). Izražen je pleokroizam primjetan kao izmjene tamno i svjetlosmeđe boje kod zakretanja uz što je primjetna i mrljasta površina minerala. Kod plagioklasa su najizraženije polisintetske sraslačke lamele, u uvjetima N- je bezbojan, a interferira do narančaste boje I. reda u N+. Procijenjeni udjeli pojedinih minerala u uzorku G1: mikroklin ( $K[AlSi_3O_8]$ ) 30 vol%, kvarc ( $SiO_2$ ) 28 vol%, biotit ( $K(Mg,Fe)_3[(OH,F)_2AlSi_3O_{10}]$ ) 18 vol%, plagioklasi 17 vol%, muskovit ( $KAl_2[(OH,F)_2AlSi_3O_{10}]$ ) 7 vol%. Iz navedenih opažanja zaključeno je da se radi o granitu.



Slika 8 Fotomikrografije uzorka G1, N- (lijevo), N+ (desno). Bt- biotit, q- kvarc, fsp- feldspat. Izrazito sericitizirano zrno zaokruženo je crveno.

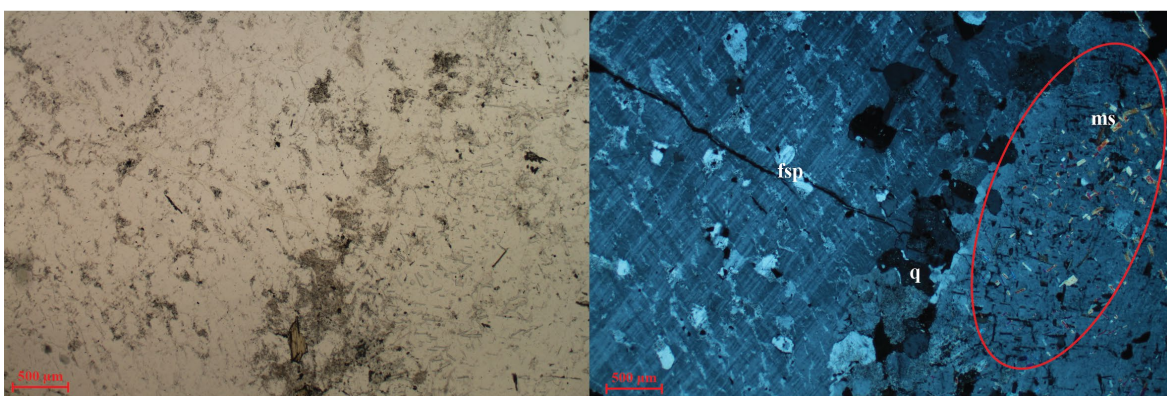


Kod uzorka G2 sve je gotovo isto kao i kod uzorka G1. Sericitizacija je izraženija, gotovo su sva zrna djelomično sericitizirana. Procijenjeni udjeli pojedinih mineralnih zrna iznose: mikroklin 40 vol%, kvarc 30 vol%, plagioklasi 25 vol%, biotit 3 vol%, muskovit 2 vol%. U uzorku nije primijećena preferirana orijentacija zrna.



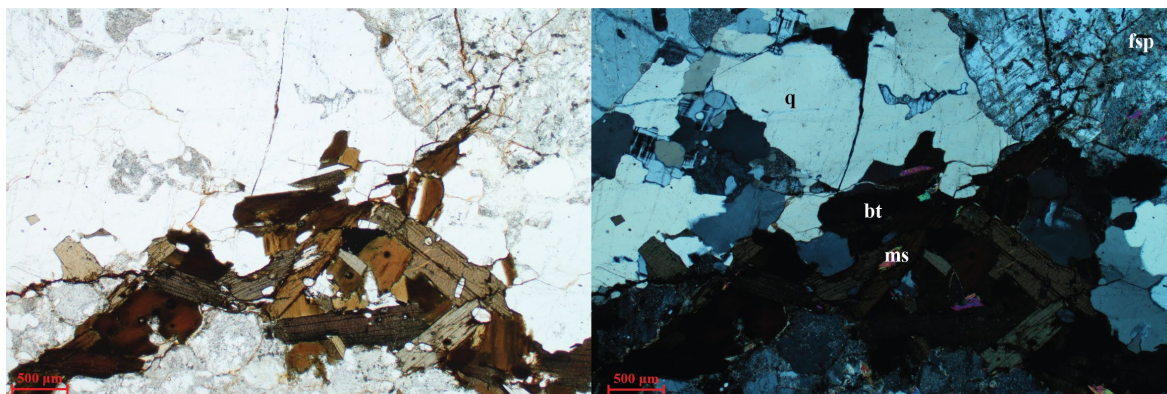
Slika 9 Fotomikrografije uzorka G2, N- (lijevo), N+ (desno), fsp- feldspat, q- kvarc.

U uzorku M3 ne postoji preferirana orijentacija zrna. Tekstura je homogena, a struktura zrnata. Zrna, pogotovo mikroklinu u uzorku su djelomično ili potpuno sericitizirana. Izražena značajka kod mikroklinu su sraslačke lamele. Zrna muskovita se pojavljuju nasumično orijentirana i uklopljena u velika zrna mikroklinu i štapićastog su oblika. Zrna kvarca pokazuju undulozna potamnjenja i nalaze se uz rubove velikih zrna mikroklinu. Procijenjeni udjeli pojedinih mineralnih zrna iznose: mikroklin 80 vol%, feldspati (ostali) 10 vol%, kvarc 7 vol%, muskovit 2 vol%, biotit 1 vol%



Slika 10 Fotomikrografije uzorka M3, N- (lijevo), N+ (desno), fsp- feldspat, q- kvarc, ms- muskovit. Crveno su zaokružena nasumično orijentirana zrna muskovita u velikom zrnu mikroklinu.

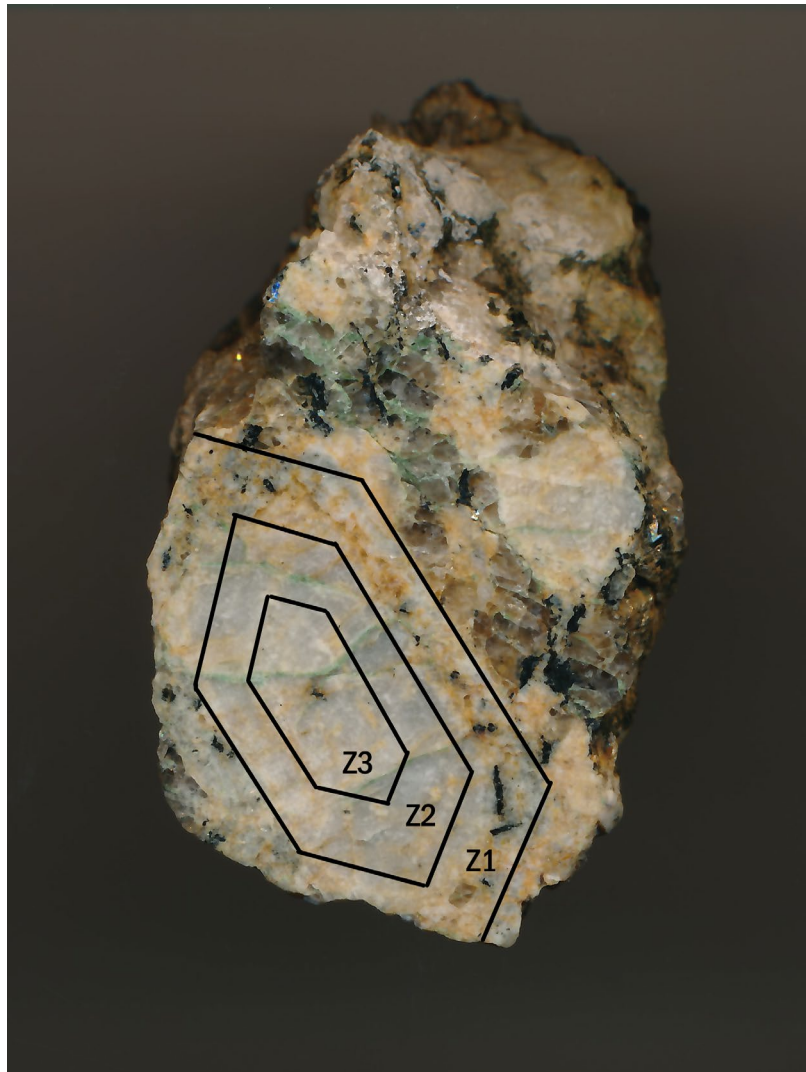
Uzorak M4 vrlo sličan uzorku M3, u njemu je veći udio biotita i muskovita (za nekoliko postotaka). Izraženija je sericitizacija zrna. Zbog velikih mineralnih zrna, a pogotovo zrna mikroklina utvrđeno je da su stijene M3 i M4 migmatiti.



