

Petrogeneza migmatita i granita zapadnog Papuka

Belobrk, Petra

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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:217:425154>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

PETRA BELOBRK
PETROGENEZA MIGMATITA I GRANITA ZAPADNOG PAPUKA

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

Zagreb, 2015.

Ovaj je diplomski rad izrađen u akademskoj godini 2013./2014., pod mentorstvom prof. dr. sc. Dražena Balena uz neposrednu voditeljicu dr. sc. Zorice Petrinec, u sklopu Diplomskog studija geologije na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

SADRŽAJ

I TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA.....	4
II BASIC DOCUMENTATION CARD.....	5
III POPIS KORIŠTENIH KRATICA	6
1. UVOD.....	8
1.1. GEOGRAFSKI SMJEŠTAJ.....	9
1.2. GEOLOGIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA I POVIJESNI RAZVOJ IDEJA O GENEZI.....	12
1.2.1. PODJELA PODLOGE PANONSKOG BAZENA NA BLOKOVE	12
1.2.2. PODJELA KRISTALINIH STIJENA PAPUKA	12
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	16
3. MATERIJALI I METODE.....	20
3.1. LABORATORIJSKA PRIPREMA UZORAKA	20
3.2. KEMIJSKA ANALIZA STIJENA.....	22
3.3. ANALIZA ELEKTRONSKOM MIKROPROBOM	23
3.4. TERMOBAROMETRIJSKE METODE.....	24
3.4.1. Perple_X.....	25
4. REZULTATI.....	29
4.1. MAKROSKOPSKI OPIS STIJENA	29
4.2. MIKROFIZIOGRAFSKI OPIS STIJENA	33
4.2.1. JANKOVAC	33
4.2.2. ČARUGIN KAMEN.....	34
4.2.3. ZVEČEVO.....	36
4.2.4. KOTURIĆ G.....	39
4.2.5. KOTURIĆ M.....	41
4.3. GEOKEMIJA STIJENA	43
4.4. GEOTERMOBAROMETRIJA.....	49
4.4.1. KOTURIĆ G.....	49
4.4.2. KOTURIĆ M.....	55
5. RASPRAVA.....	60
6. ZAKLJUČAK.....	69
7. LITERATURA.....	70

I TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Geološki odsjek

Diplomski rad

PETROGENEZA MIGMATITA I GRANITA ZAPADNOG PAPUKA

PETRA BELOBRK

Rad je izrađen: Mineraloško-petrografski zavod, Horvatovac 95

Sažetak: Istraživano područje obuhvaća lokalitete Koturić, Jankovac, Zvečevo i Čarugin kamen, a pripadaju Papučkom metamorfnom kompleksu u zapadnom Papuku i Ravnoj gori. Uzorci predstavljaju granite, migmatite i gnajseve. Na temelju mikrofiziografije stijena, cjelostjenske geokemije, mineralne kemije i geotermobarometrije dobivene su informacije o p - T uvjetima postanka stijena (granit pri 3 kbar i 651°C te migmatit pri 5 kbar i 634°C), okolišu nastanka, geotektonskoj pripadnosti (VAG- graniti vulkanskog luka) i p - T putu koji se odvijao za vrijeme geneze stijena ("clockwise"). Također je potvrđena genetska veza s uzorcima obrađenim u literaturi.

Ključne riječi: geotermobarometrija, graniti, Koturić, migmatiti, Papuk

Rad sadrži: 73 stranice, 53 slike, 12 tabela, 41 literaturni navod

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u: središnjoj geološkoj knjižnici, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb, Hrvatska.

Mentor: Dražen Balen, prof.dr.sc.

Ocjenjivači: Dražen Balen, prof.dr.sc.

Darko Tibljaš, prof.dr.sc.

Blanka Cvetko Tešović, izv. prof. dr. sc.

Datum diplomskog ispita: 09.03.2015.

II BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Master of Geology Thesis

PETROGENESIS OF MIGMATITES AND GRANITES OF THE WESTERN PAPUK

PETRA BELOBRK

Abstract: The examined area consist of localities of Koturić, Jankovac, Zvečevo and Čarugin kamen, all of which belong to the Papuk's metamorphic complex, located in western Mts. Papuk and Ravna gora. Samples consist of granites, migmatites and gneisses. Based on thin section microscopy, whole-rock geochemistry, mineral chemistry and geothermobarometry, information on p - T conditions during the formation of rocks (granite at 3 kbar and 651°C, and migmatite at 5 kbar and 634 °C), enviroment in which rocks were formed, geotectonical background (VAG – volcanic arc granites) and the p - T path that took place during the formation of said rocks (clockwise). Furthermore, genetic link was confirmed with samples previously analysed in literature.

Key words: geothermobarometry, granites, Koturić, migmatites, Papuk

Thesis contains: 73 pages, 53 figures, 12 tables, 41 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, prof.dr.sc.

Reviewers: Dražen Balen, prof.dr.sc.

Darko Tibljaš, prof.dr.sc.

Blanka Cvetko Tešović, izv. prof. dr. sc.

Date of the final exam: 9th March 2015.

III POPIS KORIŠTENIH KRATICA

Ab - albit

An - anortit

Ap - apatit

Apfu - "atoms per formula unit"

Bt - biotit

cAm - klinoamfibol

C - korund

Crd - kordijerit

Fsp - feldspat

GCDkit - Geochemical Data Tool kit

Gt - granat

HREE - heavy rare earth elements ("teški elementi rijetkih zemalja")

Hy - hipersten

Hm - hematit

ICP-AES - inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (induktivno spregnuta plazma- atomska emisijska spektroskopija)

ICP-MS - inductively coupled plasma-mass spectrometry (induktivno spregnuta plazma-masena spektrometrija)

Il - ilmenit

K-Ar - kalij-argon metoda određivanja starosti

Ky - kijanit

LREE - light rare earth elements (laki elementi rijetkih zemalja)

Ma - milijun godina (10^6 godina)

Mt - magnetit

N+ - uključeni analizator

N- - isključeni analizator

Om - omfacit

Opx - ortopiroksen

Or - ortoklas

Ph - fengit

ppb - parts per billion (Pojedini dijelovi u odnosu na milijardu)

ppm - parts per million (Pojedini dijelovi u odnosu na milijun)

Q - kvarc

Rb-Sr - rubidij-stroncij metoda određivanja starosti

REE - rare earth elements (elementi rijetkih zemalja)

Ru - rutil

Sill - sillimanit

Sph - sfen (titanit)

UCC - Upper Continental Crust (gornja kontinentska kora)

Vol % - volumni postotak

Wt % - težinski postotak

1. UVOD

Pojam „Slavonske planine“ obuhvaća Papuk, Krndiju, Požešku goru, Dilj goru, Psunj te Ravnu goru. Papuk, Krndija i Psunj najstarije su planine Slavonije. Dok se na jednoj strani nalaze blago zaravnjeni oblici ispresijecani malim tokovima strmih strana, na drugoj strani se izdižu obronci strmih i teško pristupačnih planinskih masiva. U sklopu slavonskih planina Papuk je najprostranija planina i zajedno s Ravnom gorom i Krndijom oblikuje jedinstvenu reljefno-pejsažnu cjelinu približnog pružanja zapad - istok. Kao markantne točke glavnog grebena ističu se vrhovi Točak (887 m), Papuk (953 m), Ivačka glava (913 m), Češljakovački vis (820m) i Kapavac (792 m), koji ima funkciju vododijelnice sljevova rijeke Drave (sjever) i Save (jug). Masiv papučko-krndijskog gorja hidrološki je vrlo bogat: preko stotinu potoka i rijeka (Brzaja, Stražemanka, Veličanka, Dubočanka, Vetovka i Kutjevačka rijeka, Voćinska rijeka, Vojlovica, Kovačica, Pištanska i Radlovačka rijeka i dr.) koji se spuštaju padinama planine i čine važan prirodni segment mnogih ekosustava (<http://www.papukgeopark.com/>).

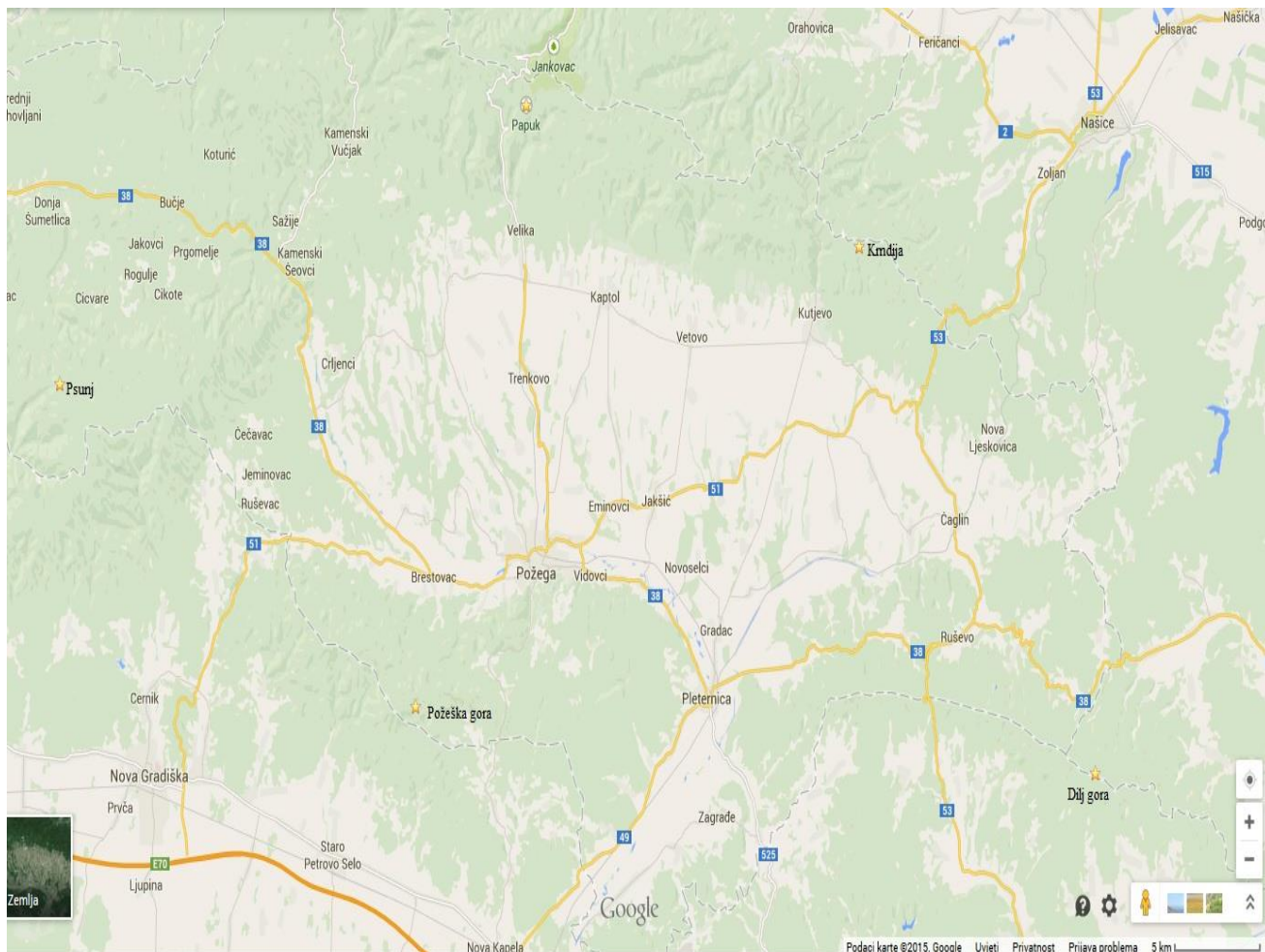
Dio istraživanog područja pripada parku prirode Papuk. Park prirode Papuk jedan je od najmlađih parkova prirode u Hrvatskoj, a zbog svojih prirodnih i kulturno-povijesnih osobitosti proglašen je zaštićenim područjem 23. travnja 1999. godine. S površinom od 33 600 ha treći je po veličini park prirode u Hrvatskoj, a obuhvaća gotovo cijelo papučko i dijelom krndijsko područje Požeško-slavonske i Virovitičko-podravске županije. Unutar Parka nalaze se tri područja više zaštite, a to su: specijalni rezervat šumske vegetacije Sekulinačke planine (prašuma bukve i jele, oaza netaknute prirode), Park-šuma Jankovac (gorska dolina okružena stoljetnom šumom bukve s krškim fenomenom Jankovačkog slapa) i geološki spomenik prirode Rupnica (stupasto lučenje albitnog riolita, jedinstvena pojava u Hrvatskoj).

Na uzorcima koje je ranije prikupio prof. dr. sc. D. Balen, optičkim istraživanjima, geokemijskom analizom stijena i minerala te termobarometrijskom metodom u ovom radu odrediti će se mikrofiziografske i mikrostrukturne značajke stijena koje će se kombinirati s geokemijskim i termobarometrijskim podacima dobivenim na uzorcima migmatita i granita. Sintezom svih podataka dat će se model nastanka tih stijena u istraživanom području.

1.1. GEOGRAFSKI SMJEŠTAJ

Istraživano područje obuhvaća migmatite i granite zapadnog dijela Papuka. Planina Papuk nalazi se u sklopu Slavonskih planina (slika 1) te je smještena u istočnoj Hrvatskoj. Područje je bogato šumom, vodenim tokovima, kao i geološkom baštinom.

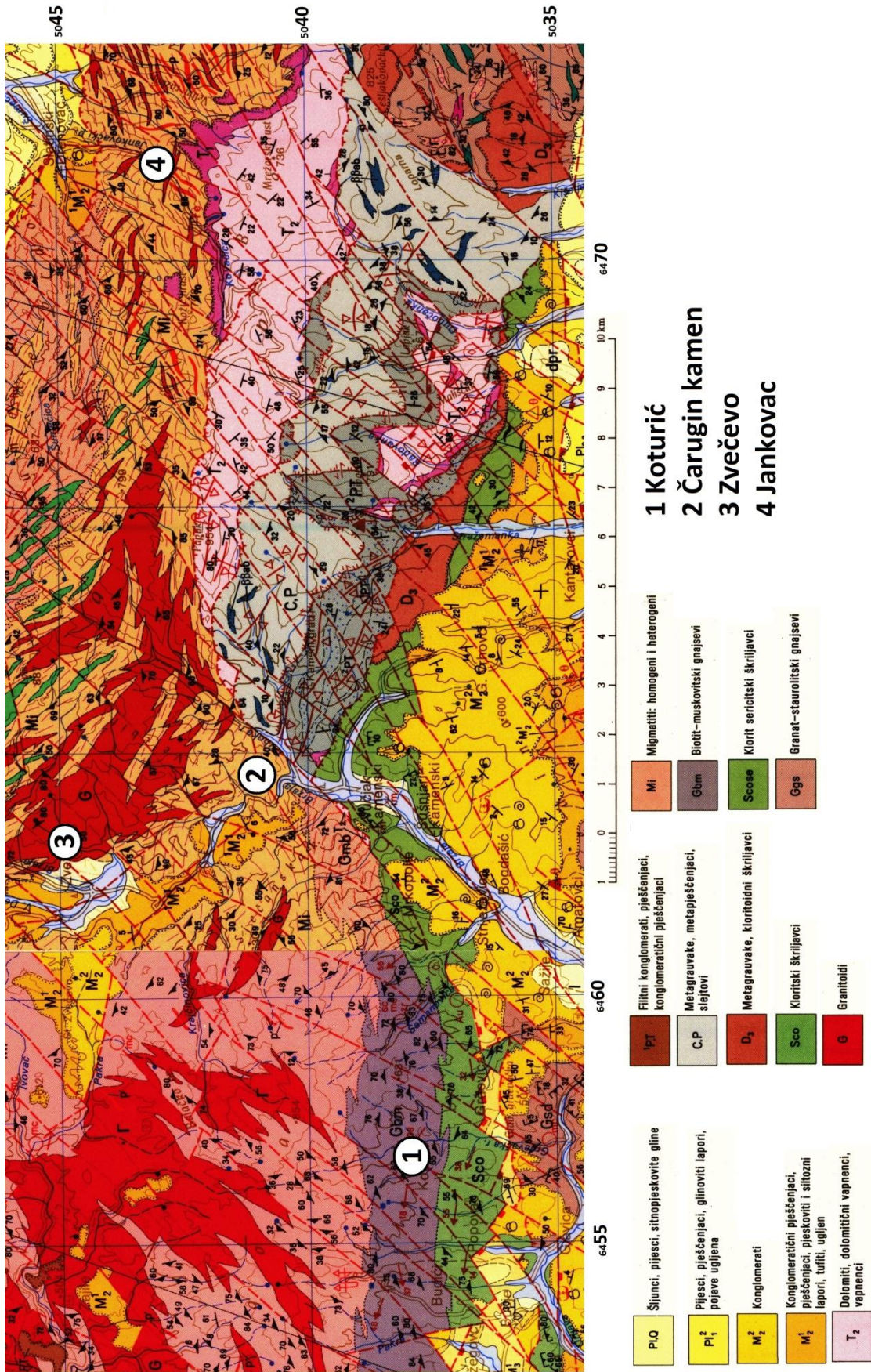
Slavonske planine čine dva paralelna niza, pružanja zapad-istok. Sjeverni niz čine Papuk (954 m) i Krndija (790 m), a južni niz čine Psunj (984 m) te Požeška (618 m) i Dilj gora (461 m). Između ova dva niza nalazi se Požeška kotlina. Sjeverno od Slavonskih planina prostrana je nizina Drave, a južno se nalazi dolina rijeke Save. Gorski hrbat Papuk obuhvaća sjeverozapadni dio Slavenskog gorja. Izdužen je pravcem ZSZ-IJI u duljini od oko 45 km. Najširi je na zapadu (oko 20 km), a najuži na krajnjem istoku (manje od 10 km). Najviši mu je istoimeni vrh visine 953 m. Papuk se orografski može podijeliti u tri dijela. Zapadni dio čine tri paralelna grebena: Lisina (Crni vrh 863 m), Ljutoč (716 m) i Ravna gora (Čučevo 854 m). Od središnjeg dijela odvajaju ga doline Djedovice i Brzaje. Središnji dio Papuka čini jednostruki raščlanjeni greben na kojem se ističu vrhovi Točak (887 m), Papuk (954 m) i Ivačka glava (913 m). To je ujedno najviši i najrašćlanjeniji dio Papuka. Od istočnog dijela odvajaju ga doline Jankovačkog potoka i Dubočanke. Istočni dio Papuka je najuži i najniži. Čini ga jednostruki raščlanjeni greben s najvišim vrhom Češljakovački vis (825 m). Prema istoku se nastavlja u gorski hrbat Krndije (Kapavac 790 m) s kojim Papuk čini jedinstvenu orografsku cjelinu. Najviši vrh Krndije nalazi se u njenom zapadnom dijelu, a prema istoku Krndija je sve niža i sve manje orografski izražena. Granicu Papuka i Krndije tj. istočnu granicu Papuka predstavlja Kutjevačka rijeka. (www.geografija.hr).