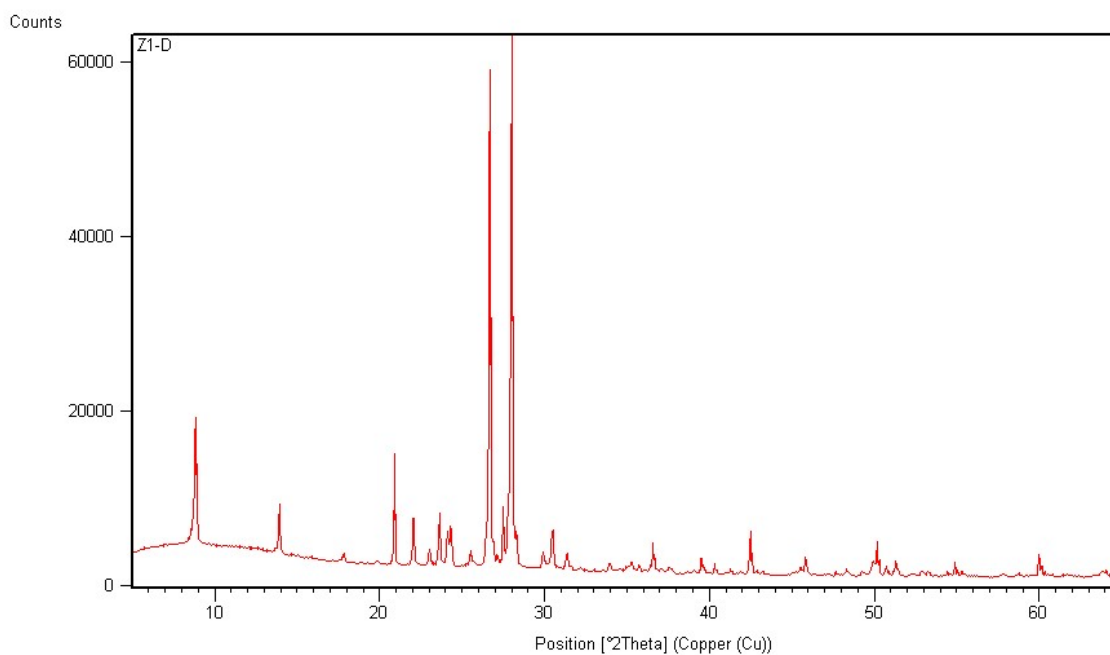
Slika 11 Fotomikrografije uzorka M4, N- (lijevo), N+ (desno), fsp- feldspat, q- kvarc, bt- biotit, ms- muskovit.

### 4.3. Rendgenska difrakcijska analiza

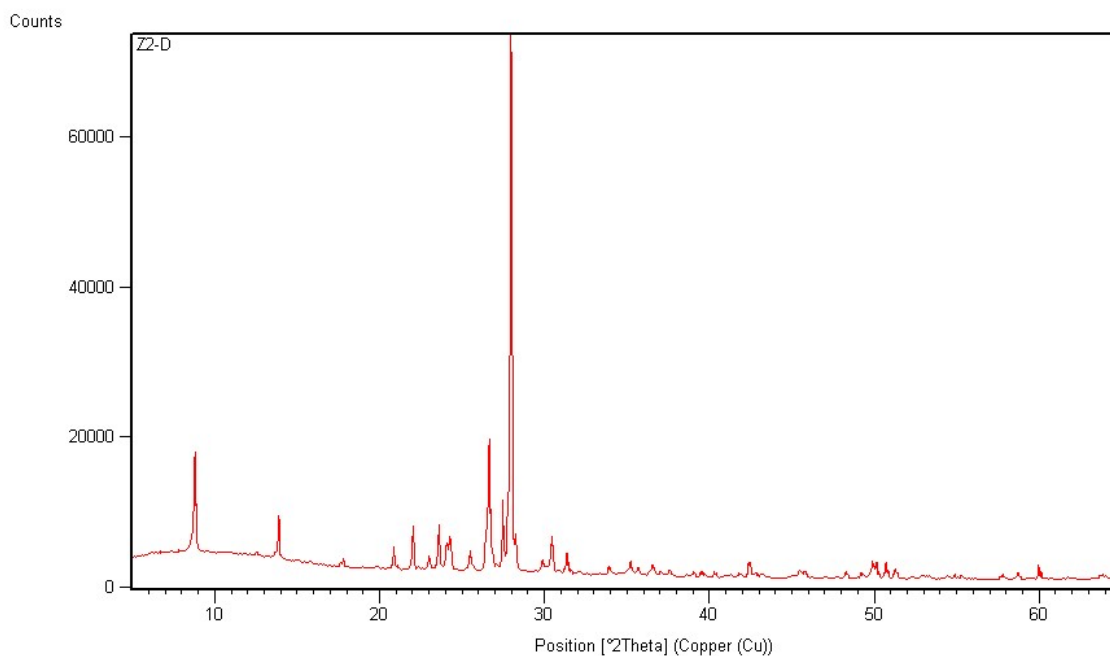
U zoni 1 (Slika 12/tablica3) najveći je udio plagioklasa, a najmanji udio mikroklina, za razliku od zone 2 (Slika14/ tablica2) i zone 3 (Slika15/tablica1) gdje je udio mikroklina puno veći. Udio mikroklina pada iz jezgre prema rubu fenokristala, a udio plagioklasa raste.



Slika 12 Označene zone fenokristala, uzorak M3

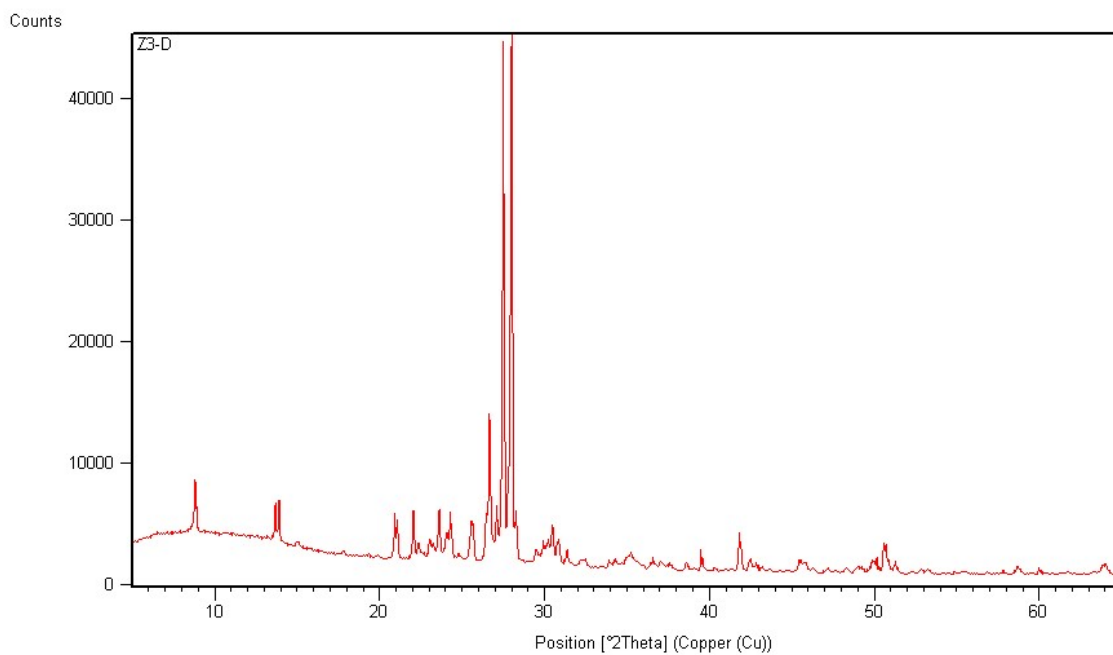


Slika 13 Rendgenogram praha zone Z1 iz feldspata u uzorku M3

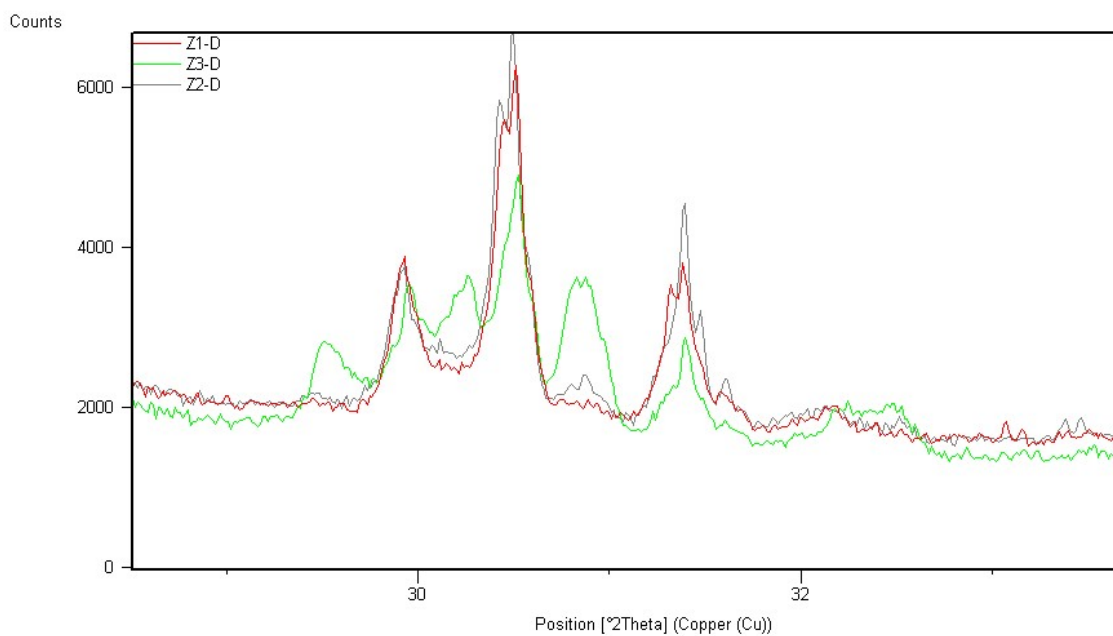


Slika 14 Rendgenogram praha zone Z2 iz feldspata u uzorku M3





Slika 15 Rendgenogram praha zone Z3 iz feldspata u uzorku M3



Slika 16 Usporedba rendgenograma Z1, Z2 i Z3 u dijelu bitnom za izračun trikliničnosti

**Tablica 1 Rendgenografski podaci za zonu Z3 iz fenokristala feldspata (Slika12), narančasto su označene vrijednosti bitne za izračun trikliničnosti. \* su označeni maksimumi koji nisu korišteni pri računu dimenzija jedinične ćelije, slova h,k i l označavaju Millerove indekse**

Položaj [ $^{\circ}2\theta$ ]	d-međumrežni razmak [Å]	Relativni intenzitet [%]	Mineral	h	k	l
13,66	6,4729	9	mikroclin	0	2	0
13,72	6,4462	6	ortoklas	0	0	1
13,89	6,3674	10	albit	0	2	0
14,92	5,9993	1	mikroclin*	-1	-1	1
19,29	4,5959	1	mikroclin	0	2	1
20,89	4,2471	6	kvarc	1	0	0
21,05	4,2163	7	mikroclin	-2	0	1
22,04	4,0296	9	albit	-2	0	1
22,36	3,9724	4	mikroclin	1	1	1
23,01	3,8607	4	mikroclin	2	0	0
23,55	3,7734	10	albit	-2	-2	1
24,06	3,6945	9	mikroclin	1	-3	0
24,27	3,6631	9	albit	1	3	0
24,37	3,6579	6	albit	-1	3	0
24,78	3,5900	1	mikroclin	-2	-2	1
25,56	3,4814	8	albit	-2	-2	1
25,69	3,4641	7	mikroclin	-1	1	2
26,65	3,3410	28	kvarc	1	0	1
27,48	3,2424	100	mikroclin	0	4	0
27,76	3,2101	16	albit	-2	0	2
27,96	3,1874	93	albit	0	4	0
28,26	3,1545	10	albit	-2	0	2
29,48	3,0173	2	mikroclin	1	3	1
30,22	2,9614	2	mikroclin	1	-3	1
30,46	2,9315	8	mikroclin*	0	4	1
30,81	2,8994	5	mikroclin	0	-4	1
31,33	2,8523	2	albit	1	3	1
32,19	2,7777	1	mikroclin	-1	-3	2
32,44	2,7574	2	mikroclin	-1	3	2
33,90	2,6417	1	albit	-1	3	2
34,25	2,6156	2	mikroclin	-2	-4	1
34,71	2,5823	1	mikroclin	-3	1	2
35,17	2,5493	3	mikroclin	1	-1	2
36,57	2,4548	2	kvarc	1	1	0
37,55	2,3927	1	mikroclin	-1	5	1
38,61	2,3299	2	mikroclin	-1	1	3
39,04	2,3048	1	mikroclin	-3	-3	2
39,47	2,2808	4	kvarc	1	0	2
40,31	2,2351	1	kvarc	1	1	1

41,28	2,1850	1	albit	1	-5	1
41,81	2,1583	7	mikroklin	0	6	0
42,48	2,1258	2	kvarc	2	0	0
42,84	2,1089	2	mikroklin*	-4	0	2
43,17	2,0936	1	mikroklin	2	-4	1
43,63	2,0728	1	mikroklin	2	0	2
44,20	2,0473	1	mikroklin	0	-6	1
45,42	1,9950	2	mikroklin	2	2	2
45,53	1,9906	2	mikroklin	-4	2	2
45,79	1,9799	2	kvarc	2	0	1
46,25	1,9610	1	mikroklin	-3	-5	1
47,13	1,9267	1	mikroklin	4	0	0
47,56	1,9100	1	mikroklin	-4	0	3
48,27	1,8837	1	mikroklin	-3	5	1
48,90	1,8610	1	mikroklin	3	5	0
49,04	1,8559	1	mikroklin	1	-1	3
49,24	1,8489	1	albit	-4	0	3
49,88	1,8266	2	albit	4	0	0
50,15	1,8174	3	kvarc	1	1	2
50,56	1,8035	6	mikroklin	-4	-4	2
50,71	1,7985	5	mikroklin	0	-4	3
51,28	1,7799	2	albit	-2	0	4
52,81	1,7319	1	albit	-4	-4	2
53,21	1,7199	1	albit	1	-3	3
54,40	1,6851	1	albit	-2	2	4
57,83	1,5929	1	albit	0	8	0
58,69	1,5716	1	albit	-5	-1	1
59,98	1,5409	1	kvarc	2	1	1
60,36	1,5320	1	albit	-4	2	4
64,01	1,4533	2	kvarc	1	1	3

**Tablica 2** Rendgenografski podaci za zonu Z2 iz fenokristala feldspata (Slika12). \* su označeni maksimumi koji nisu korišteni pri računu dimenzija jedinične ćelije

Položaj [°2θ]	d- međumrežni razmak [Å]	Relativni intenzitet [%]	Mineral	h	k	l
13,87	6,3761	7	albit	0	2	0
14,92	5,8794	1	mikroklin*	-1	-1	1
15,81	5,5993	1	albit	-1	1	1
20,85	4,2560	4	kvarc	1	0	0
22,02	4,0333	9	albit	-2	0	1
22,33	3,9777	1	mikroklin	1	1	1
22,98	3,8668	3	mikroklin	2	0	0
23,58	3,7692	9	albit	-2	-2	1
24,05	3,6958	6	albit	1	3	0
24,25	3,6660	7	albit	-1	3	0
25,48	3,4924	4	albit	-2	2	1
26,56	3,3522	15	mikroklin*	2	2	0
26,65	3,3420	32	kvarc	1	0	1
27,46	3,2446	12	mikroklin	0	4	0
27,75	3,2116	15	albit	-2	0	2
27,95	3,1886	100	albit	0	4	0
28,22	3,1592	8	albit	-2	0	2
30,39	2,9386	6	mikroklin*	1	-3	1
30,47	2,9309	9	albit	0	-4	1
30,80	2,9005	1	albit	1	-3	1
31,35	2,8506	4	albit	1	3	1
31,55	2,8329	1	albit	-1	-3	2
32,13	2,7832	1	mikroklin*	-1	-3	2
32,50	2,7525	1	mikroklin	-1	3	2
33,88	2,6429	2	albit	-1	3	2
34,48	2,5990	1	mikroklin*	-3	1	2
35,05	2,5579	1	mikroklin	1	-1	2
35,22	2,5458	3	albit	-3	-1	2
35,65	2,5162	2	mikroklin	-2	4	1
36,01	2,4915	1	albit	2	-2	1
36,33	2,4704	1	ortoklas	2	4	0
36,52	2,4578	3	kvarc	1	1	0
37,01	2,4263	1	albit	-1	-5	1
37,54	2,3934	1	mikroklin	-1	5	1
37,69	2,3846	1	albit	3	1	0
38,58	2,3312	1	mikroklin	-1	1	3
39,11	2,3067	1	mikroklin*	-3	-3	2
39,47	2,2809	1	kvarc	1	0	2

39,62	2,2727	1	albit	-1	1	3
40,29	2,2362	1	kvarc	1	1	1
41,27	2,1855	1	albit	1	-5	1
41,79	2,1595	1	mikroklin	0	6	0
42,47	2,1318	2	kvarc	2	0	0
42,57	2,1270	2	albit	0	6	0
42,80	2,1106	1	albit	1	5	1
43,20	2,0921	1	mikroklin	2	-4	1
45,40	1,9957	2	mikroklin	2	2	2
45,80	1,9794	2	albit	0	6	1
47,67	1,9061	1	mikroklin	-4	0	3
48,28	1,8833	2	mikroklin*	-3	5	1
48,98	1,8580	1	mikroklin	1	-1	3
49,21	1,8499	1	albit	-4	0	3
49,89	1,8263	3	albit	4	0	0
50,14	1,8177	4	kvarc	1	1	2
50,70	1,7988	4	albit	1	1	3
51,28	1,7800	3	albit	-2	0	4
52,17	1,7517	1	albit	4	2	0
52,82	1,7315	1	albit	-4	-4	2
53,29	1,7176	1	albit	1	3	3
54,37	1,6858	1	albit	-2	2	4
54,87	1,6717	1	kvarc	2	0	2
57,79	1,5938	1	albit	0	8	0
58,70	1,5715	2	albit	-5	-1	1
59,23	1,5586	1	albit	3	5	1
59,96	1,5414	3	kvarc	2	1	1
60,77	1,5228	1	albit	-4	2	4
61,68	1,5024	1	albit	-5	-3	3
63,40	1,4693	1	albit	2	8	0
63,80	1,4575	1	albit	0	6	3
64,03	1,4528	1	kvarc	1	1	3

Tablica 3 Rendgenografski podaci za zonu Z1 iz fenokristala feldspata (Slika12).