Slika 1 Geografski smještaj Slavonskih planina (Slika preuzeta sa: www.google.hr/maps).

Papuk je najvećim dijelom pod šumom u kojoj prevlađuju bukva i hrast, pored toga javor, klen i jasen, a na prisojnim visovima ima breze, borovice i pitomog kestena.

Istraživano područje obuhvaća slijedeće lokalitete: Čarugin kamen ($45^{\circ}29'49.3''$ N, $17^{\circ}32'25.4''$ E), Koturić ($45^{\circ}28'58.4''$ N, $17^{\circ}26'10.2''$ E), Zvečevo ($45^{\circ}32'42.6''$ N, $17^{\circ}30'47.8''$ E) i Jankovac ($45^{\circ}31'18.7''$ N, $17^{\circ}41'13.8''$ E) (slika 2).



Slika 2 Isječak geološke karte (Jamičić, 1988 i Jamičić&Brkić, 1987) s označenim lokalitetima s kojih su uzeti uzorci.

1.2. GEOLOGIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA I POVIJESNI RAZVOJ IDEJA O GENEZI

1.2.1. PODJELA PODLOGE PANONSKOG BAZENA NA BLOKOVE

U podlozi južnih dijelova Panonskog bazena Pamić (1999) izdvaja četiri megabloka: 1) najveći Južnotisijijski (Slavonsko-moslavački), koji je izgrađen najvećim dijelom od paleozojskih metamornih sekvencija, migmatita i granita; 2) nešto manji Sjevernodinaridski, koji je izgrađen od gornjokredno-paleogenskog fliša, paleogenskih metamornih sekvencija, sinkinematskih granita i tektonitnog ofiolitnog melanža; 3) još manji Zagorsko-srednjotransdanubijski, koji je izgrađen od miješanih južnoalpskih i sjeverozapadno-dinaridskih tektonostratigrafskih jedinica; 4) najmanji Pohorsko-međimurski, koji je izgrađen od tektonostratigrafskih jedinica Istočnih Alpa i Periadriatskog lineamenta. Ova podjela na megablokove temelji se na geotektonskoj podjeli Panonskog bazena, kako su je predložili mađarski geolozi, a prihvatili geolozi iz svih cirkumpanonskih zemalja. Najveći Južnotisijijski i najmanji Pohorsko-međimurski blokovi su paleogeografski vezani za južni rub Euroazije, dok su Sjevernodinaridski i Zagorsko-srednjotransdanubijski megablokovi genetski vezani za sjeverni rub Afrike (Apulija). Kristaline stijene slavonskih planina pripadaju megajedinici Tisije. Tisija se nalazi u jugoistočnom dijelu megatektonske jedinice Panonskog bazena, a smatra se da predstavlja dio litosfere koji se odvojio od južnih rubova europske ploče, tijekom srednjeg otvaranja istočnog dijela alpskog Tetisa. Nakon kompleksnih regionalnih pokreta tijekom mezozoika i kenozoika, ta megajedinica je došla u današnji položaj. Ti pokreti bili su kontrolirani velikom tektonskom kontaktnom zonom Alpsko-Karpatско-Dinaridskog orogenog sustava.

1.2.2. PODJELA KRISTALINIH STIJENA PAPUKA

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

1) Serija migmatitskih gnajseva i granita (Jankovačka serija) gdje zapaža homogeno migmatizirane gnajseve koji se po teksturnim osobinama dijele na sitnoborani gnajsevi (anateksiti) i porfiroblastični gnajsevi (embrešiti). Seriji pripadaju gnajsevi, migmatiti, graniti te pegmatiti i manje mase paragnajseva.

2) Serija metamorfoziranih stijena Krndije i južnih padina Papuka (Kutjevačka serija) koja se sastoji od varijeteta granitoidnih i metamornih stijena koje su

metamorfozirane u rasponu od facijesa zelenih škriljavaca do amfibolitskog facijesa. Amfibolitskom facijesu pripadaju razni varijeteti paragnajseva, amfibolitni škriljavci i granitoidne stijene.

3) Serija niskometamorfoziranih i nemetamorfoziranih stijena (Radlovačka serija) zastupljena je metagrauvakama, slejtovima, konglomeratima i dijabazima.

Pamić & Lanphere (1991) stijene Papuka dijele na: anhimetamorfne i nisko metamorfne stijene s metabazitima, progresivnometamorfnu sukcesiju niskog i srednjeg stupnja metamorfizma, migmatite, S-granite i I-granite.

Sve su te stijene vezane za regionalno metamorfni kompleks koji je metamorfoziran u p - T uvjetima niskog i srednjeg stupnja metamorfizma za vrijeme hercinske orogeneze. Iz njegovih najviše metamorfoziranih dijelova postupno se razvijaju hercinski migmatiti koje probijaju također hercinski S-graniti. Jače metamorfozirane stijene regionalno metamorfnog kompleksa probijaju tijela I-granita, koje su također najvećim dijelom hercinske starosti.

Semimetamorfni kompleks, odnosno Radlovački kompleks Jamičića (1988) sastoji se pretežno od slejtova i škriljavih metapješčenjaka, uz koje se podređenije susreću filiti, kvarciti i škriljavi metakonglomerati (Pamić & Jamičić, 1986).

U progresivno metamorfni kompleks uključene su stijene Jamičićeve (Jamičić, 1983 i 1988) Psunjske, odnosno Kutjevačke serije kao i dio njegove Papučke, odnosno Jankovačke serije sa sjevernih padina Papuka. Jače metamorfozirani djelovi progresivnometamorfnog kompleksa izgrađeni su pretežno od različitih varijeteta paragnajsova i tinjčevih škriljavaca (Pamić & Lanphere, 1991). Slabije metamorfozirani djelovi kompleksa sastoje se uglavnom od filita, zelenih škriljavaca i kvarc-muskovitnih škriljavaca.

Jače metamorfozirani djelovi progresivnometamorfnog kompleksa probijaju tijela I-granita. U tijelima I-granita, bez obzira na njihovu veličinu, dolaze često i intermedijarne pa i bazične magmatske stijene. U progresivnometamorfnom kompleksu uložena su, duž folijacije škriljavaca, i manja ultramafitna tijela (Pamić & Lanphere, 1991). Ta ultramafitna tijela smještena su prije glavne hercinske deformacijske faze.

Granitoidne stijene zauzimaju manje površine od stijena regionalnometamorfoziranih formacija. Razlikuju se dvije genetske grupe: S-graniti i I-graniti.

S-graniti izgrađuju jezgre Moslavačke gore i Papuka, gdje su prostorno tijesno vezani s migmatitima. Petrografski to su pretežno granodioriti s prelazima u moncogranite (Pamić, 1990; Pamić i Lanphere, 1991).

I-graniti koji zauzimaju znatno manju površinu od S-granita sreću se samo na Psunju, Papuku i Krndiji i to u jače metamorfoziranim djelovima barovljevih regionalnometamorfnihih sekvencija. Petrografski se razlikuju od S-granita jer među njima pretežu moncograniti (Psunje i Papuk), dok na Krndiji dolaze granodioriti i tonaliti. Karakteristično je da su I-graniti za razliku od S-granita intenzivno kataklazirani, obično i uškrljeni i prešli u gnajs granite. Za razliku od S-granita, I-graniti su tipične magmatske stijene koje su nastale iz magmatskih taljevina plašnog porijekla. Ova je raznovrsna asocijacija magmatskih stijena mogla nastati duž aktivnog kontinentanskog ruba, odnosno subdukcijske zone Paleotetisa (Pamić & Lanphere, 1991; Pamić 1998a).

Migmatiti se javljaju na Moslavačkoj gori i u okolnoj podlozi Panonskog bazena, kao i na Papuku i u okolnoj podlozi. To su miješane stijene izgrađene obično od svijetlih neosomskih vrpca granitnog sastava i tamnih paleosomskih vrpca i leća izgrađenih od ishodišnih paragnajseva. Na brojnim se izdancima, i u Moslavačkoj gori i u Slavonskim planinama, zapaža da se te stijene postupno razvijaju iz paragnajseva i tinjčevih škriljavaca okolnih regionalnometamorfnihih sekvencija. Po svojem mineralnom i kemijskom sastavu migmatiti su u osnovi identični S-granitima, dakle oni su granodioritno moncodioritnog sastava. Inače te stijene imaju raznovrsne teksture i strukture, tako da postoje brojni varijeteti migmatita.

Metamorfno-migmatitno-granitni kompleksi južnih dijelova Tisije izgrađuju domne strukture koje su inače u svijetu karakteristične za takve kristaline terene. I na Papuku i na Moslavačkoj gori sačuvane su jasne domne strukture sa S-granitnim plutonima u jezgri koje su obavijene migmatitnom zonom i dalje prema krilima doma, zonama regionalnometamorfnihih sekvencija.

Međusobno usklađeni podatci K-Ar i Rb-Sr određivanja dokazuju da su migmatiti i S-graniti slavonskih planina i okolne podloge Panonskog bazena nastali za vrijeme hercinskog orogenetskog ciklusa (Pamić & Lanphere, 1991).

Uzorci obrađeni u ovom radu pretpostavljeno pripadaju Jankovačkoj seriji (prema Jamičić, 1983).

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Tajder (1957) je dao prve poglede na genezu granitskih stijena zapadnog dijela Papuka. On je granitske stijene podijelio na granodiorite, adamelite, porfiroidne adamelite i granodiorite i leukokratske alkalijske granite. Prema njegovom mišljenju ove su stijene dio štoka ili batolita u kojem granodioriti predstavljaju najstariju, a leukokratski adameliti i alkalijski graniti najmlađu fazu u kristalizacijskoj evoluciji magme.

Marci (1965) daje petrografski i kemijski pregled granita, amfibolita i gnajsa zapadnog dijela Psunja i navodi da su velike mase granita kataklazirane, dok manje nisu.

Vragović (1965a, 1965b) u sklopu svoje doktorske disertacije daje detaljan petrološki i kemijski pregled migmatita, granita i gnajseva Papuka. Zaključuje da granitske i sa njima udružene stijene predstavljaju rubni dio plutona koji postepeno tone od zapada prema istoku. Graniti, migmatiti i metamorfni škriljavci predstavljaju dio granitno-metamornog masiva, a formirali su se u više sukcesivnih faza za vrijeme i poslije boranja nekog orogenetskog ciklusa, mlađeg od silura.

Raffaelli (1965a, 1965b) je na Ravnoj gori utvrdio hercinski progresivnometamorfni kompleks sa jasno izraženim zonalnim rasporedom minerala iz kojeg se postupno razvijaju migmatiti te je također obradio kvarcne diorite s kumingtonitom. On dovodi u međusobnu genetsku vezu niskometamorfne škriljavce progresivnometamornog kompleksa Ravne gore, na Papuku, s niskometamornim stijenama vanjskog pojasa na kojima je Poljak (1952) odredio silursku starost.

Marci (1968) primjenjuje elemente u tragovima kao jedan od načina za određivanje porijekla anklava i gnajsa Papuka. Na temelju analiziranim makro i mikro elemenata kao i njihovom odnosu zaključila je eruptivno porijeklo enklava te prisutnost orto i para gnajseva.

Marci (1971) detaljno petrografski obrađuje granite Psunja te njihov odnos prema amfibolitima.

Marci (1973) istražujući genezu granitskih stijena Psunja dolazi do zaključka da se evolucija psunjskih granita može shvatiti kao dio kompleksnih zbivanja koji su vezani za stvaranje granitno-metamornog masiva slavonskog gorja unutar orogenog ciklusa, koji se

odvijao kasnije od silura. Nakon paleozoika slijedila je intruzija granodioritne magme i formiranje batolita. Kemizam, geokemija i fiziografija obavljena na promatranom granitnom tijelu ukazuje na magmatsko porijeklo, dok način pojavljivanja teksturne karakteristike i kontaktne pojave idu u prilog metamorfnom karakteru. Zaključuje da su po porijeklu najvjerojatnije magmatske stijene, dok je metamorfni karakter posljedica načina utiskivanja.

Slovenec (1982) je analizirao kemijski sastav biotita, granata i amfibola iz različitih granitno-metamornih stijena Papuka i odredio je relativne temperature formiranja stijena koje se kreću u rasponu od približno 600 - 700° za granitoidne stijene te približno 550 - 720° za metamorfne stijene.

Jamičić (1983) izdvaja tri kompleksa u slavonskom kristalinu: psunjsko-kutjevački, papučko-jankovački i radlovački.

Pamić (1986) je prikazao geološko-petrološke karakteristike granitnih i metamornih stijena koje se javljaju u zoni Bukulja-Cer-Motajica-Moslavačka gora, u dodirnom području sjevernih Dinarida i Panonskog strukturnog kompleksa. Prezentirao je izotopne podatke koji upućuju na krednu i tercijarnu starost tih stijena.

Raffaelli & Pamić (1986) proveli su petrokemijske analize na prealpskim i mladoalpskim granitima koji se nalaze na dodirnom području sjevernih Dinarida i Panonskog bazena.

Jamičić et al. (1987) opisuju biotitske gnajseve i biotit-muskovitske gnajseve kako postepeno prelaze u migmatitske gnajseve. Na osnovu teksturnih i strukturnih osobina razlikuju heterogene i homogene migmatite. Heterogeni migmatiti predstavljaju prelazne 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) po strukturnim i teksturnim karakteristikama razlikuju heterogeni i homogeni migmatit. Unutar tih migmatitskih gnajseva dolaze kao manje ili veće mase, leće ili žile, konkordantno uloženi graniti, homogene teksture, bez izrazite folijacije ili s vrlo slabom folijacijom.

Pamić & Lanphere (1991) provode detaljne geološko-petrološke i geokemijske obrade granitnih i metamornih stijena Panonskog bazena te kristalini kompleks dijele na 5 jedinica (regionalnometamorfni kompleks, semimetamorfni kompleks, migmatiti, S-graniti i I-graniti) u koje uključuju i Jamičićevu podjelu iz 1983. Smatraju da progresivnometamorfne stijene, migmatiti i S-graniti slavonskih planina i okolne podloge Panonskog bazena predstavljaju jedinstveni geološko-petrološki kompleks koji je međusobno genetski povezan, a nastao je kao rezultat regionalnog metamorfizma, migmatitizacije i granitnog plutonizma za vrijeme glavne deformacijske faze hercinskog orogenetskog ciklusa. Također, zaključuju da hercinski granitni plutonizam slavonskih planina i okolne podloge Panonskog bazena ne potječe iz istih magmatskih rezervoara. Jedne granitne taljevine su plašnog porijekla i one su dale prekinematske I-granite, dok su druge nastale taljenjem okolnih stijena (metapelita) hercinskog progresivnometamornog kompleksa te su one dale sinkinematske S-granite.