\* su označeni maksimumi koji nisu korišteni pri računu dimenzija jedinične ćelije

Položaj [ $^{\circ}2\theta$ ]	d-međumrežni razmak [ $\text{\AA}$ ]	Relativni intenzitet [%]	Mineral	h	k	l
13,71	6,4555	4	mikroklin	0	2	0
13,91	6,3601	9	albit	0	2	0
20,90	4,2467	18	kvarc	1	0	0
22,04	4,0295	9	albit	-2	0	1
23,01	3,8608	3	albit	1	-1	1
23,61	3,7637	9	albit*	1	3	0
24,10	3,6889	6	albit	1	3	0
24,30	3,6589	7	albit	-1	3	0
25,52	3,4873	2	albit	-2	-2	1
26,47	3,3640	7	mikroklin	2	2	0
26,60	3,3478	27	albit	-1	1	2
26,68	3,3380	99	kvarc	1	0	1
27,49	3,2417	10	mikroklin	0	4	0
27,90	3,1948	33	albit	-2	0	2
28,01	3,1828	100	albit	0	4	0
29,91	2,9844	3	mikroklin	-2	-2	2
30,45	2,9328	7	albit	0	-4	1
31,34	2,8517	3	albit	1	3	1
33,93	2,6398	5	albit	-1	3	2
35,12	2,5590	1	mikroklin	1	-1	2
35,26	2,5427	2	albit	-3	-1	2
35,71	2,5118	2	mikroklin	2	-4	1
36,58	2,4542	6	kvarc	1	1	0
39,50	2,2792	3	kvarc	1	0	2
40,33	2,2344	2	kvarc	1	1	1
41,26	2,1859	1	albit	1	-5	1
42,48	2,1258	7	kvarc	2	0	0
45,51	1,9912	1	kvarc	2	0	1
45,83	1,9783	3	albit	0	6	1
47,67	1,9061	1	mikroklin	-4	0	3
48,30	1,8827	1	mikroklin	-3	5	1
49,25	1,8485	1	albit	-4	0	3
49,37	1,8442	1	albit	2	6	0
49,92	1,8251	3	albit	4	0	0
49,94	1,8244	3	albit	0	-4	3
50,05	1,8251	1	albit	-4	0	0
50,08	1,8244	1	mikroklin	1	-5	2
50,17	1,8166	7	kvarc	1	1	2
50,74	1,7977	2	albit	1	1	3
51,30	1,7794	2	albit	-2	0	4
52,85	1,7306	1	mikroklin	-4	4	1
53,30	1,7173	1	albit	1	-3	3

54,41	1,6846	1	albit*	-2	2	4
54,90	1,6709	3	kvarc	2	0	2
55,52	1,6579	1	kvarc	1	0	3
57,81	1,5935	1	albit	0	8	0
58,73	1,5707	1	albit	-5	-1	1
59,98	1,5409	5	kvarc	2	1	1
60,34	1,5325	1	albit	-4	2	4
61,48	1,5069	1	albit	-2	-8	1
61,68	1,5024	1	albit	-5	-3	3
63,27	1,4686	1	albit	2	8	0
63,75	1,4585	1	albit*	0	6	3
64,07	1,4558	1	kvarc	1	1	3

Podatci označeni s \* nisu korišteni pri računu dimenzija jedinične ćelije jer maksimumi nisu softverski prepoznati nego su ručno označeni.

#### 4.3.1. Trikliničnost

Izračun trikliničnosti prema formuli Goldschmidt & Laves (1954) bio je moguć samo kod zone Z3 koja predstavlja jezgru fenokristala, na rendgenogramima zona Z2 i Z1 nije bilo moguće isčitati potrebne međumrežne razmake jer u njima prevladava plagioklas.

$$\Delta_{Z3} = 12.5 * [3.0173 - 2.9614] = 0,69875$$

Pomoću programa UnitCell (Holland & Redfern, 1997) izračunate su dimenzije jedinične ćelije i određene su sljedeće vrijednosti za mikroklin u zonama Z3 i Z2:

Tablica 4 Parametri jedinične ćelije mikrokлина u zoni Z3 izračunati pomoću programa UnitCell

parametar	vrijednost	sigma	95% conf
a	8.58181	0.00046	0.00094
b	12.97970	0.00068	0.00139
c	7.21933	0.00051	0.00105
alpha	90.70546	0.00567	0.01164
beta	115.94795	0.00443	0.00910
gamma	87.71022	0.00460	0.00946
volumen jedinične ćelije	722.5014	0.0502	0.1032

Tablica 5 Parametri jedinične ćelije mikrokлина u zoni Z2 izračunati pomoću programa UnitCell

parametar	vrijednost	sigma	95% conf
a	8.55518	0.00103	0.00237
b	12.97448	0.00123	0.00283
c	7.20625	0.00070	0.00161
alpha	90.54472	0.01223	0.02822
beta	115.62846	0.00646	0.01492
gamma	87.65262	0.01339	0.01492
volumen jedinične ćelije	720.5573	0.0986	0.2275

Na temelju izračunatih dimenzija jedinične ćelije može se izračunati vrijednost translacije smjerom  $[1\bar{1}0]$  ( $tr[1\bar{1}0]$ ) pomoću formule Kroll & Ribbe (1983):

$$tr[1\bar{1}0] = \frac{1}{2} * (a^2 + b^2 - 2abc\cos\gamma)^{\frac{1}{2}} [\text{Å}]$$

$$tr[1\bar{1}0]_{z2} = 7,61$$

$$tr[1\bar{1}0]_{z3} = 7,63$$



## 4.4. Termobarometrijske metode

### 4.4.1. Granit

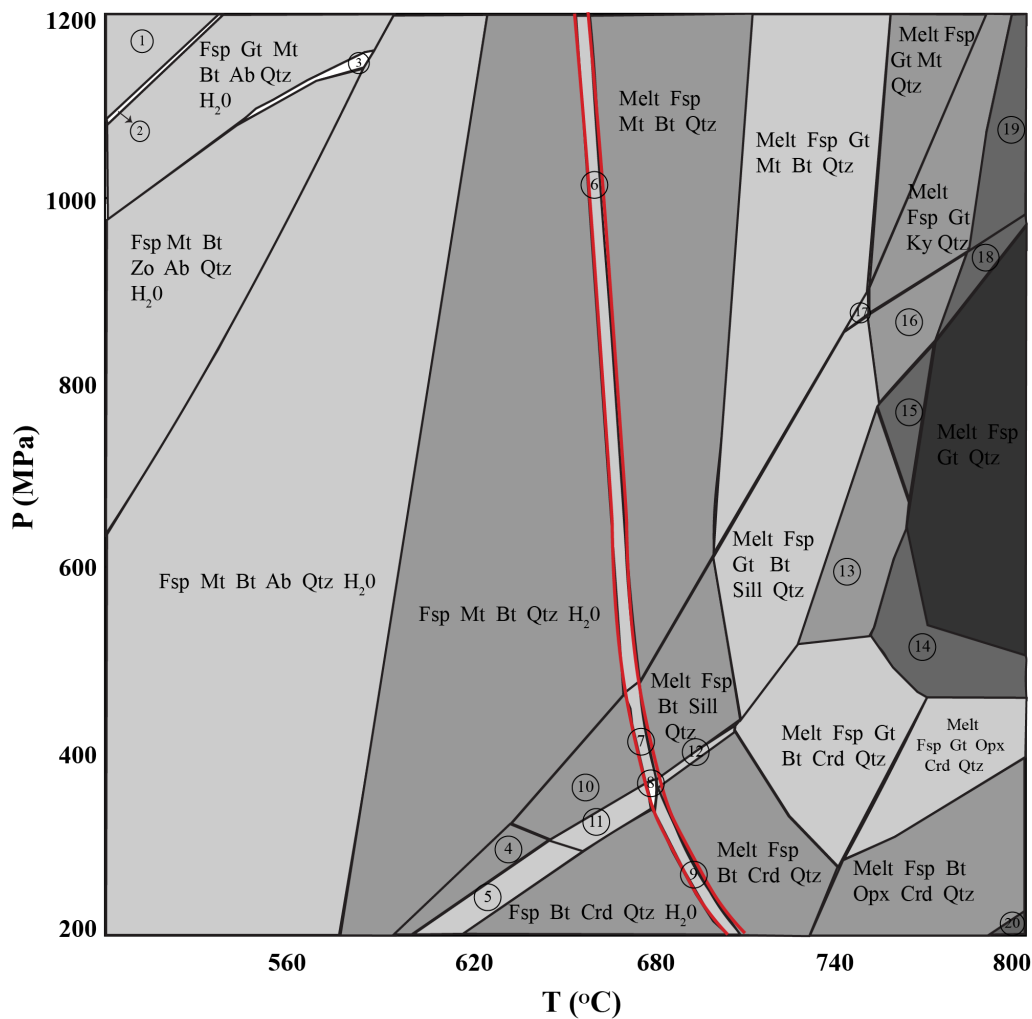
Na slici 17 prikazani su konačni produkti izračuna polja stabilnosti mineralnih asocijacija dobivenih pomoću Perple\_X-a za uzorak granita iz kamenoloma „Zebrato“. Raspon izračunatih temperatura i tlakova kreće se između 500 i 800 °C te 200 do 1200 Mpa. Slika 18 prikazuje solidus i izoplete granita. Za naše potrebe bitan je izračun položaja solidusa (označen crveno) (Slika 18). On je uspoređen s teoretskom vrijednosti tzv. solidusa mokrog granita prema Winter (2001) i s vrijednostima dobivenim u Belobrk (2015) gdje su korišteni stariji solid solution modeli. Solidus se proteže od 655°C do 700°C pri tlakovima od 200 do 1200Mpa što je dijelom prikazano u tablici 6. Rezultati pokazuju minimalna odstupanja od teoretskih, a nešto veća odstupanja od vrijednosti Belobrk (2015). U usporedbi s rezultatima od Belobrk (2015) s porastom tlaka raste i razlika u vrijednostima temperatura. Razlika pri tlaku od 200MPa je 25°C, a pri tlaku od 1000Mpa razlika 60°C.

U velikim su poljima mineralne faze ispisane kraticama. Manjim poljima u kojima nije bilo moguće ispisati kratice dodijeljeni su brojevi, a sastav pojedinih faza ispisan je iznad pseudopresjeka. Najmanja polja i njihove faze su izostavljene radi preglednosti.

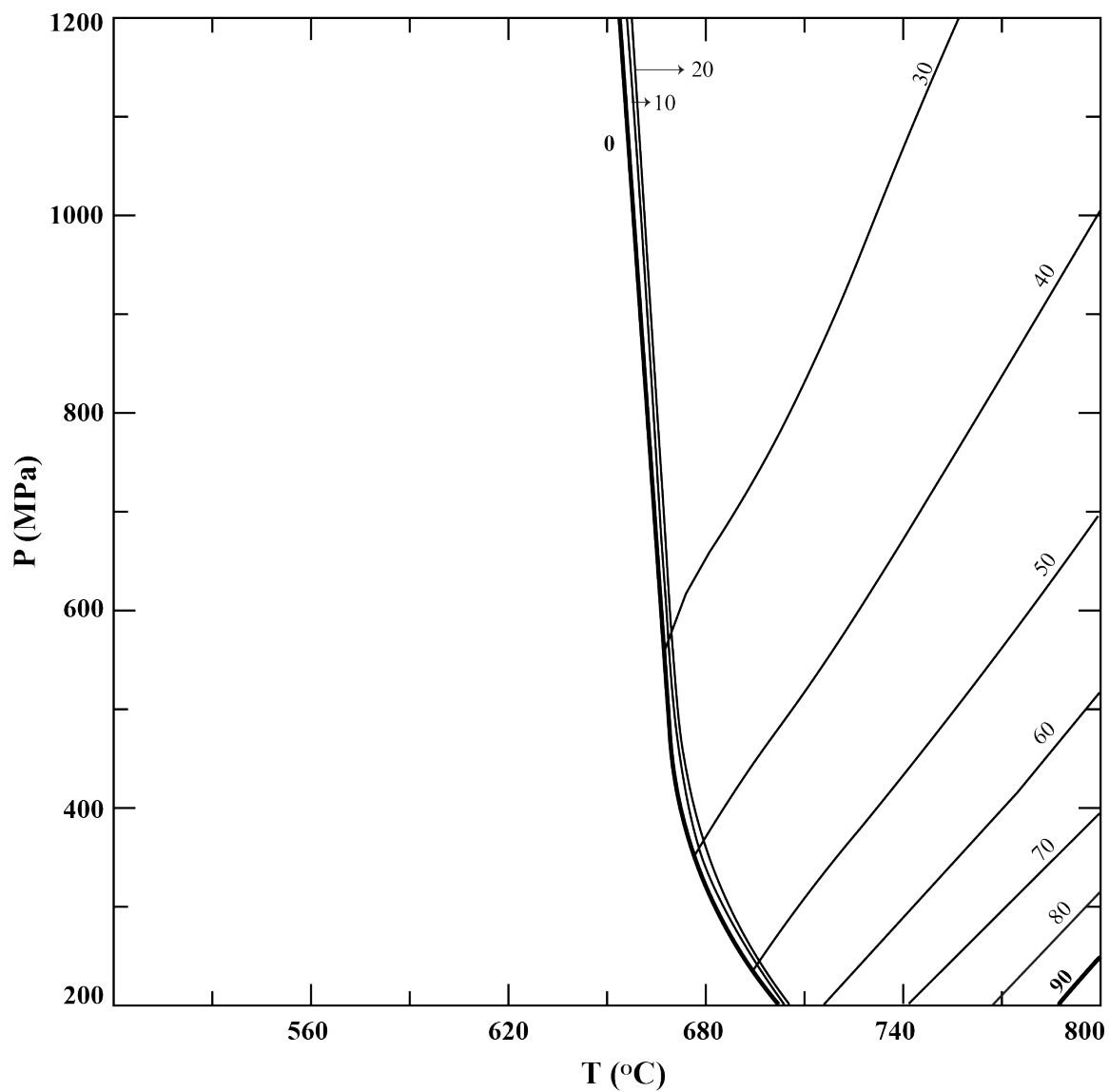
**Tablica 6 Iznosi tlakova i temperatura solidusa granita iz (Slika 18)**

Tlak (MPa)	Temperatura (°C)
200	700
600	670
1000	660

- |   |  |                         |
|---|--|-------------------------|
| ① Fsp Gt Mt Hed Ab Qtz H <sub>2</sub> O     | ⑨ Melt Fsp Bt Crd Qtz H <sub>2</sub> O | ⑰ Melt Fsp Gt Bt Ky Qtz |
| ② Fsp Gt Mt Bt Hed Ab Qtz H <sub>2</sub> O  | ⑩ Fsp Bt Sill Qtz H <sub>2</sub> O     | ⑱ Melt Fsp Gt Sill Qtz  |
| ③ Fsp Gt Mt Bt Zo Ab Qtz H <sub>2</sub> O   | ⑪ Fsp Bt Crd Sill Qtz H <sub>2</sub> O | ⑲ Melt Fsp Gt Ky Qtz    |
| ④ Fsp Bt And Qtz H <sub>2</sub> O           | ⑫ Melt Fsp Bt Crd Sill Qtz             | ⑳ Melt Fsp Opx Crd      |
| ⑤ Fsp Bt Crd And Qtz H <sub>2</sub> O       | ⑬ Melt Fsp Gt Bt Qtz                   |                         |
| ⑥ Melt Fsp Mt Bt Qtz H <sub>2</sub> O       | ⑭ Melt Fsp Gt Bt Qtz                   |                         |
| ⑦ Melt Fsp Bt Sill Qtz H <sub>2</sub> O     | ⑮ Melt Fsp Gt Qtz                      |                         |
| ⑧ Melt Fsp Bt Crd Sill Qtz H <sub>2</sub> O | ⑯ Melt Fsp Gt Sill Qtz                 |                         |



Slika 17 Prikaz izračunatog pseudopresjeka s označenim nazivima mineralnih parageneza za uzorak granita. Crvenom je bojom označen solidus.



Slika 18 Iscrtan solidus (0) za uzorak granita. Crne linije označavaju izoplete vol% taljevine

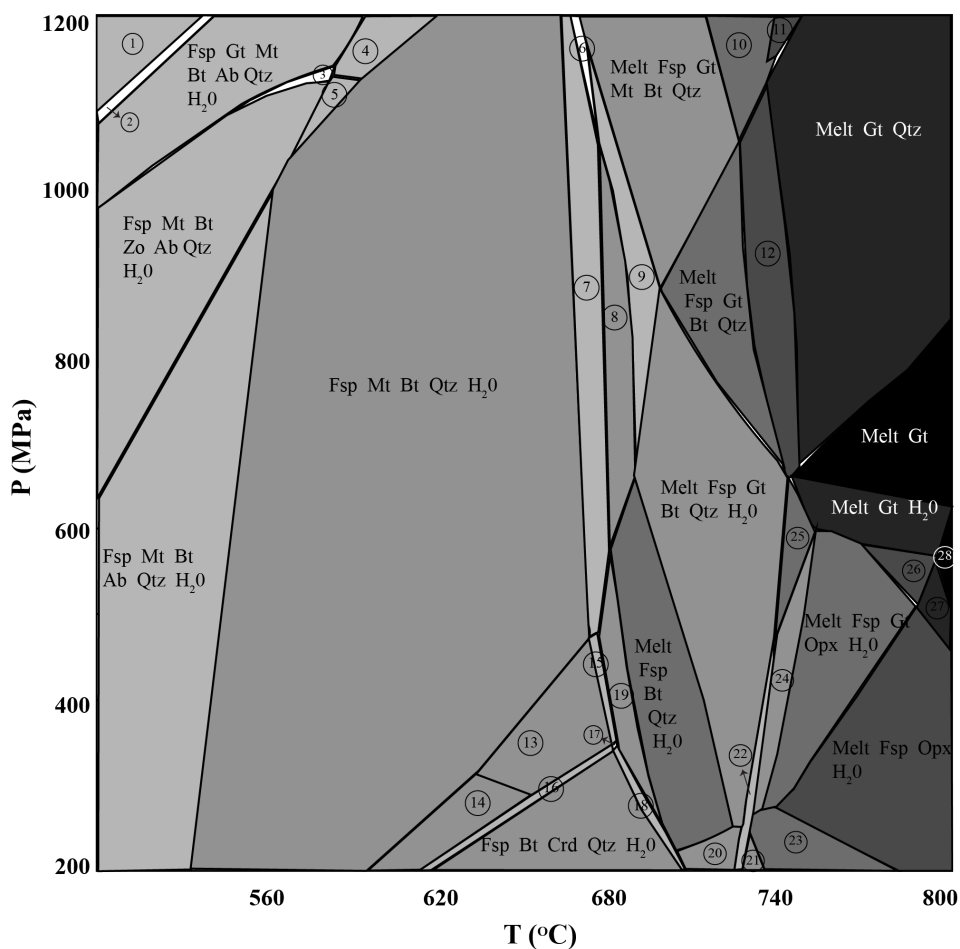
#### 4.4.2. Migmatit

Na slici 19 prikazani su konačni produkti izračuna polja stabilnosti mineralnih asocijacija dobivenih pomoću Perple\_X-a za uzorak migmatita iz kamenoloma „Zebrato“. Raspon izračunatih temperatura i tlakova kreće se između 500 i 800 °C te 200 do 1200 Mpa. Slika 20 prikazuje solidus i izoplete za migmatit. Rezultati solidusa su uspoređeni s rezultatima dobivenim u Belobrk (2015) gdje su korišteni stariji solid solution modeli. Solidus se proteže od 660°C do 705°C pri tlakovima od 200 do 1200MPa. U usporedbi s vrijednostima solidusa iz Belobrk (2015) odstupanja su primjetna. Pri tlaku od 200MPa odstupanje iznosi 25°C, a pri tlaku od 1000MPa odstupanje iznosi 55°C.