Pamić (1999) podlogu južnih dijelova Panonskog bazena dijeli na 4 megabloka koji svaki detaljno geološki opisuje, a koji se temelji na geotektonskog podjeli. Također, daje prikaz geodinamske evolucije južnih dijelova Panonskog bazena.

Balen & Horvath (2003) proveli su geotermobarometrijsko istraživanje variscijskih metamornih stijena s područja Kutjevačke Rijeke u Slavoniji i povezali ih s onima u južnoj Mađarskoj.

Balen et al. (2006) su na temelju monacita s područja Kutjevačka Rijeka u Slavoniji, odredili starost metamornih stijena kao pre-variscijske, točnije ordovicijsko-silurske.

Horvath et al. (2010) analizirali su uzroke iz podloge Tisije te odredili p - T - t put i starost stijena koja je pre-variscijska i variscijska.

Biševac et al. (2013) na uzorcima metasedimenata Radlovačkog kompleksa odredili su uvjete metamorfizma vrlo niskog do niskog stupnja te porijeklo protolita.

Balen et al. (2013) na kloritoidnim škriljancima u južnim dijelovima Tisije odredili su p-T i alpsku starost metamorfizma.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. LABORATORIJSKA PRIPREMA UZORAKA

Za potrebe ovog rada, prof. dr. sc. D. Balen terenskim radom tijekom ranijih istraživanja slavonskih planina prikupio je uzorke koji su pripremljeni za daljnju analizu u laboratoriju Mineraloško–petrografskog zavoda Geološkog odsjeka Prirodoslovno–matematičkog fakulteta u Zagrebu. Za detaljnu analizu odabrana su četiri uzorka koji sa svojim strukturnim i petrološkim značajkama najbolje predstavljaju cijeline iz koje su uzeti.

Za kemijsku analizu, oko 100 g uzoraka potrebno je čekićem zdrobiti na veličinu manju od 1 cm, kako bi se lakše mogli dalje mrviti u mlinu. U mlinu uzorci se mehanički usitnjavaju 40 minuta te se dalje ručno prosijavaju na veličinu manju od 125 μm . Ukoliko se u mlinu ne uspiju razmrviti na potrebnu veličinu, pristupa se ručnom usitnjavanju u ahatnom tarioniku.

Za mikroskopsku analizu odabrani uzorci prvo se rotirajućom dijamantnom pilom izrežu na pločice, koje se zatim bruse na prahu 500 kako bi se uklonile sve nepravilnosti, a površina postala glatkom. Nadalje, uzorak se kanada balzomom ljepi na stakalce te se ostavlja hladiti.

Slijedeći korak je pomoću rotirajuće ploče i praha 90 te 240 stanjiti preparat na veličinu 0,02 do 0,03 mm, no kako je vrlo teško postići tu debljinu pomoću rotirajuće ploče, najčešće se pristupa ručnom brušenju na finijim prahovima, onima 500 i 2000. Kada se postigne odgovarajuća debljina, preparat se pokriva pokrovnim stakalcem te se kreće s analizom pomoću polarizacijskog mikroskopa.

Polarizacijski mikroskop koristi se za određivanje mineralnog sastava te struktura tekstura i mikrotektonskih osobina promatrane stijene. Njegovi osnovni dijelovi su: izvor svjetlosti, iris zaslon, kondenzor, pomični stolić, objektiv, otvor za umetanje akcesornih pločica, analizator, Amici–Bertrandova leća, okular.

Svjetlost prolazi kroz polarizator gdje se polarizira, tj. vibrira samo u jednom smjeru (jednoj ravnini) te nastavlja tako do stolića s preparatom. Zatim prolazi kroz objektiv, analizator (ukoliko je uključen) te naposljetku i kroz okular.

Ovisno je li kondenzor uključen ili ne, opažanja provodimo u ortoskopskim uvjetima (gdje snop paralelnih zraka svjetlosti na preparat pada pod pravim kutem) ili u konoskopskim uvjetima (snop konvergirane svjetlosti).

Stoga, u ortoskopskim uvjetima bez uključenog analizatora promatramo oblik i veličinu mineralnih zrna, zatim postojanje pukotina, kalavosti, reljef, postojanje pseudoapsorpcije, vlastitu boju mineralnog zrna te postojanje pleokroizma. S uključenim analizatorom, s druge strane, razlikujemo optički izotropne od anizotropnih minerala, interferencijske boje, dvolom, potamnjenja, optički karakter izduženja, sraslace.

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).

3.2. KEMIJSKA ANALIZA STIJENA

Kemijska analiza provedena je metodama temeljenim na primjeni induktivno spregnute plazme (ICP).

Plazma je ionizirani plin, koji ima jednak broj protona i elektrona. Potrebno je dovesti vanjski izvor energije u obliku električnog polja, kako bi se plin ionizirao i plazma održala te će ona dio energije prenijeti na uzorak i tako ga atomizirati, ionizirati i na kraju pobuditi. Postoji nekoliko vrsta plazmi, ovisno o vrsti električnog polja koje je korišteno. ICP je jedna od njih, a nastaje kada visoko frekventno polje prolazi kroz zavojnicu. Plin koji se koristi da bi se dobila plazma je argon, monoatomski element s visokom energijom ionizacije te je kemijski inertan. Između ostalog, argonska plazma uspijeva pobuditi većinu elemenata periodnog sustava, a sama ne stvara stabilne spojeve s analitom (Wolf, 2005).

Koriste se dvije vrste ICP metoda: ICP-MS i ICP-AES.

ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry) je analitička tehnika koja se koristi za determinaciju elemenata. Ona kombinira visoko temperaturni ICP izvor s masenim spektrometrom. ICP izvor pretvara atome elemenata uzorka u ione. Oni se potom razdvajaju te ih detektira maseni spektrometar. Uzorak se u ICP plazmu uvodi kao aerosol, bilo usisavanjem tekućine ili otopljenog čvrstog uzorka u raspršivač, ili pomoću lasera koji direktno pretvara čvrste uzorke u aerosol. Aerosolu se potom ukloni otapalo i elementi aerosola se ioniziraju. Ioni zatim odlaze do masenog spektrometra gdje se razdvajaju na temelju odnosa mase i naboja. ICP-MS koristi se kako bi se odredili glavni elementi i elementi u tragovima u uzorku (Wolf, 2005).

ICP-AES (Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy) je također analitička metoda kojom se detektiraju elementi u tragovima. Ona je tip emisijske spektroskopije koja koristi induktivno spregnutu plazmu kako bi pobudila ione koji potom emitiraju elektromagnetske valove koji su karakteristični za svaki element. Intenzitet emisije ovisi o koncentraciji elementa u uzorku (Wolf, 2005).

ICP-MS, iako nije savršeno, daleko je preciznije oruđe za detekciju elemenata u tagovima od ICP-AES.

Dobiveni podatci dalje se obađuju u programu GCDkit (Janoušek et al., 2006), kojim možemo odrediti CIPW normativni sastav uzorka, uspoređivati analizirani uzorak s hondritima i drugim uzorcima koji se već nalaze u bazi te raditi različite dijagrame putem kojih, između ostaloga, možemo klasificirati uzorke te saznati geotektonski smještaj. On je pisan programskim jezikom R te mu je na taj način omogućeno daljnje konstantno usavršavanje od strane svojih korisnika.

3.3. ANALIZA ELEKTRONSKOM MIKROPROBOM

Elektronska mikroproba je analitički alat koji na ne-destruktivni način određuje kemijski sastav male količine čvrstog uzorka. Pomoću niza elektromagnetskih leća, snop elektrona se fokusira na uzorak pri čemu dolazi do emisije rendgenskih zraka. Svaki element emitira rendgenske zrake određene valne duljine koje se dalje difraktiraju prolaskom kroz kristal. Te karakteristične rendgenske zrake su detektirane pri određenim valnim duljinama, a njihovi intenziteti se mjere kako bi se odredila koncentracija elemenata u uzorku.

Kemijsku analizu mikroprobom napravio je prof. dr. sc. Dražen Balen u Bratislavi u geološkom institutu Slovačke (Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava) na uređaju Carecca SX100.

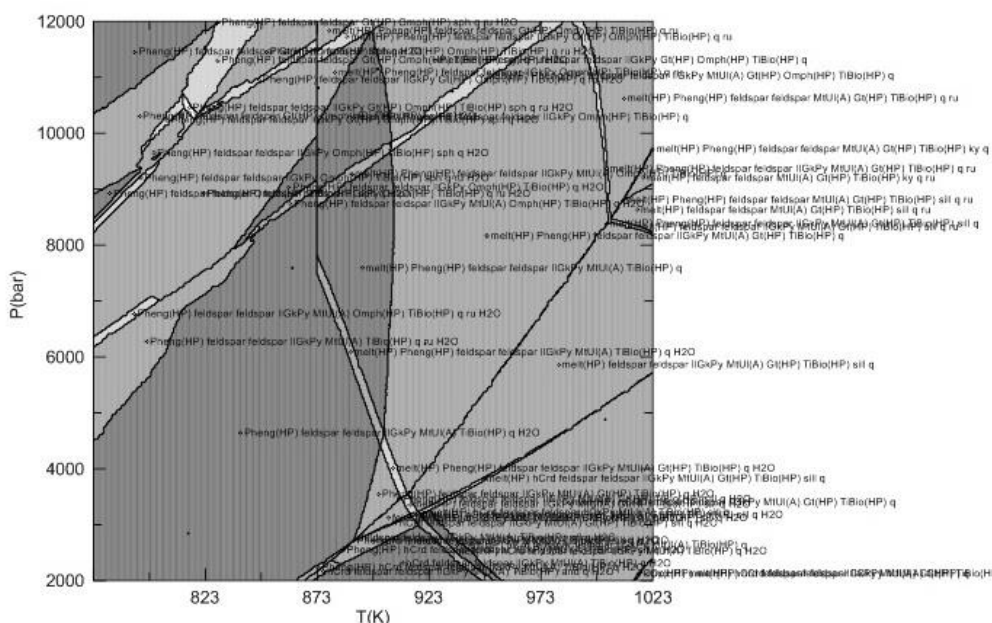
3.4. TERMOBAROMETRIJSKE METODE

Geotermobarometrija bavi se određivanjem tlakova i temperatura na kojima stijene nastaju. Jedan od programa za određivanje je termodinamski kalkulator Perple_X koji je korišten u ovom radu (<http://www.perplex.ethz.ch/>) (Connoly & Kerrick, 1987). Za rad u programu potrebni su geokemijski podatci u dobiveni cijelostijenskom kemijskom analizom. Osim za dobivanje različitih dijagrama, Perple_X je koristan zbog dobivanja pseudopresjeka, tj. izokemijskih faznih dijagrama koji pokazuju polja stabilnosti različitih mineralnih parogeneza u stijeni.

3.4.1. Perple_X

Perple_X je skup programa pisanih u Fortranu77, a koji služi za računanje i prikazivanje faznih dijagrama i različitih termodinamskih podataka. Najvažniji programi su Build, koji kalibrira ulazne podatke koji će se izračunati u Vertexu. Daljnji podatci se obrađuju ili u Psvdraw programu koji se koristi za crtanje faznih dijagrama, ili Pssect programu koji crta pseudopresjeke. Osim navedenih, bitni su i Pstable i Werami, koji se koriste za izradu izopleta. Program radi na principu određivanja minimalne Gibbsove slobodne energije i sastava faza te ih prikazuje kao funkcije (Connolly & Kerrick, 1987). U program Build unose se osnovne postavke koje su potrebne kako bi Vertex mogao računati. Izlazni 'file' oblika je teksturalne datoteke s ekstenzijom '.dat' u kojem se nalaze informacije o kemijskom sastavu stijene, fazama te tlakovima i temperaturama. Vertex, s druge strane, ne zahtjeva toliku količinu ulaznih podataka kao Build, već jedino gotovi 'file' kojeg je napravio Build. Samo računanje može potrajati satima ili čak i danima. Slijedeći korak je pokretanje programa Pssect koji izrađuje pseudopresjeke, a rezultat je 'file' s PostScript crtežom (slika 3) koji se dalje obrađuje pomoću programa CorelDraw (u ovom radu je korištena verzija 17).

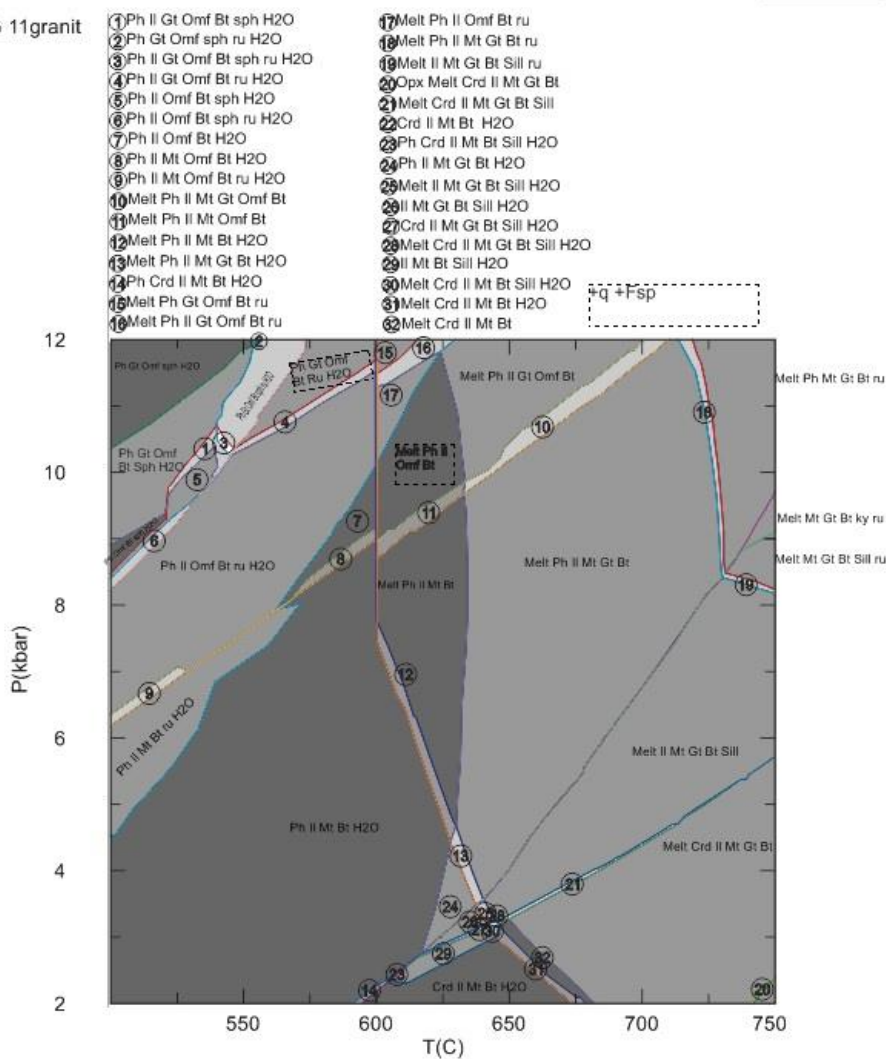
Koturić GRG 11granit



Slika 3 Pseudopresjek uzorka s lokaliteta Koturić G.

Zbog velike nepreglednosti potrebno je slike dalje obraditi. Jasnoća i preglednost se postiže na nekoliko načina. Prvi je ili uvođenje skraćenica mineralnih faza ili dodatno skraćivanje već unesenih skraćenica, kao na primjer, umjesto Gt(HP) unosi se Gt i sl. Također, ukoliko se određene faze pojavljuju u svakoj paragenezi, mogu se posebno izdvojiti. Nakon što se sve skratilo na ovaj način, izvlače se granice između određenih polja kako bi se jasnije mogle pratiti (slika 4), a svako polje se dalje boja u skladu s varijancom sustava kako bi se jasnije vidjela polja stabilnosti određenih minerala.

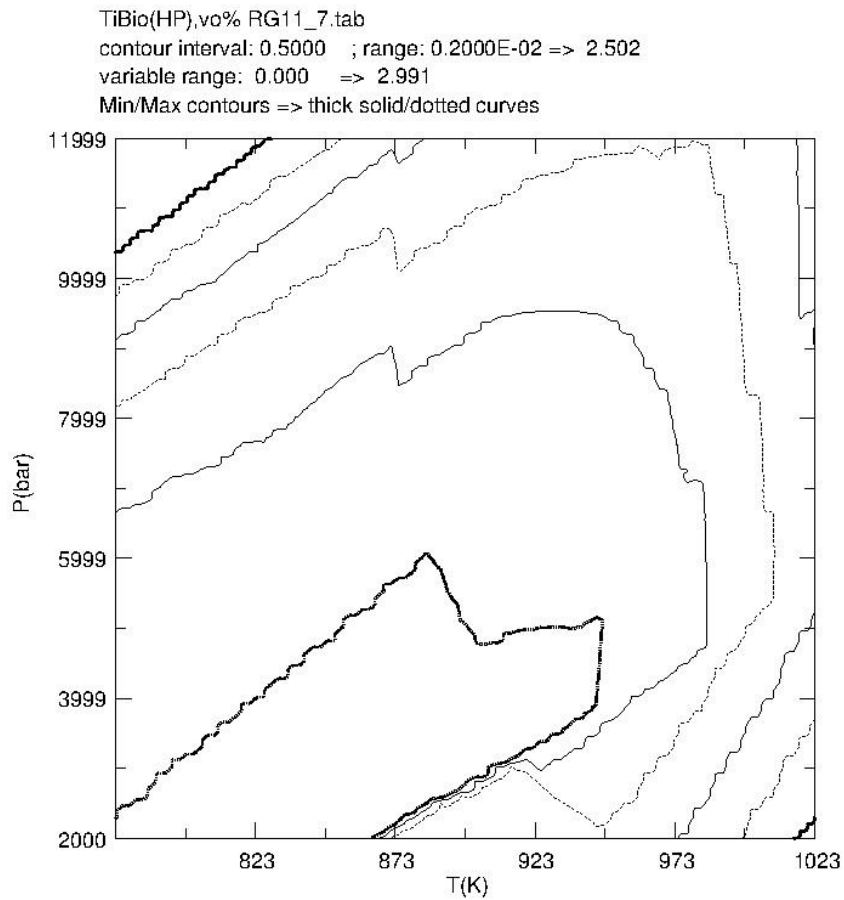
Koturić GRG 11granit



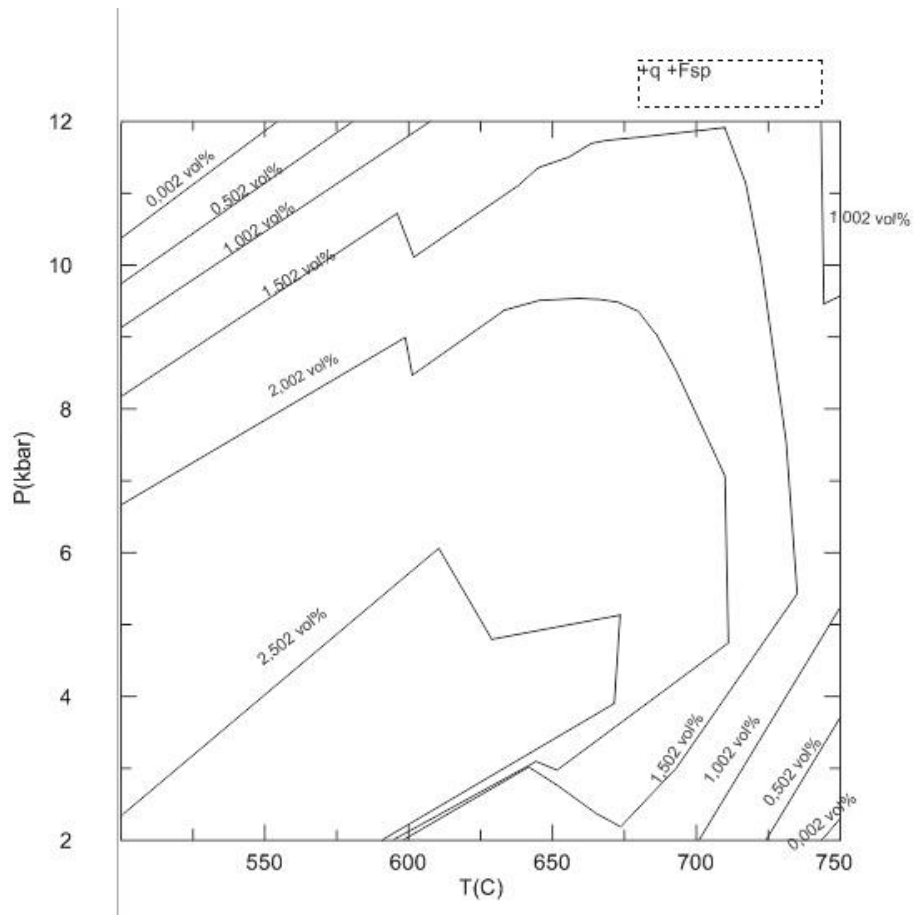
Slika 4 'Očišćeni' pseudopresjek Koturić G, gdje su izvučene linije stabilnosti svakog minerala te osjenčana polja stabilnosti određene parageneze.

Također, Perple_X je koristan alat za izradu izopleta, tj. linija istog kemijskog sastava. Računanje se obavlja pomoću programa Werami, a iscrtavanje pomoću Pstable. Na dobivenoj slici najdeblja linija označava najmanji sadržaj biotita u uzorku, dok točkasta

najveći (slika 5). Konture izopleta se dalje iscrtavaju u CorelDraw programu te se na svakoj liniji se označi njena vrijednosti (slika 6).



Slika 5 Prikaz izolinija vol% biotita u uzorku Koturić G. Izolinija minimalne vrijednosti označena je debelom, crnom linijom, dok je ona maksimalne vrijednosti točkasta.



Slika 6 Iscrtane izolnije s upisanim pripadajućim vrijednostima.

4. REZULTATI

4.1. MAKROSKOPSKI OPIS STIJENA

Uzorak s lokaliteta Jankovac (slika 7) homogene je teksture, sivosmeđe boje te se jasno uočavaju sjajni, sivi listići muskovita. Također, lako se mogu uočiti i tamni listići biotita te svjetli, trošeni feldspati, kao i kvarc.



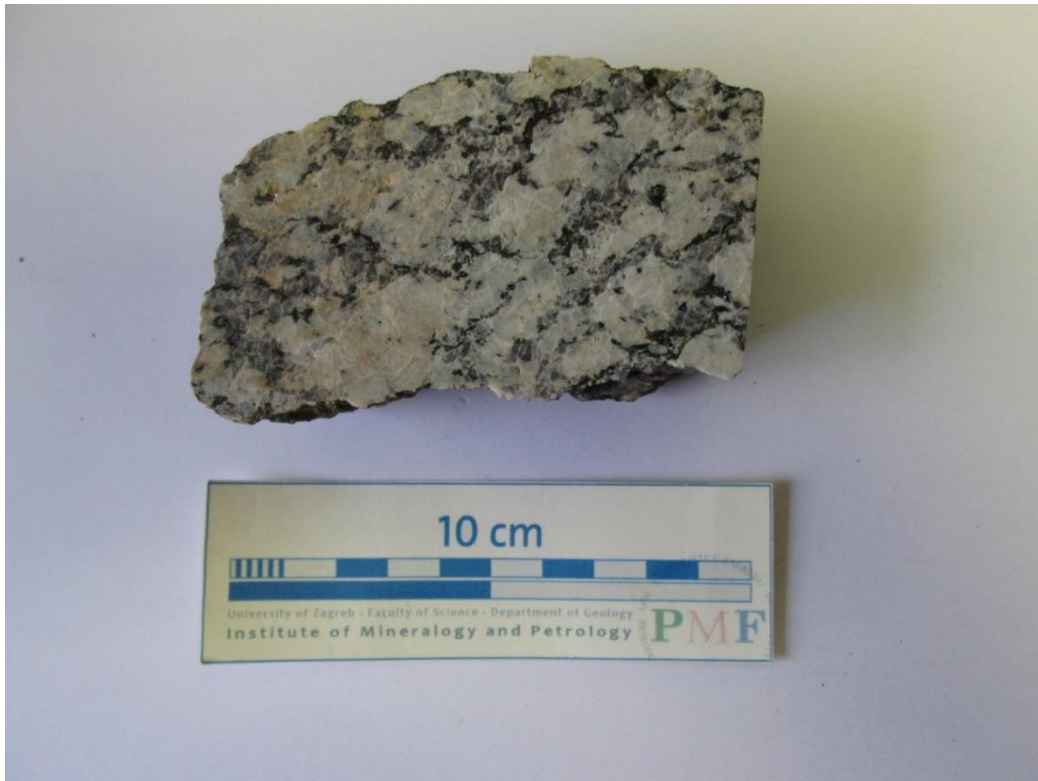
Slika 7 Makroskopski prikaz stijene s lokaliteta Jankovac.

Slijedeći uzorak, s lokaliteta Zvečevo (slika 8), ima homogenu teksturu i holokristalinu strukturu. Moguće je odrediti mineralni sastav, i to da sadrži kvarc, feldspat i biotit. Boja stijene je sivosmeđa.



Slika 8 Makroskopski prikaz stijene s lokaliteta Zvečevo, na kojoj se jasno vidi homogena tekstura.

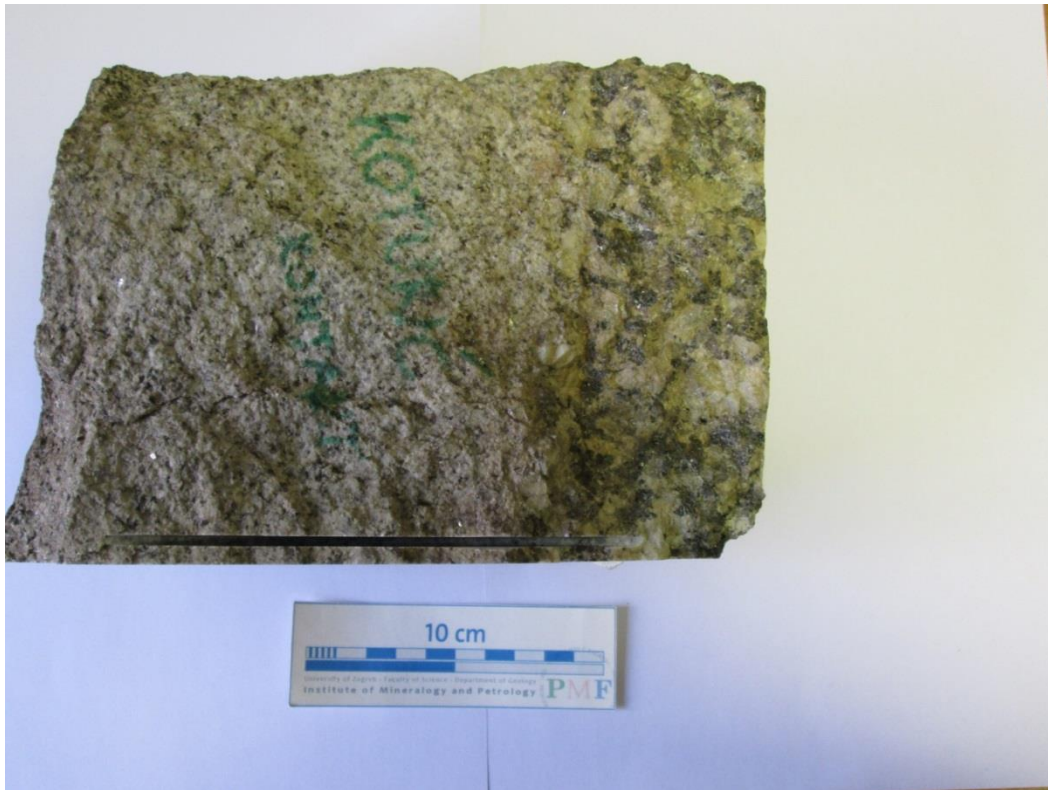
Slijedeća dva uzorka su s lokaliteta Koturić M i Koturić G. Koturić M (slika 9) je sive boje, krupnozrnatiji nego stijena s Koturić G (slika 10). Moguće je odrediti da stijena sadrži kvarc, tinjce i feldspate. Uzorak s lokaliteta Koturić G je blijedo crvenkaste boje. Oba uzorka uzeta su s istog lokaliteta, točnije s kontaktne zone granite i migmatita (slika 11).



Slika 9 Makroskopski prikaz stijene s lokaliteta Koturić. Stijena je migmatit, vidno krupnozrnatija od granita sa istog područja.



Slika 10 Makroskopski prikaz stijene s lokaliteta Koturić. Stijena je granit.

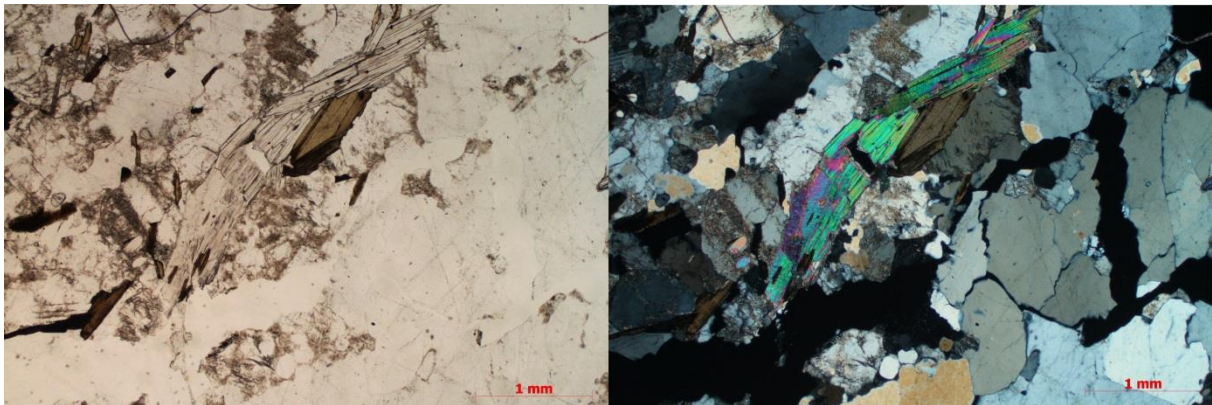


Slika 11 Makroskopski prikaz stijene s lokaliteta Koturić. Prikazana je kontaktna zona između granita (lijevo) i migmatita (desno).

4.2. MIKROFIZIOGRAFSKI OPIS STIJENA

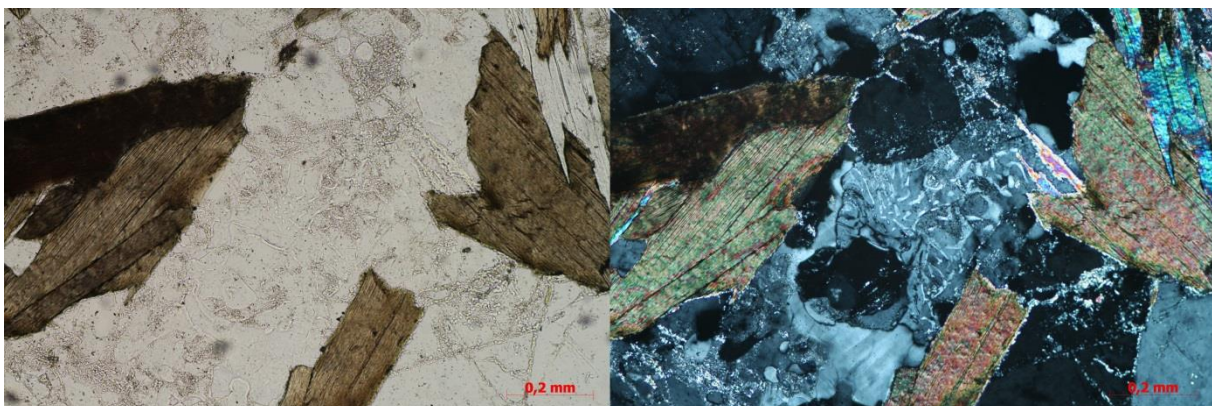
4.2.1. JANKOVAC

Tekstura uzorka je homogena, a struktura zrnata. Procijenjeni udjeli pojedinih mineralnih zrna iznose: kvarc 55 vol%, ortoklas 10 vol%, biotit 10 vol%, mikroklin 10 vol%, muskovit 7 vol%, plagioklas 5 vol% i kalцит 3 vol%. Listići biotita i muskovita lagano povijaju oko zrna drugih minerala (slika 12).



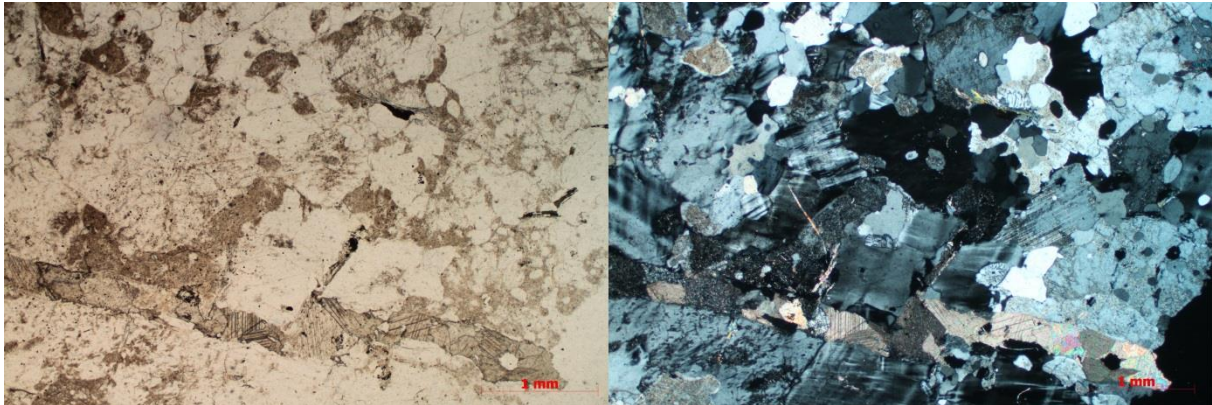
Slika 12 Vidljivo povijanje listića biotita (smeđ, interferencijska boja prekrivena vlastitom) i muskovita (žive inetrferencijske boje) oko zrna ostalih minerala (feldspati). N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Jankovac.