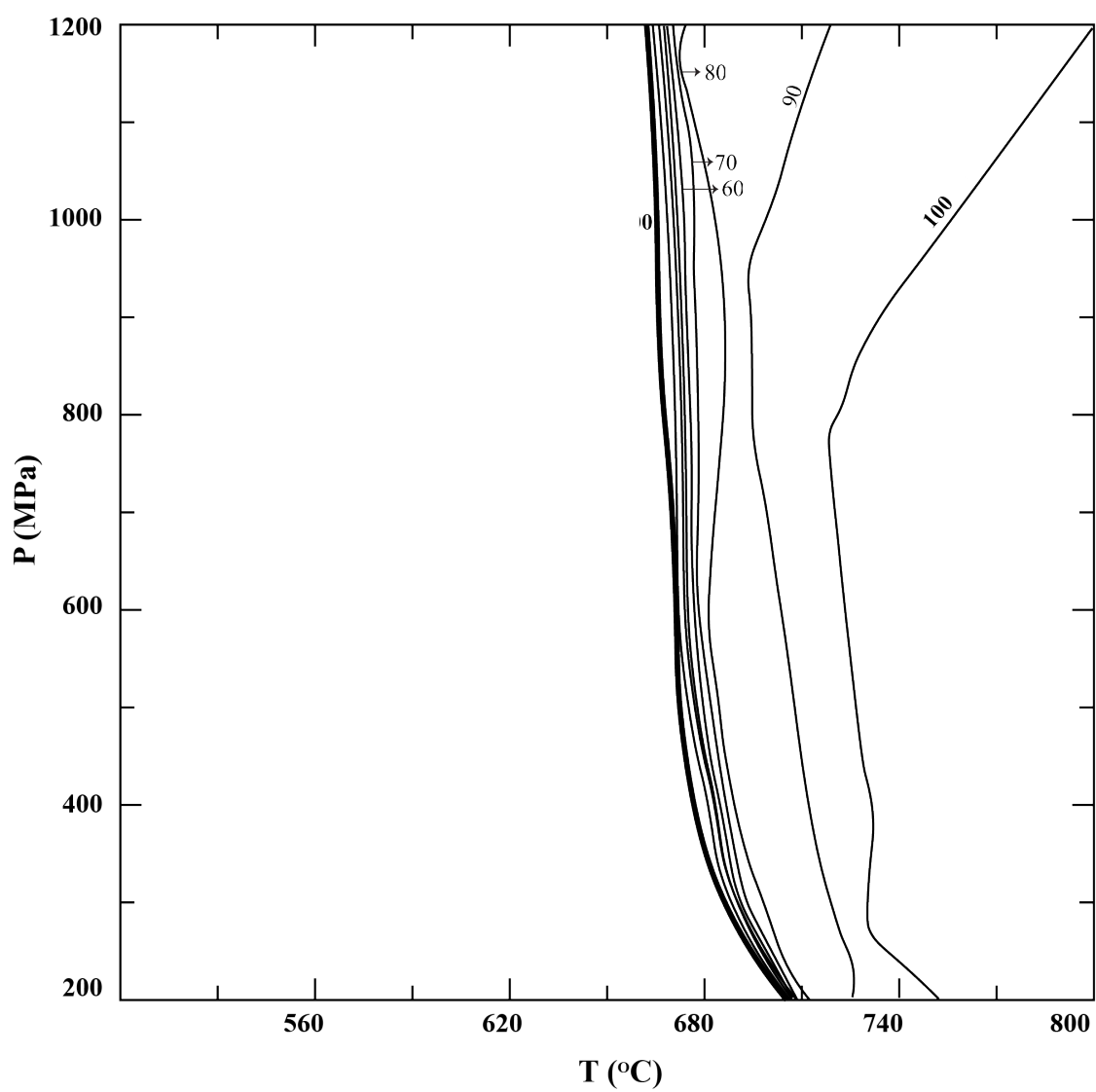
**Tablica 7 Iznosi tlakova i temperatura solidusa migmatita iz (Slika 20)**

Tlak (MPa)	Temperatura (°C)
200	705
600	675
1000	670

- |   |  |
|---|--|
| ①. Fsp Gt Mt Hed Ab Qtz H <sub>2</sub> O    | ⑮. Melt Fsp Bt Sill Qtz H <sub>2</sub> O     |
| ②. Fsp Gt Mt Bt Hed Ab Qtz H <sub>2</sub> O | ⑯. Fsp Bt Crd And Qtz H <sub>2</sub> O       |
| ③. Fsp Gt Mt Bt Zo Ab Qtz H <sub>2</sub> O  | ⑰. Melt Fsp Bt Crd Sill Qtz H <sub>2</sub> O |
| ④. Fsp Gt Mt Bt Qtz H <sub>2</sub> O        | ⑱. Melt Fsp Bt Crd Qtz H <sub>2</sub> O      |
| ⑤. Fsp Mt Bt Zo Qtz H <sub>2</sub> O        | ⑲. Melt Fsp Bt Qtz H <sub>2</sub> O          |
| ⑥. Melt Fsp Gt Mt Bt Qtz H <sub>2</sub> O   | ⑳. Melt Fsp Bt Crd Qtz H <sub>2</sub> O      |
| ⑦. Melt Fsp Bt Qtz H <sub>2</sub> O         | ㉑. Melt Fsp Opx Crd Qtz H <sub>2</sub> O     |
| ⑧. Melt Fsp Mt Bt Qtz H <sub>2</sub> O      | ㉒. Melt Fsp Gt Opx Bt Qtz H <sub>2</sub> O   |
| ⑨. Melt Fsp Gt Mt Bt Qtz H <sub>2</sub> O   | ㉓. Melt Fsp Opx Crd H <sub>2</sub> O         |
| ⑩. Melt Mt Gt Bt Qtz                        | ㉔. Melt Fsp Gt Opx Bt H <sub>2</sub> O       |
| ⑪. Melt Mt Gt Qtz                           | ㉕. Melt Fsp Gt Bt H <sub>2</sub> O           |
| ⑫. Melt Gt Bt Qtz                           | ㉖. Melt Gt Opx H <sub>2</sub> O              |
| ⑬. Fsp Bt Sill Qtz H <sub>2</sub> O         | ㉗. Melt Opx H <sub>2</sub> O                 |
| ⑭. Fsp Bt And Qtz H <sub>2</sub> O          | ㉘. Melt H <sub>2</sub> O                     |



Slika 19 Prikaz izračunatog pseudopresjeka s označenim nazivima mineralnih parageneza za uzorak migmatita



Slika 20 Iscrtan solidus (0) za uzorak migmatita. Crne linije označavaju izoplete vol% taljevine

## 5. Rasprava

U kamenolomu „Zebrato“ pojavljuju se dva varijeteta granitoidnih stijena. Te su stijene u izravnom kontaktu, međutim izrazito su različitih svojstava, strukture i teksture. Uzimajući u obzir da su stijene naoko vrlo različite moglo bi se zaključiti kako su nastale u različitim geodinamskim uvjetima i u različitom vremenskom periodu. Pošto je migmatit izrazito izmijenjen moguće je da je došlo do probijanja granitnog tijela nakon nastanka stijene koja je bila protolit današnjem migmatitu. Uslijed probijanja granitnog tijela moglo je doći do metamorfoze protolitne stijene što bi kao posljedicu moglo imati slojevito izdvajanje melanosoma i leukosoma. Mikrofiziografskom analizom, obradom podataka u softveru Perple\_X i XRD analizom pokušalo se dati jasnije odgovore na pitanja o postanku stijena ovoga lokaliteta i njihovoj povezanosti.