Također, zrna mikroklina i biotita ponegdje dolaze zajedno što može upućivati na pseudomorfozu po kordijeritu. Na nekim zrnima plagioklasa je zamjećena sericitizacija, što upućuje da se radi o kiselom plagioklasu. Pomoću kutova potamnjenja neka zrna plagioklasa određena su kao andezin, što znači da sadrže 30-50% anortitne komponente. Prisutna su i zrna s mirmekitskom strukturom (slika 13).



Slika 13 Detalj zrna plagioklasa s mirmekitskom strukturom kojeg okružuju zrna biotita. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Jankovac.

Glavni mineral je kalijski feldspat koji je potrošen, a kvarc i muskovit crvoliko proraštaju (forma simplektita). Simplektiti nastaju ukoliko dođe do promjene temperature, tlaka ili drugih fizikalnih parametara u okolišu te jedna ili više mineralnih faza postaje nestabilna i rekristalizira u neku stabilniju fazu. Zamjećena je i jedna žila kalcita (slika 14) koja može upućivati na naknadni prodor hidrotermi.



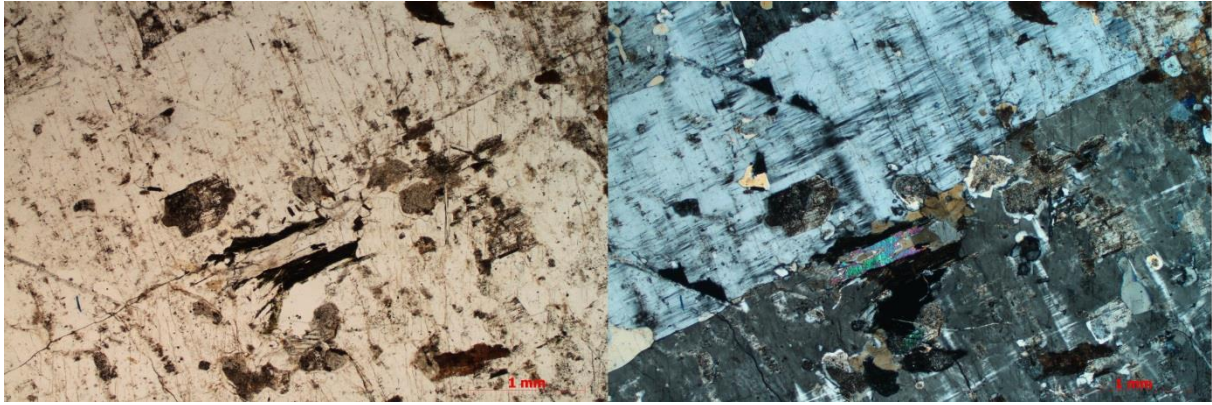
Slika 14 Vidljiva je kalcitna žila koja se proteže kroz cijeli opažani uzorak. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Jankovac.

Za uzorke s lokaliteta Jankovac određeno je da se radi o biotitno-muskovitnom gnajsu.

4.2.2. ČARUGIN KAMEN

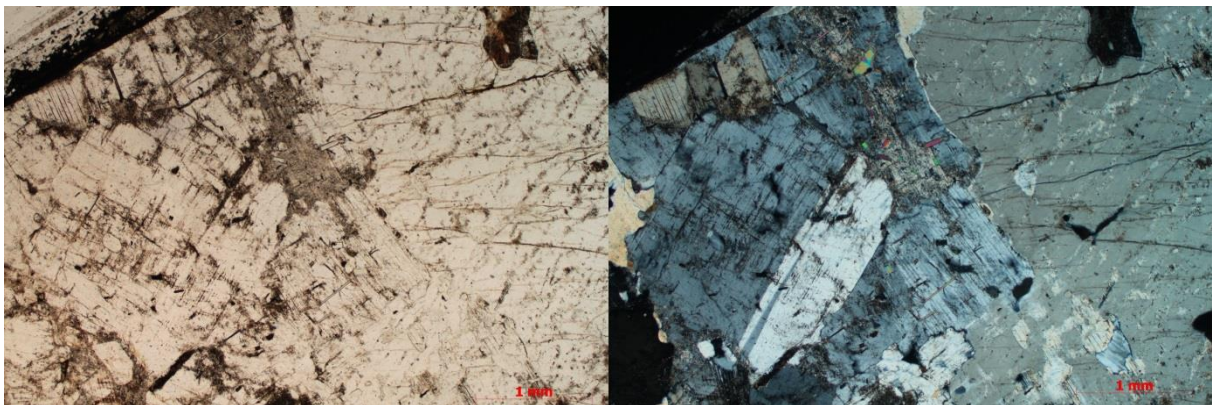
Tekstura je homogena, a struktura zrnata. Procijenjeni udjeli pojedinih mineralnih zrna iznose: kvarc 50 vol%, mikroklin 22 vol%, plagioklas 15 vol%, biotit 10 vol% i muskovit 3 vol%.

U uzorcima nije primjećena preferirana orijentacija zrna. U zrnima ortoklasa zamjećuju se deformacijske lamele (slika 15), što ukazuje da je uzorak bio podložen povišenom tlaku nakon kristalizacije zrna.



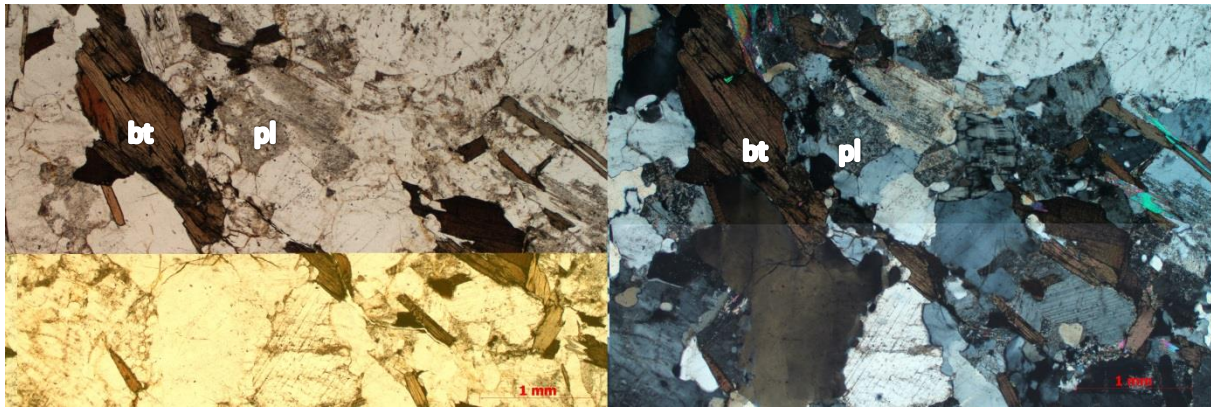
Slika 15 Detalj zrna mikroklina u kojem su zamjećene deformacijske lamele. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Čarugin kamen.

Također, često se nalaze uklopci kvarca i biotita u većim zrnima ortoklasa i plagioklasa (slika 16), gdje su zrna kvarca zaobljenih rubova, a podređeno se nalaze i inkluzije muskovita u plagioklasu.



Slika 16 U zrnju feldspata primjećuju se uklopci biotita. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Čarugin kamen.

Manja zrna plagioklasa ponegdje su sericitizirana (slika 17), a velika često pokazuju undulozno potamnjenje. Na nekoliko zrna uočena je mirmekitska struktura, tj. crvoliko proraštanje kvarca u plagioklasu.



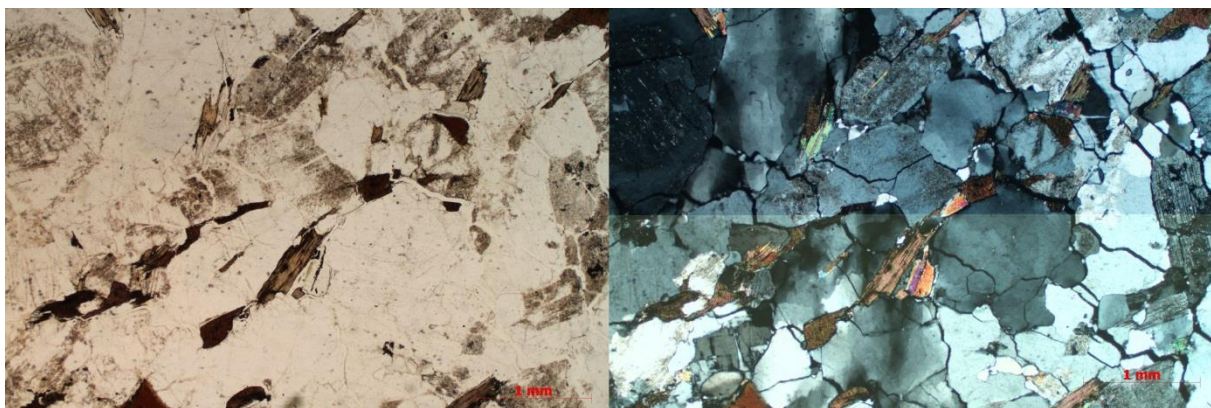
Slika 17 Manja zrna plagioklasa su uvelike sericitizirana. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Čarugin kamen. Bt- biotit, pl- plagioklas

Za uzorke s lokaliteta Čarugin kamen određeno je da se radi o migmatitu.

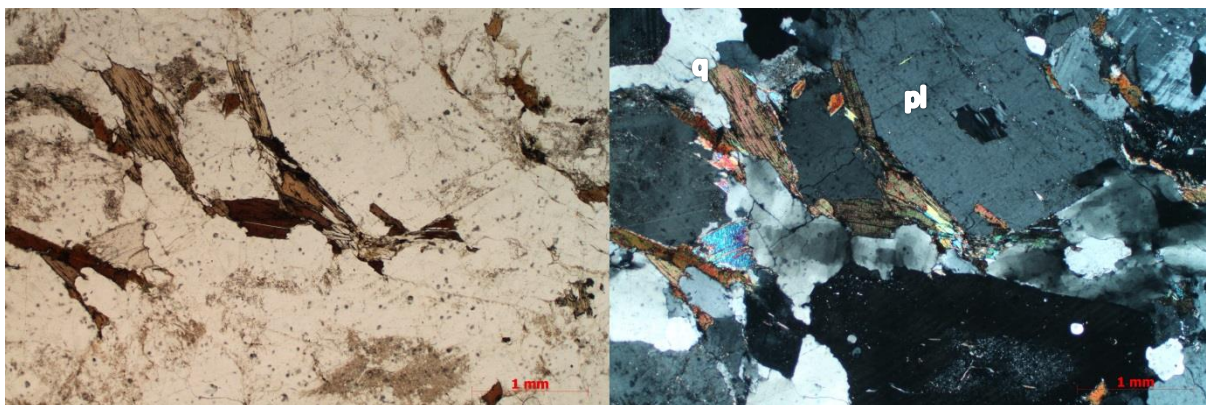
4.2.3. ZVEČEVO

Tekstura je homogena, a struktura zrnata. Procijenjeni udjeli pojedinih mineralnih zrna iznose: kvarc 60 vol%, mikroklin 15 vol%, plagioklas 10 vol%, muskovit 10 vol%, i biotit 5 vol%.

U uzorku nije zamjećena preferirana orijentacija zrna, iako se listići muskovit i biotita lagano povijaju oko ostalih zrna (slike 18 i 19).

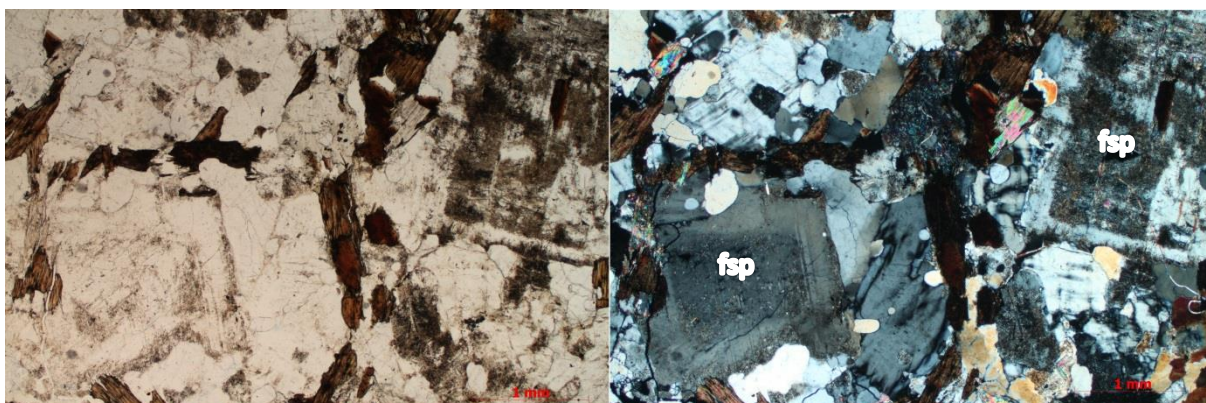


Slika 18 Listići biotita se povijaju oko zrna ostalih minerala. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Zvečevo.

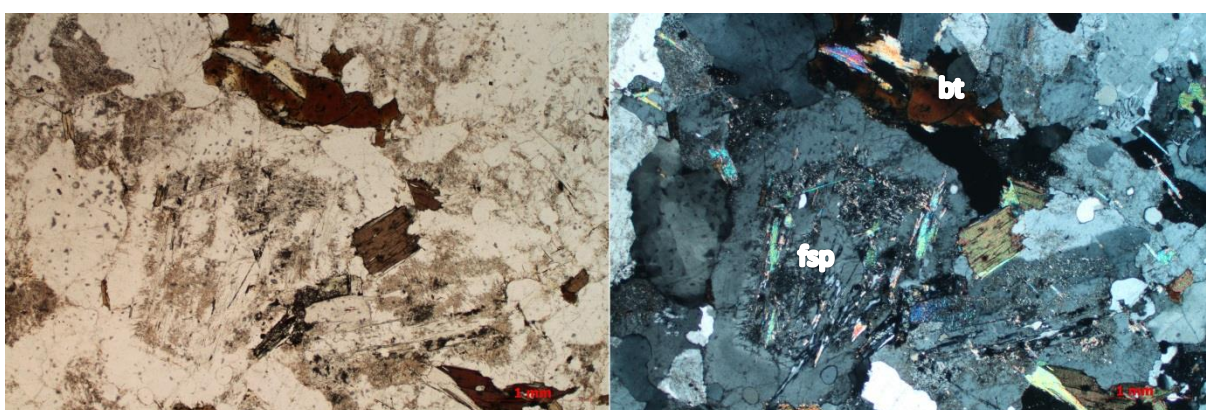


Slika 19 Listići muskovita i biotita se povijaju oko zrna ostalih minerala. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Zvečevo. Pl- plagioklas, q- kvarc.

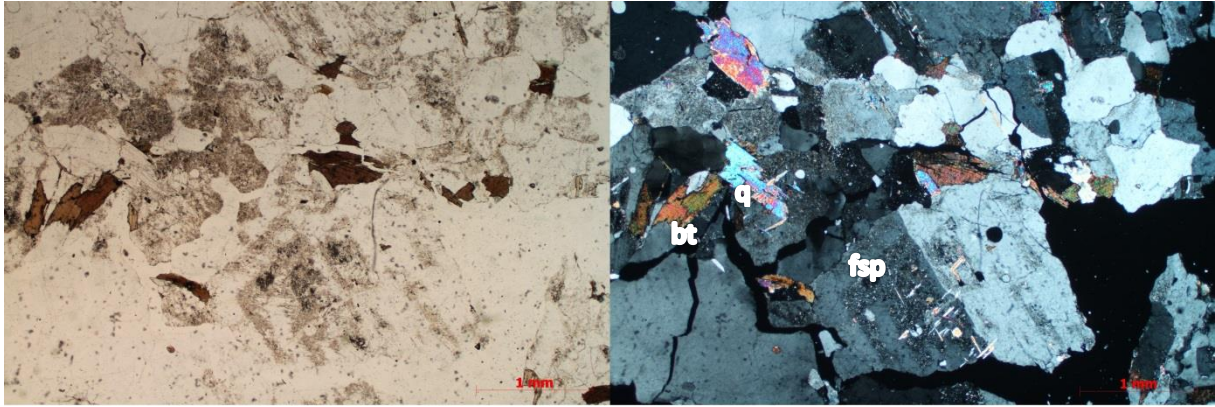
Zrna kvarca pokazuju undulozno potamnjenje, dok se na zrnima feldspata zamjećuje sericitizacija, koja započinje od središta (slika 20) te uklopci muskovita i kvarca (slike 21 i 22).



Slika 20 Sericitizacija zrna feldspata koja kreće zonalno, iz središta. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Zvečevo. Fsp- feldspat.

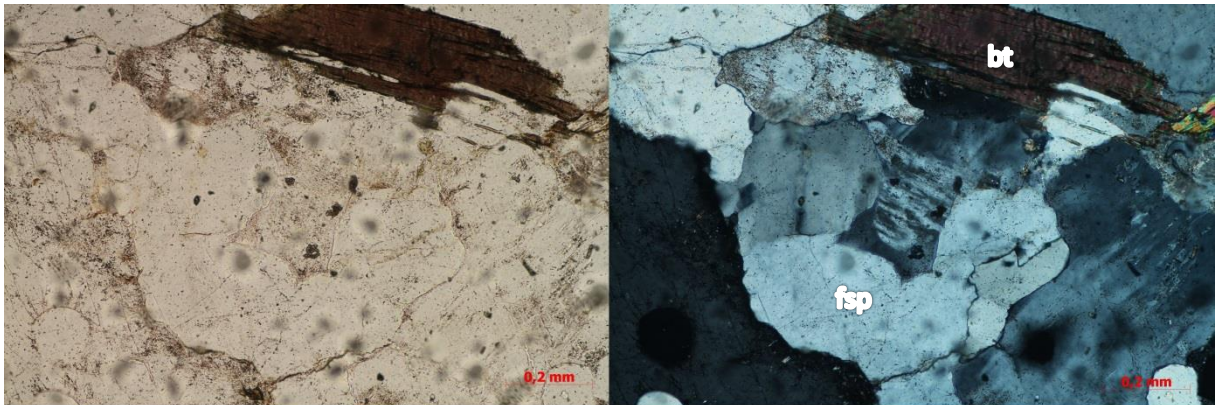


Slika 21 Sericitizacija zrna feldspata koja kreće iz središta, a vidljivi su i uklopci tinjaca (žive interferencijske boje) i kvarca u istom zrnju. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Zvečevo. Fsp- feldspat, bt- biotit.

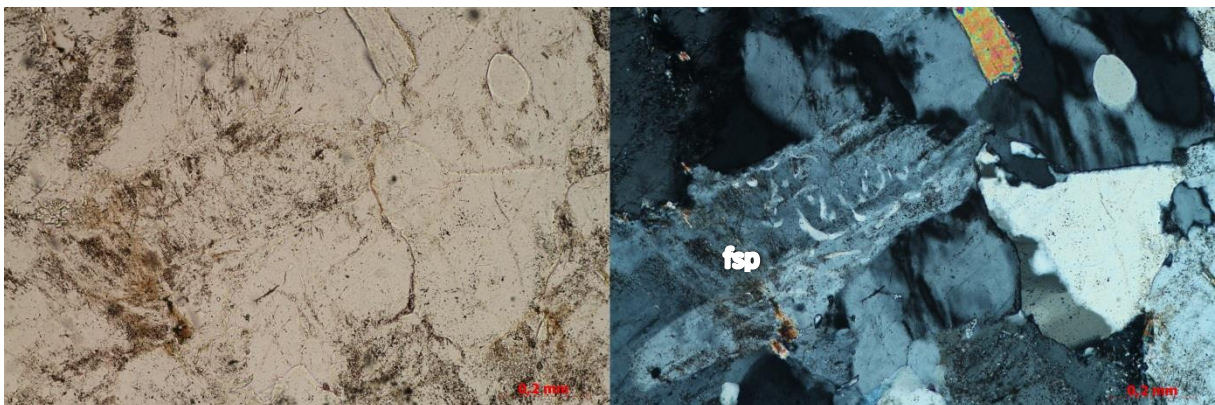


Slika 22 Sericitizacija zrna feldspata koja kreće iz središta, a vidljivi su i uklopici tinjaca i kvarca u istom zrnju. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Zvečevo. Bt- biotit, fsp- feldspat, q- kvarc.

Također, zamjećeno je i nekoliko zrna s mirmekitskom strukturom (slike 23 i 24), tj. crvoliko proraštanje kvarca u feldspatu.

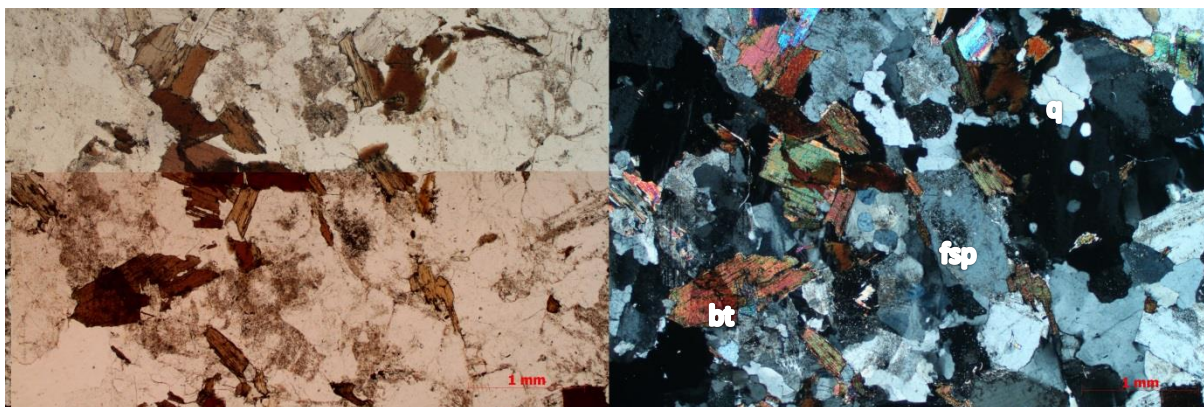


Slika 23 Detalj zrna s mirmekitskom strukturom. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Zvečevo. bt- biotit, fsp- feldspat.



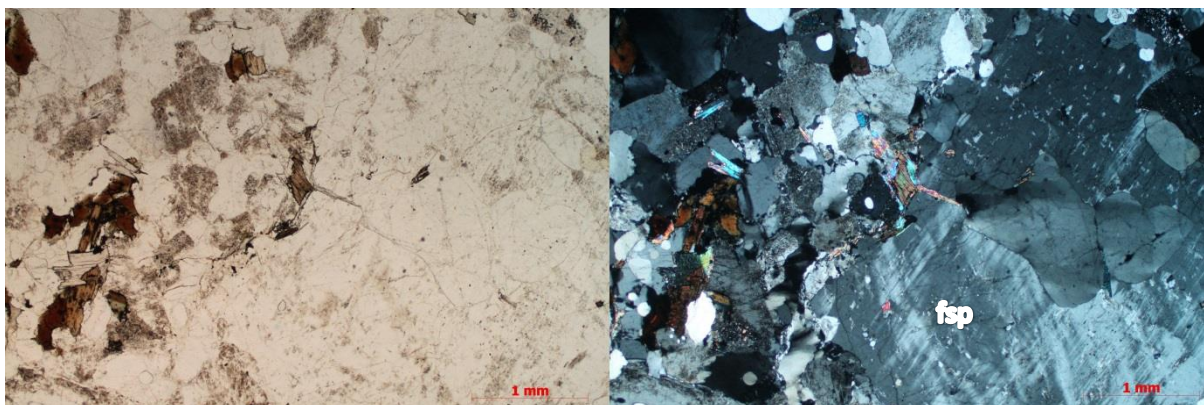
Slika 24 Detalj zrna s mirmekitskom strukturom. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Zvečevo. fsp- feldspat.

Na pojedinim zrnima biotita zamjećene su točkice (slika 25), što bi moglo uputiti na začetak procesa sericitizacije.



Slika 25 Točkice na biotitu koje upućuju na početak sericitizacije. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Zvečevo. bt- biotit, fsp- feldspat, q- kvarc.

U većim zrnima feldspata zamjećene su deformacijske sraslačke lamele (slika 26), što može upućivati na to da je uzorak bio pod utjecajem dinamičkog tlaka nakon kristalizacije zrna.



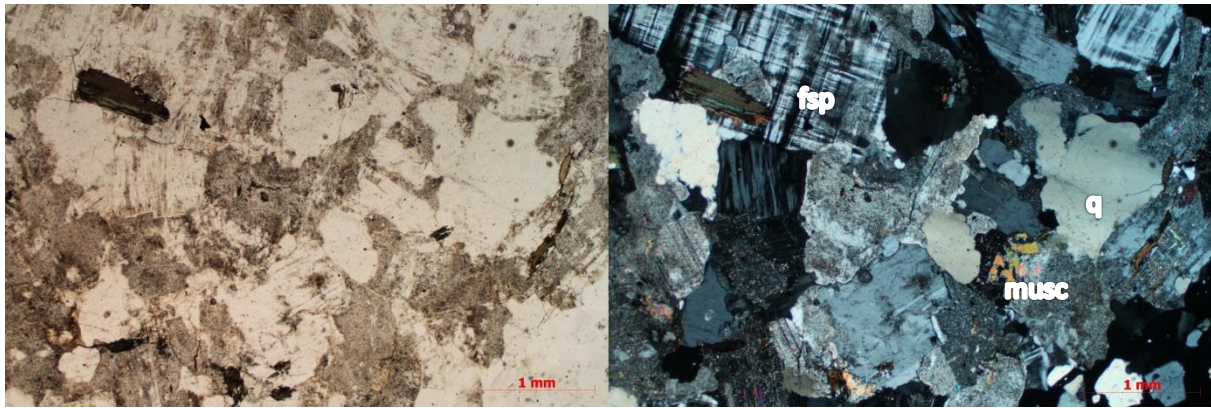
Slika 26 Deformacijske sraslačke lamele na zrnima feldspata. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Zvečevo. fsp- feldspat.

Za uzorke s lokaliteta Zvečevo određeno je da je riječ o granitu.

4.2.4. KOTURIĆ G

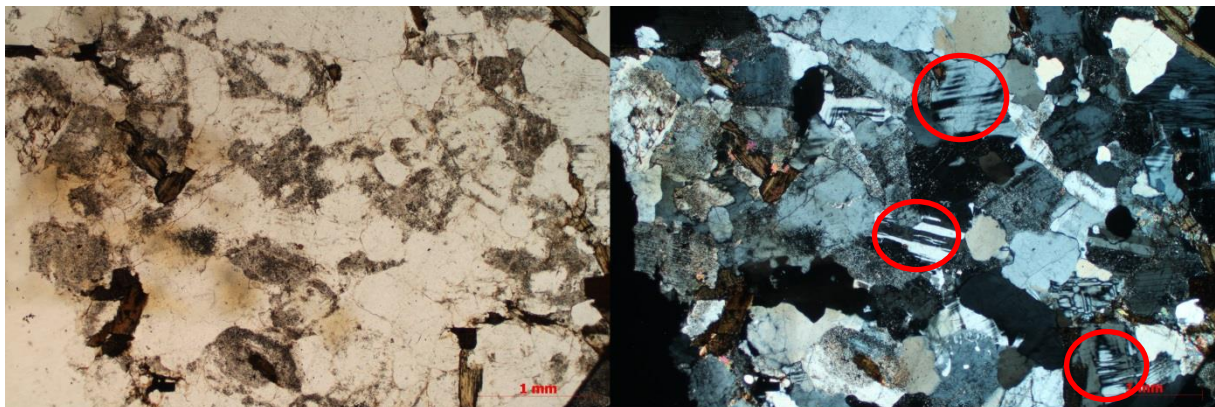
Tekstura uzorka je homogena, dok je struktura zrnata. Procijenjeni udjeli pojedinih mineralnih zrna iznose: mikroklin 45 vol%, kvarc 35 vol%, plagioklas 20 vol%, biotit 8 vol% i muskovit 2 vol%.

U uzorku nije primjećena preferirana orijentacija zrna, a većina zrna je u potpunosti sericitizirana (slika 27).



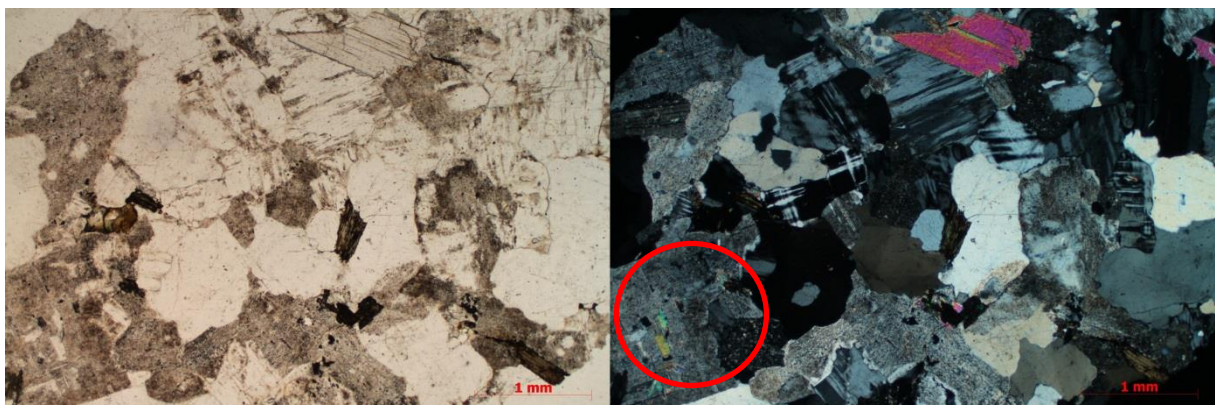
Slika 27 Zrna su uvelike sericitizirana. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Koturić G. Fsp- feldspat, musc- muskovit, q- kvarc.

Na zrnima feldspata primjećeno je undulozno potamnjenje te je na manjem broju i povijanje sraslačkih lamela (slika 28).



Slika 28 Povijanje sraslačkih lamela na nekoliko zrna feldspata (zaokruženo). N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Koturić G.

Isto tako, na većem sericitiziranom zrnju uočeni su uklopci tinjaca u smjerovima sraslačkih lamela (slika 29).



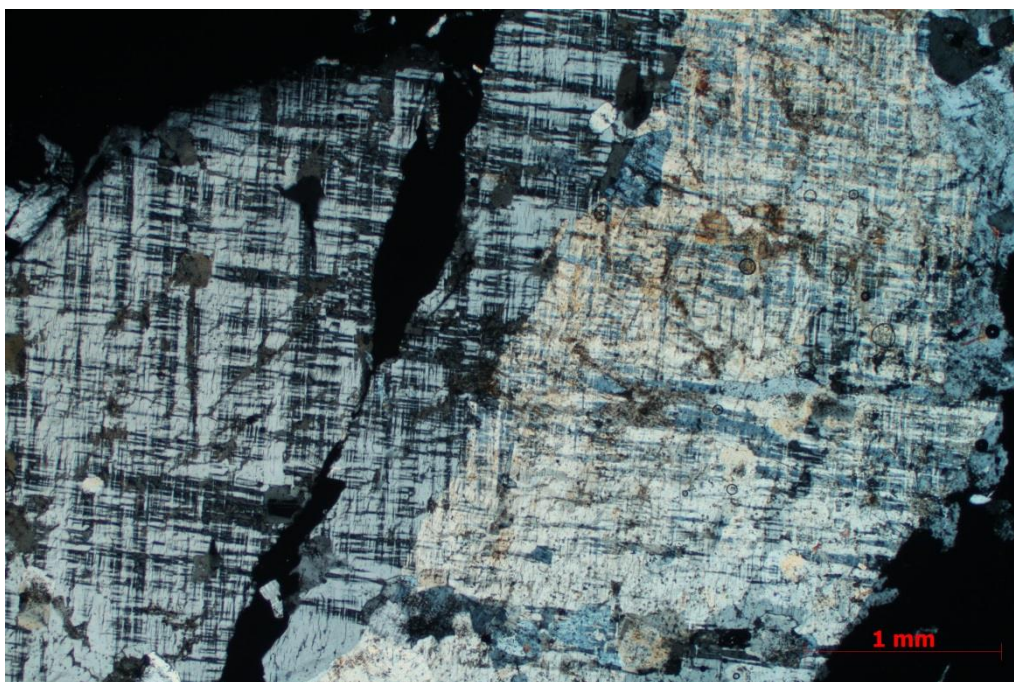
Slika 29 Na velikom sericitiziranom zrnju nalaze se uklopljeni tinjci (muskovit) u smjerovima sraslačkih lamela (zaokruženo). N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Koturić G.

Za uzorke s lokaliteta Koturić G utvrđeno je da se radi o granitu.