Na temelju mikrofiziografskih svojstava uzoraka dvaju stijena iz kamenoloma „Zebrato“ određen je mineralni sastav i zaključeno je da se radi o granitu i migmatitu. Mineralni sastav stijena je sličan, ali je na prvu, zbog velikih razlika u strukturi, teže doći do te spoznaje. Prema Jamičić et al. (1987) uzorak migmatita iz kamenoloma „Zebrato“ pripadao bi homogenim migmatitskim gnajsevima. U radu Jamičić et al. (1989) homogene migmatitske gnajseve opisuju kao mikroklinske porfiroblastične gnajseve, paralelne teksture i okcaste strukture što vrijedi i za uzorak migmatita koji je proučavan u radu. Nadalje, migmatite opisuju kao stijene čija je struktura uvjetovana subparalelnim redanjem leća i lamina kvarc-feldspatskog materijala s porfiroblastima mikrokлина oko kojih se povijaju tanke nakupine biotita što se gotovo u potpunosti podudara s mikrofiziografskim opisom uzorka migmatita iz kamenoloma „Zebrato“. Opis granita iz navedenog rada se također podudara s opisom granita iz ovog rada. Pamić & Lanphere (1991) u navode da migmatiti i S-graniti sačinjavaju jedinstvenu geološko-petrološku cjelinu gdje leukosomski odnosno neosomski materijal migmatita, bez obzira o kojem se strukturno-teksturnom varijetetu radi, predstavlja u stvari S-granite što je i mikrofiziografskom analizom u ovome radu potvrđeno. U kamenolomu su graniti i migmatiti u direktnom kontaktu što je situacija kakvu su u prijašnjima radovima navodili Jamičić et al. (1989) koji opisuju položaj granita unutar migmatita kao manje ili veće mase, leće ili žile koje su konkordantno uložene. Sam kamenolom „Zebrato“ bio je tema istraživanja rada Jovičića et al. (1992) koji navode da su stijene koje se tamo nalaze, porfiroblastični graniti i biotit-muskovitski gnajsevi, u

direktnom kontaktu s sitnozrnatim granitima. Također navode i da se porfiroblasti kalijskih feldspata veličine od 0,5 do 3 centimetara te duboko prodiru među ostale minerale.

Te spoznaje navele su nas na analizu zona rasta fenokristala rendgenskom difrakcijom te obradu podataka u software-u Perple\_X. Obradom podataka dobivenih kemijskom analizom u diplomskom radu Belobrk (2015) dobiveni su pseudopresjeci i vrijednosti solidusa za uzorke migmatita i granita prema novim solid solution modelima. Usporedbom dobivenih vrijednosti s Belobrk (2015) utvrđena je razlika u položajima solidusa koja se povećava s porastom tlaka. Položaji solidusa za oba su uzorka gotovo identični i nalaze se na oko 680°C što ukazuje da nije došlo do probijanja granitnog tijela, odnosno stijena ispitivana u ovom razredu pripada takozvanim „mokrim“ granitima što je potvrđeno i usporedbom solidusa s teoretskom vrijednosti iz Winter (2001). Dakle, postanak migmatita nije vezan uz probijanje granitnog tijela u migmatitski protolit već su i graniti i migmatiti s lokacije nastali iz istog protolita i genetski su povezani, a prema prijašnjim su istraživanjima nastali tijekom variscijske orogeneze.

Primijećen je zonalan rast fenokristala kalijskog feldspata i te su zone označene oznakama Z3, Z2 i Z1 od jezgre prema vanjskom rubu kristala. U ovom se radu pokušalo XRD analizom zona fenokristala kalijskog feldspata utvrditi vrijednosti trikliničnosti, odnosno uređenosti kristalne strukture mikroklina, kako bi se dobio uvid u moguće promjene tijekom rasta samog kristala, tj. postanka stijene. Jedan od najbitnijih faktora koji utječu na trikliničnost kalijskih feldspata je brzina hlađenja, a uvid u promjenu brzine hlađenja dati će nam pravu vrijednosti trikliničnosti i parametri jedinične ćelije, odnosno uređenost kristalne strukture. U jezgri fenokristala označenoj kao Z3 udio mikroklina je najveći što je omogućilo izračun trikliničnosti i usporedbu vrijednosti s onima iz prijašnjih radova. Vrijednost od 0,69 ukazuje na srednje uređenu triklinsku kristalnu strukturu mikroklina iz jezgre fenokristala što se može usporediti s vrijednostima monzogranita s područja Pakre istraživanih u radu Horvat et al. (2011). U srednjoj i vanjskoj zoni rasta kristala koje su označene s Z2 i Z1 nije bilo moguće odrediti vrijednosti trikliničnosti zbog prevelikog udjela plagioklasa u zonama što za posljedicu ima preveliku interferenciju, prekrivanje pikova 131 i  $\bar{1}\bar{3}1$  mikroklina na rendgenogramima koji su potrebni za sam izračun. Stoga su se na temelju rendgenograma izračunate dimenzije jedinične ćelije kako bi iz njih korištenjem odgovarajućih dijagrama odredili zaposjednutost strukturnih položaja



s aluminijem, kako bi se saznalo do kakve je točno promjene došlo. Na temelju tablica 1,2 i 3 određeno je o kojim se mineralima radi. Nadalje, iz tablica je vidljivo kako s rastom fenokristala pada udio mikrokлина dok raste udio plagioklasa u zonama. Dakle, došlo je do promjene u geodinamskom okolišu. Pomoću parametara jedinične ćelije i  $tr[1\bar{1}0]$  pokušalo se odrediti kakve su se promjene u sustavu događale tijekom rasta fenokristala. Razlika u  $tr[1\bar{1}0]$  vrijednostima između mikrokлина iz jezgre fenokristala, odnosno zone Z3 i mikrokлина iz zone Z2 je relativno malena. Usporedbom podataka s onima iz rada Horvat et al. (2011) gdje su za usporedbu mikrokлина uz trikliničnost korištene i vrijednosti volumena jedinične ćelije (cell vol) i translacije u smjeru  $1\bar{1}0$  ( $tr[1\bar{1}0]$ ) može se zaključiti da je mikroklin iz zone Z2 nešto uređeniji od mikrokлина iz jezgre što ukazuje na sporije hlađenje sustava. Potrebno je naglasiti da se zbog manje koncentracije mikrokлина u zoni Z2 prilikom računa dimenzija jedinične ćelije koristilo manje maksimuma pa su podatci manje pouzdani. Nadalje, moguće je usporediti dobivene parametre jedinične ćelije s teoretskim parametrima iz literature. Usporedbom parametara jedinične ćelije zona Z2 i Z3 s onima iz literature dolazi se do istoga zaključka. Razlike u uređenosti strukture u ovim zonama su minimalne, međutim zona Z2 je nešto uređenija što je još jedan dokaz da se sustav hladio tijekom rasta fenokristala.

## 6. Zaključak

Na temelju makroskopskih značajki i mikrofiziografskih svojstava, stijene iz kamenoloma „Zebrato“ pripadaju granitima i migmatitima.

Obradom podataka u software-u Perple\_X dobiveni su pseudopresjeci i iznosi solidusa koji s obzirom na veliku sličnost kod granita i migmatita ukazuju da su stijene nastale iz istog protolita i genetski su povezane. Solidus se nalazi na otprilike 680°C.

Rendgenskom difrakcijom zona fenokristala feldspata iz uzorka migmatita zaključeno je da se jezgra kristala sastoji od mikrokлина sa srednje do visoko uređenom rešetkom s vrijednošću trikliničnosti od 0,69. Parametri jedinične ćelije dobiveni pomoću softvera UnitCell ukazuju da se rastom kristala geodinamski uvjeti u sustavu se mijenjaju. Sustav se sve sporije hladi što za posljedicu ima rast uređenosti u strukturi mikrokлина, a na kraju se sastav mijenja u korist plagioklasa.

## 7. Literatura

**Balen, D. & Horváth, P. (2003):** The geothermobarometry of Variscan medium-grade metamorphic rocks from the Kutjevačka Rijeka (Slavonian Mts., Croatia). *Journal of the Czech Geological Society* 48/1-2, 17–18.

**Balen, D., Horváth, P., Tomljenović, B., Finger, F., Humer, B., Pamić, J. & Árkai, P. (2006):** A record of pre-Variscan Barrovian regional metamorphism in the eastern part of the Slavonian Mountains (NE Croatia). *Mineralogy and Petrology* 87, 143–162.

**Balen, D. & Massonne, H.-J. (2020):** Variscan monazite ages and peak metamorphic P-T conditions recorded in gneiss/migmatite from the Pannonian Basin Basement (Mt. Papuk, Croatia), EGU 2020-2621

**Balen, D., Massonne, H.-J., Petrinc, Z. (2015):** Collision-related Early Paleozoic evolution of a crustal fragment from the northern Gondwana margin (Slavonian Mountains, Tisia Mega-Unit, Croatia): Reconstruction of the P-T path, timing and paleotectonic implications, *Lithos*

**Balen, D., Massonne, H.-J., Lihter, I. (2018):** Alpine metamorphism of low-grade schists from the Slavonian Mountains (Croatia): new P-T and geochronological constraints, *International Geology Review*, 60, 3, 288-304.

**Balen, D., Schneider, P., Massonne, H.-J., Opitz, J., Luptáková, J., Putiš, M., Petrinc, 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, 4, 361–381.

**Belobrk, P. (2015):** Petrogeneza migmatita i granita zapadnog Papuka, *Diplomski rad*, Zagreb, 73

**Connolly, J.A.D. & Kerrick, D.M. (1987):** An algorithm and computer program for calculating composition phase diagrams. *Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry Computers and Geosciences*, 11/1, 1–55.

**Degen, T., Sadki, M., Bron, E., König, U. i Nénert, G. (2014):** The HighScore suite. *Powder Diffraction*, 29(S2), str.S13-S18.

**Godinho, M.M. & Jaleco, J.M.P. (1973):** Feldspatos potássicos dos granitóides da região de Castro Daire (Viseu, Portugal). I. Estado estrutural.– Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra, 76, 44–71.

**Goldschmidt, J.R. & Laves, F. (1954):** The microcline-sanidine stability relations.– *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 5, 1–19.

**Holland, T.J.B & Redfern S.A.T (1997):** "Unit cell refinement from powder diffraction data: the use of regression diagnostics". *Mineralogical Magazine* 61, 65-77

**Horvat, M., Tibljaš, D., Buda, G., Lovas, G. (2011):** X-ray study of potassium feldspars from different granitoid types and gneisses of Papuk Mt. (Slavonia, Croatia). *Geologia Croatica* 64/2, 153-162.

**Horvat, M., Klötzli, U., Jamičić, D., Buda, G., Klötzli, E., Hauzenberger, C. (2018):** Geochronology of granitoids from Psunj and Papuk mts., Croatia, *Geochronimetria* 45, 198-210

**Horváth, P., Balen, D., Finger, F., Tomljenović, B., Krenn, E. (2010):** Contrasting P–T–t paths from the basement of the Tisia Unit (Slavonian Mts., NE Croatia): Application of quantitative phase diagrams and monazite age dating, *Lithos* 117, 269-282.

**Jamičić, D. (1983):** Strukturni sklop metamorfnih stijena Krndije i južnih padina Papuka. *Geološki vjesnik* 36, 51–72.

**Jamičić, D. (1988):** Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Daruvar, L33-95. Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

**Jamičić, D. & Brkić, J., Crnko, J. & Vragović, M. (1987):** Tumač za list Orahovica L 33 – 96. Savezni geološki zavod, Beograd.

**Jamičić, D. Vragović, M. & Matičec, D. (1989):** Tumač za list Daruvar L 33 – 95. Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

**Jovičić, D. Oreški, E. Kraljeta, B. (1992):** Ležište arhitektonskog kamena granita „Zebrato“ (Ravna Gora – Papuk, Hrvatska). *Rudarsko-geološko-naftni zbornik* 4, 127-138.

**Kovács Kis, V., Horvat, M., Dódonny, I. (2004):** Microstructures in two Alkali Feldspar Megacrysts from the Papuk Mt., Croatia. *Geologia Croatica* 57/2, 149–158, Zagreb.

**Kroll, H. & Ribbe, P.H. (1983):** Lattice parameters, composition and Al, Si order in alkali feldspars.– In: Ribbe, P.H. (ed.): Feldspar Mineralogy, 2nd ed. Rev. Mineral. 2, 57–99.

**Marci, V. (1968):** Utvrđivanje porijekla anklava i gnajsa s Papuka na osnovu sadržaja mikroelemenata. Geološki vjesnik 21, 273-280, Zagreb.

**Pamić, J. (1999):** Kristalina podloga južnih dijelova Panonskog bazena- temeljena na površinskim i bušotinskim podacima. Nafta 50 (9), 291-310.

**Pamić, J. & Lanphere, M. (1991):** Hercinske granitne i metamorfne stijene Papuka, Pšunja, Krndije i okolne podloge Panonskog bazena u Slavoniji (sjeverna Hrvatska, Jugoslavija). Geologija 34, 81–224.

**Pamić, J., Lanphere, M. & McKee, E. (1988):** Radiometric ages of metamorphic and associated igneous rocks of the Slavonian Mountains in the southern part of the Pannonian basin, Yugoslavia. Acta Geologica 18, 13–39.

**Raffaelli, P. (1965a):** Diorit s kvarcom i kumingtonitom iz Ravne gore u Papuku. Acta geologica 4, 323-326.

**Raffaelli, P. (1965b):** Metamorfizam paleozojskih pelitskih škriljavaca u području Ravne gore (Papučko gorje, Slavonija). Geološki vjesnik 18, 61–118.

**Schmid, S.M., Fügenschuh, B., Kounov, A., Matenco, L., Nievergelt, P., Oberhänsli, R., Pleuger, J., Schefer S., Schuster R., Tomljenović B., Ustaszewski K. & van Hinsbergen D.J.J. (2008):** Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and western Turkey, Gondwana Res. 78, 308–374.

**Slovenec, D., Belak, M., Mišur, I., Šegvić, B., Schuster, R. (2020):** The early Paleozoic cumulate gabbroic rocks from the southwest part of the Tisza Mega-Unit (Mt. Papuk, NE Croatia): evidence of a Gondwana suture zone, International Journal of Earth Sciences

**Tajder, M. (1957):** Petrografsko istraživanje zapadnog dijela Papuka (Petrographic investigation of the western part of the Papuk Mt.–in Croatian). Ljetopis JAZU 62, 316-323.

**Vragović, M. (1965a):** Prilog poznavanju petrografskog sastava granitoidnih terena Papuka. Acta geologica 34, 327-332.

**Vragović, M. (1965b):** Graniti i gnajsi papuka. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 232 str.

**Winter, J.D. (2001):** An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall. 687 str.

<http://www.papukgeopark.com/> (14.06.2021.)

[https://hr.wikipedia.org/wiki/Braggov\\_zakon](https://hr.wikipedia.org/wiki/Braggov_zakon) (14.06.2021.)

<https://www.mindat.org/min-2704.html> (14.06.2021.)

## 8. Popis slika u tekstu

Slika 1 Digitalni ortofoto „Slavonskih planina“ (preuzeto s <a href="https://geoportal.dgu.hr/">https://geoportal.dgu.hr/</a> ) sa istaknutim širim područjem istraživanja.....	1
Slika 2 Isječak geološke karte (Jamičić, 1988) s označenim lokalitetom.....	9
Slika 3 Tektonske jedinice prema Schmidt et al. (2008). Crveno su uokvirene Slavonske planine. ....	10
Slika 4 Zone fenokristala feldspata Z1, Z2 i Z3 .....	12
Slika 5 Braggov zakon i formula: $\lambda$ – valna duljina zračenja, $d$ – međumrežni razmak, $n$ – cijeli broj i $\theta$ - kut difrakcije. ( <a href="https://hr.wikipedia.org/wiki/Braggov_zakon">https://hr.wikipedia.org/wiki/Braggov_zakon</a> ).....	14
Slika 6 Makroskopski prikaz stijene iz kamenoloma „Zebrato“ na kojoj se jasno vidi homogena tekstura.....	17
Slika 7 Makroskopski prikaz migmatita iz kamenoloma „Zebrato“ .....	18
Slika 8 Fotomikrografije uzorka G1, N- (lijevo), N+ (desno). Bt- biotit, q- kvarc, fsp- feldspat. Izrazito sericitizirano zrno zaokruženo je crveno. ....	19
Slika 9 Fotomikrografije uzorka G2, N- (lijevo), N+ (desno), fsp- feldspat, q- kvarc... ..	20
Slika 10 Fotomikrografije uzorka M3, N- (lijevo), N+ (desno), fsp- feldspat, q- kvarc, ms- muskovit. Crveno su zaokružena nasumično orijentirana zrna muskovita u velikom zrnu mikroklina. ....	20
Slika 11 Fotomikrografije uzorka M4, N- (lijevo), N+ (desno), fsp- feldspat, q- kvarc, bt- biotit, ms- muskovit. ....	21
Slika 12 Označene zone fenokristala.....	22
Slika 13 Rendgenogram praha zone Z1 iz feldspata u uzorku M3 .....	23
Slika 14 Rendgenogram praha zone Z2 iz feldspata u uzorku M3 .....	23
Slika 15 Rendgenogram praha zone Z3 iz feldspata u uzorku M3 .....	24
Slika 16 Usporedba rendgenograma Z1, Z2 i Z3 u dijelu bitnom za izračun trikliničnosti .....	24

Slika 17 Prikaz izračunatog pseudopresjeka s označenim nazivima mineralnih parageneza za uzorak granita. Crvenom je bojom označen solidus. ....	33
Slika 18 Iscrtan solidus (0) za uzorak granita. Crne linije označavaju izoplete vol% taljevine .....	34
Slika 19 Prikaz izračunatog pseudopresjeka s označenim nazivima mineralnih parageneza za uzorak migmatita.....	36
Slika 20 Iscrtan solidus (0) za uzorak migmatita. Crne linije označavaju izoplete vol% taljevine .....	37



## 9. Popis tablica u tekstu

Tablica 1 Rendgenografski podaci za zonu Z3 iz fenokristala feldspata (Slika12), narančasto su označene vrijednosti bitne za izračun trikliničnosti. \* su označeni maksimumi koji nisu korišteni pri računu dimenzija jedinične ćelije..... 25

Tablica 2 Rendgenografski podaci za zonu Z2 iz fenokristala feldspata (Slika12). \* su označeni maksimumi koji nisu korišteni pri računu dimenzija jedinične ćelije..... 27

Tablica 3 Rendgenografski podaci za zonu Z1 iz fenokristala feldspata (Slika12)..... 29

Tablica 4 Parametri jedinične ćelije mikrokлина u zoni Z3 izračunati pomoću programa UnitCell ..... 31

Tablica 5 Parametri jedinične ćelije mikrokлина u zoni Z2 izračunati pomoću programa UnitCell ..... 31

Tablica 6 Iznosi tlakova i temperatura solidusa granita iz (Slika 18)..... 32

Tablica 7 Iznosi tlakova i temperatura solidusa migmatita iz (Slika 20)..... 35