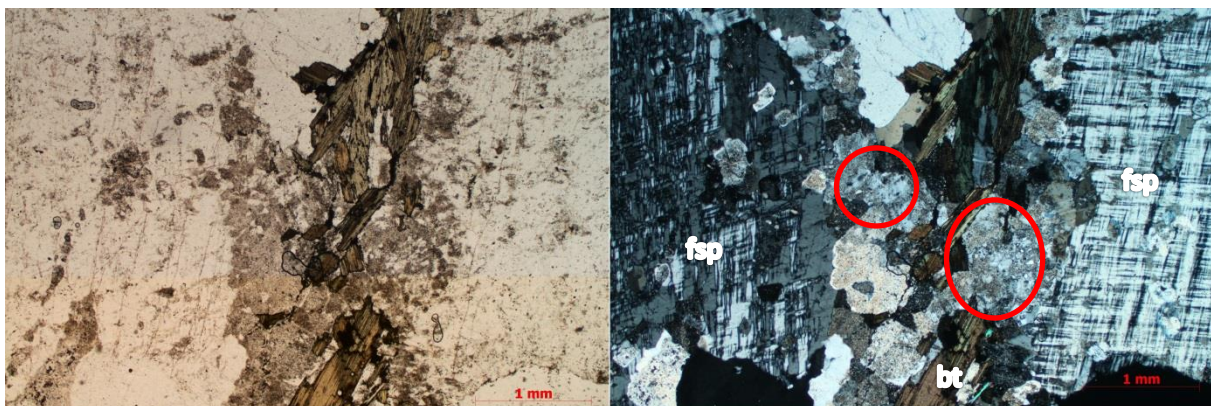
4.2.5. KOTURIĆ M

Procijenjeni udjeli pojedinih mineralnih zrna iznose: mikroklin 60 vol%, feldspati 20 vol%, kvarc 15 vol%, muskovit 3 vol% i biotit 2 vol%.

U uzorcima prevladavaju velika zrna mikrokлина (slika 30) od kojih neki sadrže uklopke drugih minerala, posebice drugih feldspata koji su većinom sericitizirani (slika 31). Osim sericitiziranih feldspata, opažaju se i uklopki kvarca koja pokazuju undulozno potamnjenje.

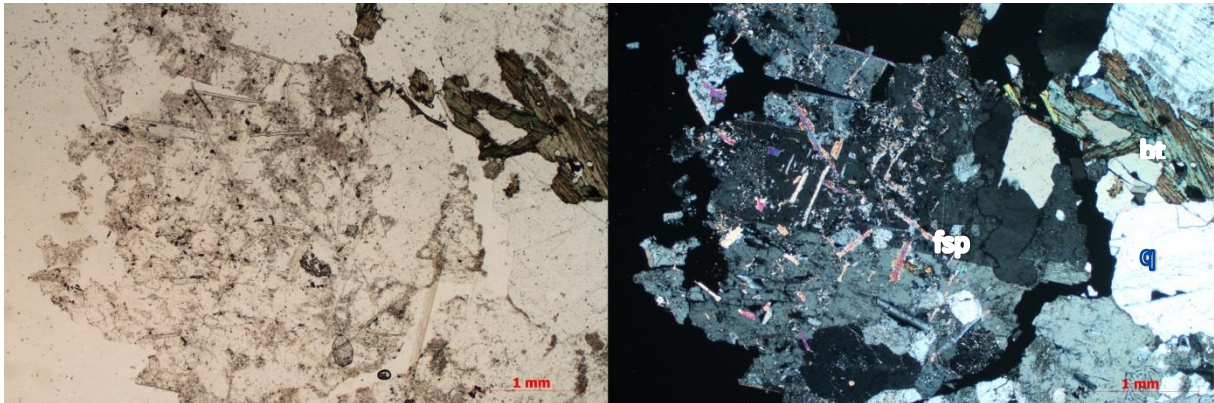


Slika 30 Veliko zrno mikrokлина koje prevladava u uzorku. N+, uzorak Koturić M.



Slika 31 Sericitizirana zrna feldspata (zaokruženo) nalaze se kao uklopki u većem zrnu mikrokлина. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Koturić M. Bt- biotit, fsp- feldspat.

Neka zrna kalijevih feldspata sadrže inkluzije muskovita koji ima štapičastu formu te su ti štapići nasumično orijentirani (slika 32).



Slika 32 Inkluzije štapičastih zrna muskovita, nasumične orijentacije, u feldspatu. N- (lijevo), N+ (desno), uzorak Koturić M. Bt- biotit, fsp- feldspat, q- kvarc.

Većina zrna u uzorcima su sericitizirana, dok se na nekim zrnima plagioklasa mogu uočiti i sraslaci.

Zbog velikih mineralnih zrna te velike količine mikroklina u uzorku, utvrđeno je da se u uzorcima s lokaliteta Koturić M radi o migmatitu.

4.3. GEOKEMIJA STIJENA

Rezultati kemijske analize analiziranih stijena prikazani su u tablici 1.

Tablica 1 Odnosi pojedinih elemenata i spojeva u stijenama. Sadržaj spojeva je izražen u tež %, dok je za elemente ppm (osim za Au koji je izražen u ppb).

Oznaka	Čarugin kamen	Koturić G	Koturić M	Zvečevo	Jankovac
SiO ₂	69,51	73,98	72,25	70,44	72,15
Al ₂ O ₃	15,39	13,46	13,52	15,02	14,14
Fe ₂ O ₃	2,65	1,10	2,53	2,40	2,48
MgO	0,69	0,27	0,45	0,88	0,66
CaO	1,78	0,52	1,16	1,62	1,80
Na ₂ O	3,63	3,13	3,47	4,08	4,00
K ₂ O	4,56	5,95	4,50	3,44	2,73
TiO ₂	0,38	0,11	0,35	0,36	0,34
P ₂ O ₅	0,18	0,09	0,13	0,14	0,19
MnO	0,03	0,02	0,04	0,04	0,04
LOI	0,9	1,2	1,4	1,4	1,3
Ba	1250	679	376	655	356
Be	1	0,5	3	2	5
Co	3,8	0,8	3,1	3,3	3,2
Cr	13,68	6,84	6,84	6,84	13,68
Cs	4,7	3	6,6	2,5	3,2
Ga	15,4	14,5	16,6	18,1	16,2
Hf	4,1	2,4	6,3	4,3	4
Nb	7,6	6,2	8,8	8,3	6,9
Rb	112,5	151,6	156,8	94,8	90,5
Sc	6	3	5	5	5
Sn	2	4	6	3	3
Sr	196,9	96,8	69,1	260,9	172,5
Ta	0,5	0,6	0,7	0,8	0,6
Th	8,9	4,7	17,9	12,1	8,8
U	2,4	2,2	3,6	2,3	5
V	12	4	14	15	11
W	0,50	0,25	0,25	1,1	0,25
Zr	154,6	68,2	200,9	151,9	154,4
Y	34,9	14,5	42,7	10	31,4
La	24,6	14,8	30,2	32,5	21,5
Ce	50,4	29,2	67,1	64,7	46,4
Pr	6,34	3,29	7,85	7,31	5,56
Nd	24,4	12,7	30,5	26,7	21,3
Sm	5,6	2,39	6,79	4,76	5,31
Eu	1,09	0,6	0,59	0,81	0,77
Gd	5,42	2,29	6,7	3,48	5,43

Tb	0,94	0,4	1,17	0,47	0,92
Dy	5,76	2,56	7,62	2,35	5,8
Ho	1,24	0,49	1,47	0,36	1,12
Er	3,32	1,33	4,26	0,77	3,23
Tm	0,46	0,21	0,64	0,10	0,47
Yb	3,10	1,25	4,11	0,67	2,56
Lu	0,43	0,2	0,55	0,07	0,38
Mo	0,05	1	0,3	0,2	0,3
Cu	6,7	2,4	4,7	1,7	3,3
Pb	24,1	8,5	5,4	10,1	5,1
Zn	52	21	45	60	35
Ni	7,3	1	3,4	3,8	5,5
As	0,6	1,1	0,8	1,6	1,8
Cd	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Sb	0,2	0,05	0,1	0,05	0,2
Bi	0,05	0,05	0,05	0,2	0,2
Ag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Au	0,25	0,25	0,25	0,25	0,8
Hg	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02
Tl	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2
Se	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Eu/Eu*	0,60	0,78	0,27	0,61	0,44
GdN/YbN	1,41	1,48	1,32	4,19	1,71
LaN/SmN	2,76	3,90	2,80	4,29	2,55
LaN/YbN	5,35	7,98	4,95	32,70	5,66
GdN	20,93	8,84	25,87	13,44	20,97
YbN	14,83	5,98	19,67	3,21	12,25
SumREE	133,10	71,71	169,55	145,05	120,75

Dalje se ti podatci obrađuju u programu GCDkit gdje se dobivaju CIPW normativni sastavi (Tablica 2). CIPW je izračunata idealizirana mineralogija stijene.

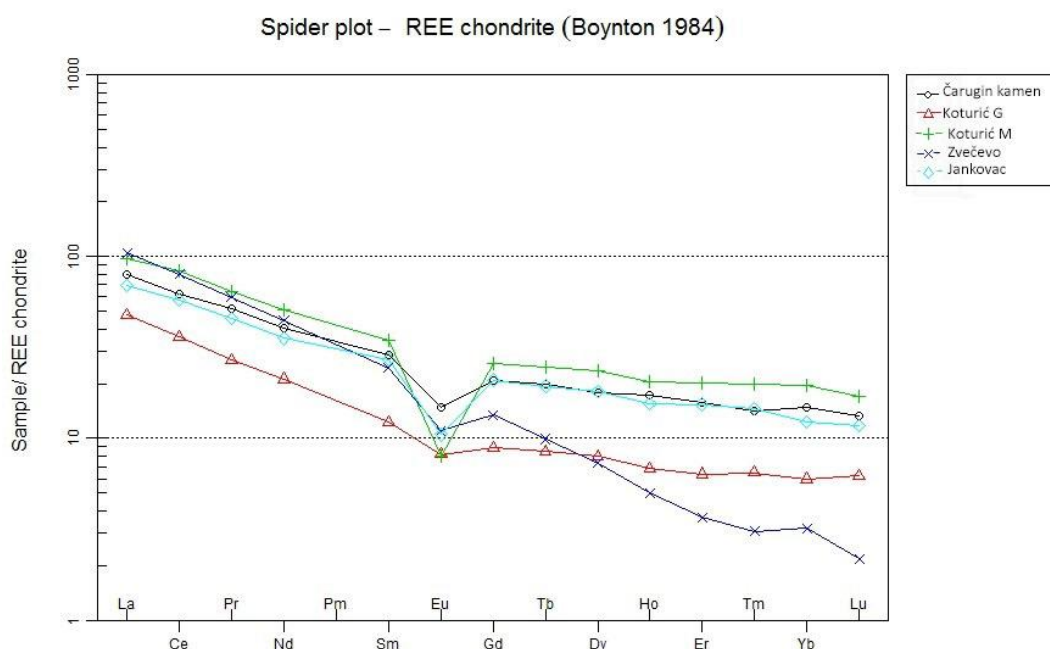
Tablica 2 CIPW normativni sastav za sve mjerene uzorke.

Oznaka	Čarugin kamen	Koturić G	Koturić M	Zvečevo	Jankovac
Q	26,61	31,74	32,05	29,15	34,13
C	1,68	1,14	1,14	1,97	1,79
Or	26,95	35,16	26,59	20,33	16,13
Ab	30,72	26,49	29,36	34,52	33,85
An	7,66	1,99	4,91	7,12	7,69
Hy	1,72	0,67	1,12	2,19	1,64
Il	0,06	0,04	0,09	0,09	0,09
Hm	2,65	1,10	2,53	2,40	2,48

Ru	0,35	0,09	0,31	0,32	0,30
Ap	0,43	0,21	0,31	0,33	0,45

Rezultati su prikazani u postocima (%). Iz tablice se vidi da kvarc ne prelazi 50% niti na jednom lokalitetu. Također, visoki su udjeli feldspata, pogotovo kalijevih feldspata i natrijskih plagioklasa.

Obrada podataka elemenata iz grupe rijetkih zemalja vrši se prikazom na multielementnim normaliziranim ("spider") dijagramima. Postoji nekoliko vrsta normalizacija, međutim u ovom radu korištena je normalizacija na hondrit prema Boynton (1984). Podaci su prikazani na slici 33.

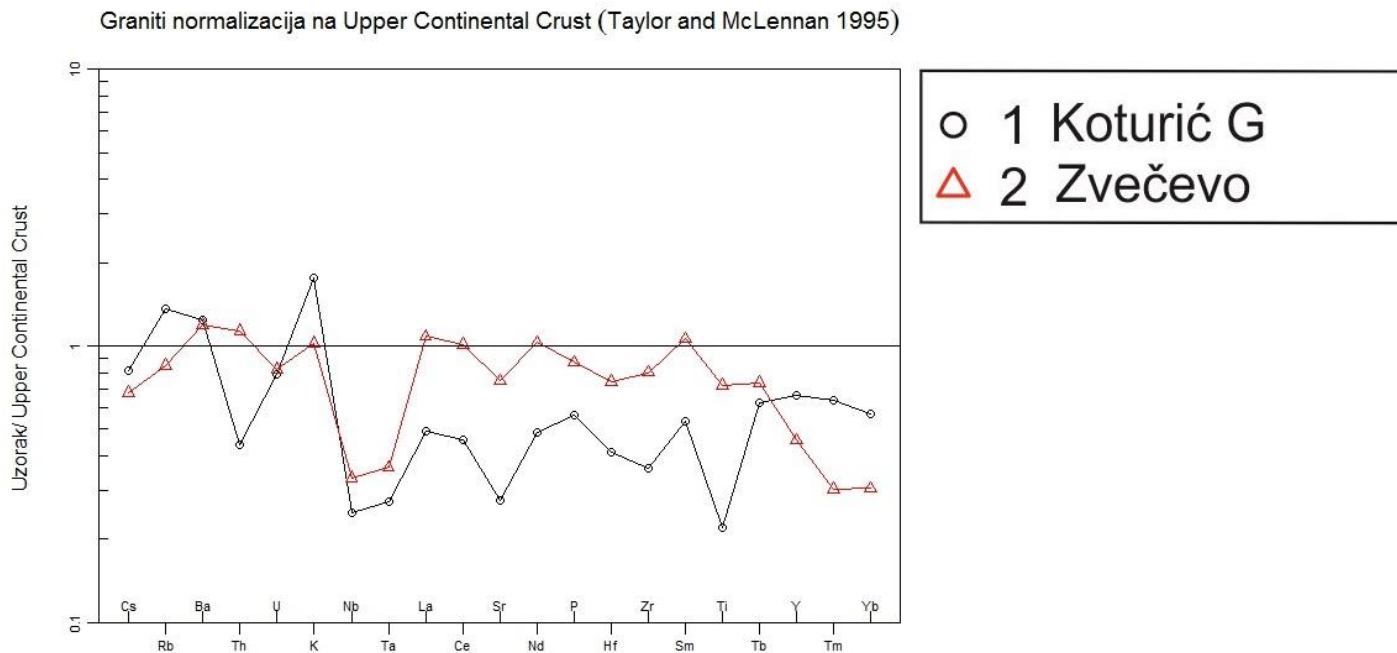


Slika 33 Spider dijagram podataka normaliziranih na hondrit.

Iz dijagrama se vidi da su svi uzorci obogaćeni lakim elementima iz grupe rijetkih zemalja s izraženom negativnom Eu anomalijom, koja je za uzorak Koturić G jako blaga.

Također, moguće je uzorke normalizirati i na kontinentalnu koru (UCC – upper continental crust). Rezultati normalizacije uzoraka granita prikazani su na slici 34. Vidljivo je da se uzorci s lokaliteta Koturić G i Zvečevo poklapaju s vrijednostima kontinentalne kore.

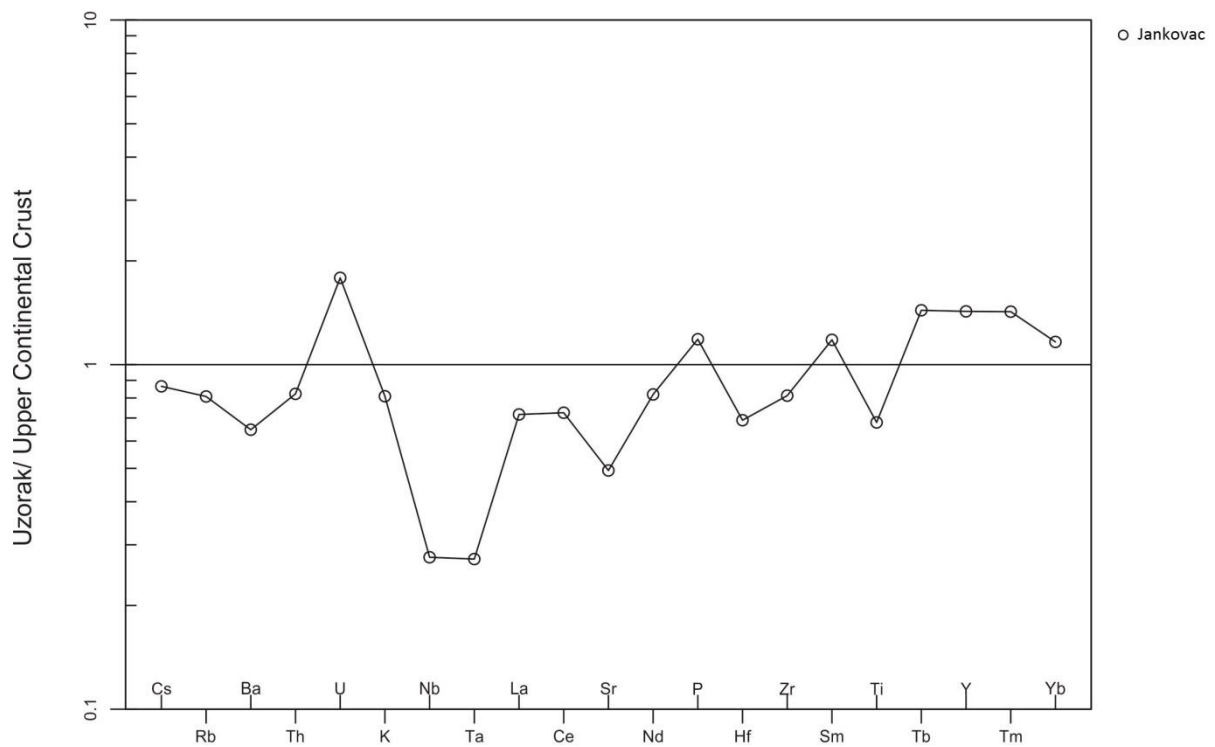
Primjećuje se malo odstupanje Nb, no to se može pripisati tome što je on mobilan element te ukazuje na doprinos kore uzorku.



Slika 34 Spider dijagram granita normaliziranih na kontinentalnu koru.

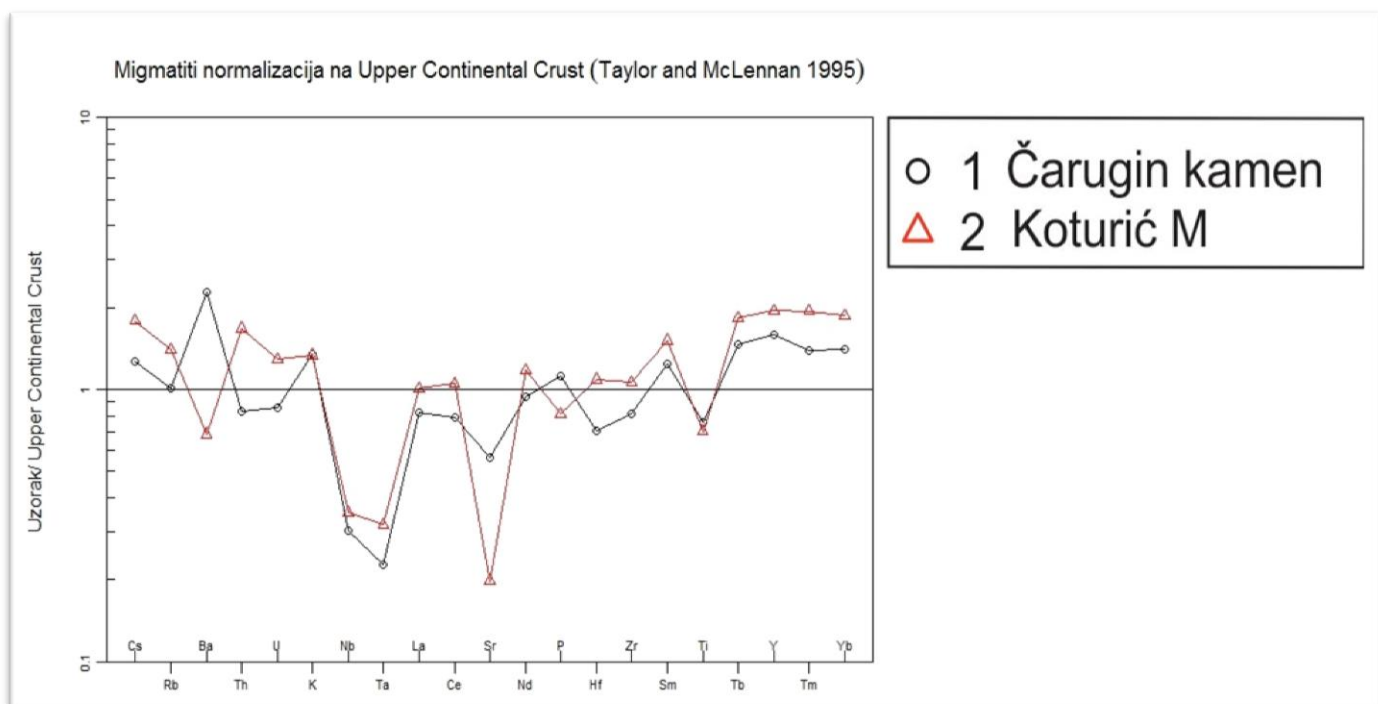
Ukoliko se uspoređuju uzorci gnajsa (slika 35), jedina veća odstupanja pokazuju Nb i Ta, dok se ostali elementi grupiraju vrlo blizu vrijednosti prosječnih vrijednosti za kontinentsku koru te se može ustvrditi kako je uzorak genetski vezan za kontinentalnu koru.

Gnajs normalizacija na Upper Continental Crust (Taylor and McLennan 1995)

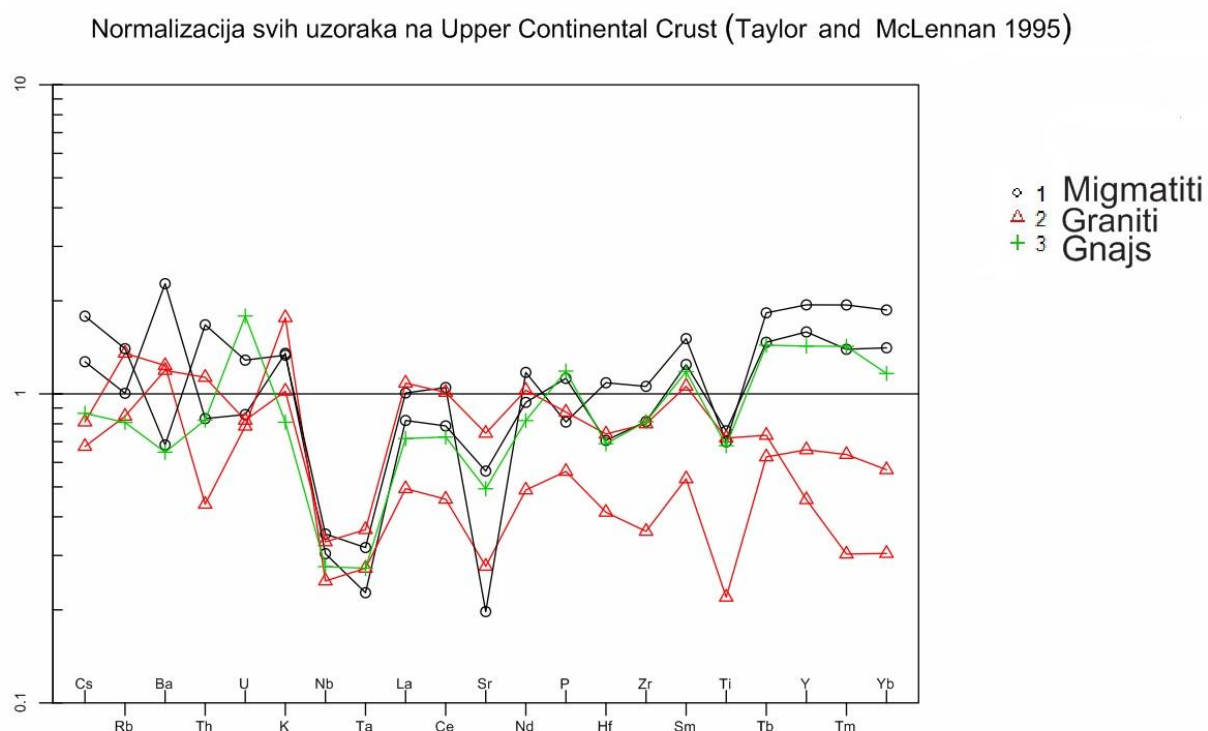


Slika 35 Spider dijagram gnajsa normaliziranog na kontinentalnu koru.

Migmatiti (slika 36) daju šarolike rezultate. Dok oba uzorka obrađena u ovome radu imaju manje vrijednosti Nb i Ta u jednakoj mjeri, Čarugin kamen sadrži veće količine Ba, dok Koturić M manje Sr.



Slika 36 Spider dijagram migmatita normaliziranih na kontinentalnu koru.



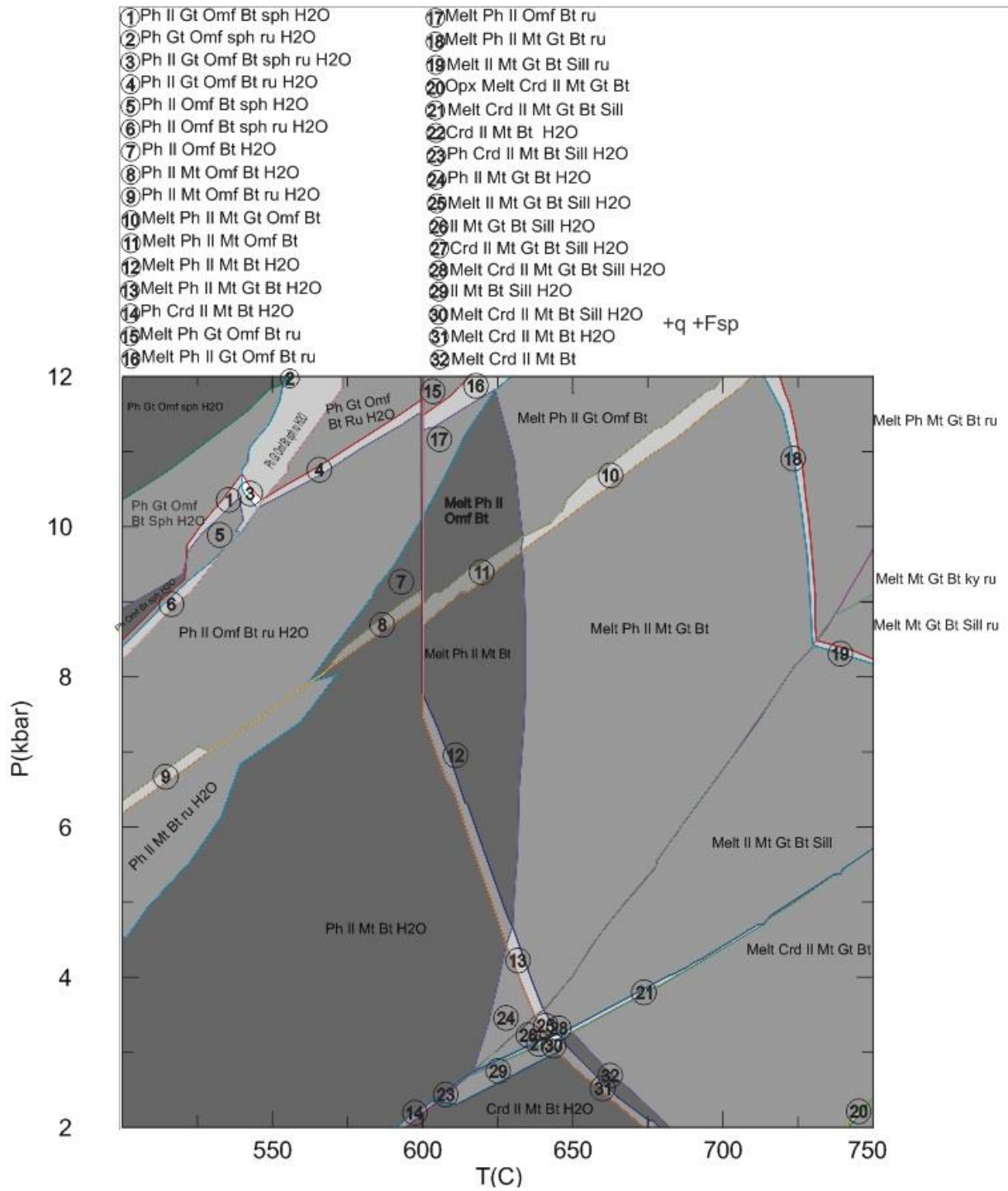
Slika 37 Spider dijagram migmatita, granita i gnajseva normaliziranih na kontinentalnu koru.

Ukoliko se svi grupirani uzorci prikažu na jednom dijagramu (slika 37), normalizirani na UCC, primjećuje se veliko poklapanje kod svih. Jedinu veću razliku pokazuju graniti koji su osiromašeniji na REE od UCC, no što su migmatiti i gnajsevi.

4.4. GEOTERMOBAROMETRIJA

4.4.1. KOTURIĆ G

Na slici 38 prikazani su konačni produkti izračuna polja stabilnosti mineralnih zajednica dobivenih pomoću Perple_X-a za uzorak granita s lokaliteta Koturić. Raspon izračunatih temperatura i tlakova kreće se između vrijednosti 500 i 750°C te 2 – 12 kbar. Primjenjujući mikroskopska opažanja i izmjerene vrijednosti dobivene mikroprobom, moguće je odrediti tlakove i temperature za karakteristične točke te odrediti okvirni p - T put koji je prošla istraživana stijena.



Slika 38 Prikaz izračunatog pseudopresjeka sa označenim nazivima mineralnih parageneza za uzorak Koturić G.

Tablica 3 Rezultati kemijske analize na zrnima muskovita u granitu s lokaliteta Koturić (H₂O dobiven računski).

Koturić A	2	4	6	13	14	15
SiO ₂	47,28	46,95	46,75	46,85	45,54	46,53
TiO ₂	1,53	0,63	0,81	0,79	0,33	0,85
Al ₂ O ₃	30,46	29,51	32,69	32,11	34,47	32,91
FeO	3,68	4,44	2,88	3,25	2,60	2,74
MnO	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04
MgO	1,32	1,62	1,07	1,09	0,66	0,97
CaO	0,00	0,00	0,03	0,04	0,02	0,04
Na ₂ O	0,22	0,51	0,51	0,48	0,60	0,56
K ₂ O	11,21	11,15	10,79	11,01	10,80	10,86
H ₂ O*	4,45	4,38	4,47	4,46	4,45	4,46
Total	100,22	99,27	100,05	100,13	99,52	99,95
Fe/Fe+Mg	0,61	0,61	0,60	0,63	0,69	0,61
Si	6,37	6,42	6,27	6,30	6,14	6,25
Al iv	1,63	1,58	1,73	1,70	1,86	1,75
Al vi	3,22	3,18	3,44	3,39	3,62	3,46
Ti	0,16	0,06	0,08	0,08	0,03	0,09
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,42	0,51	0,32	0,37	0,29	0,31
Mn	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,26	0,33	0,21	0,22	0,13	0,19
Na	0,06	0,14	0,13	0,12	0,16	0,14
K	1,93	1,95	1,85	1,89	1,86	1,86
OH*	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
TOTAL	18,04	18,17	18,05	18,08	18,10	18,06
Al total	4,84	4,76	5,17	5,09	5,48	5,21

Kombinirajući izoplete dobivene Perple_X-om s rezultatima kemijske analize muskovita (tablica 3) moguće je odrediti točku taljenja ili kristalizacije granita (slika 41). Kemijskom analizom određen je udio Si u bijelom tinjcu u rasponu vrijednosti od 3,07-3,21 apfu ('atoms per formula unit') iz tablice 3 (slike 39 i 40).

$$Si_{(\min)} = \frac{6,14}{2} = 3,07$$

Slika 39 Račun minimalne vrijednosti Si u bijelom tinjcu iz tablice 3.

$$Si_{(max)} = \frac{6,42}{2} = 3,21$$

Slika 40 Račun maksimalne vrijednosti Si u bijelom tinjcu iz tablice 3.

Točka I nalazi se u presjecištu izolinije maksimalne vrijednosti Si (3,21), niže vrijednosti An u plagioklasu (tablica 4- lijevo) te izolinija taljevine. Točka II, dobivena je presjecanjem izolinije minimalne vrijednosti Si (3,07), veće vrijednosti An u plagioklasu (tablica 4-desno) temperature dobivene na temelju sadržaja Ti u biotitu (tablica 6) te izolinija taljevine. Moguće je, potom, odrediti i odgovarajuće tlakove i temperature koje iznose 8 kbar i 600°C za točku (I) koja odgovara početku taljenja te 3 kbar i 651°C za točku (II) koja odgovara početku kristalizacije stijene.

Tablica 4 Rezultati kemijske analize na zrnima plagioklasa u granitu s lokaliteta Koturić.

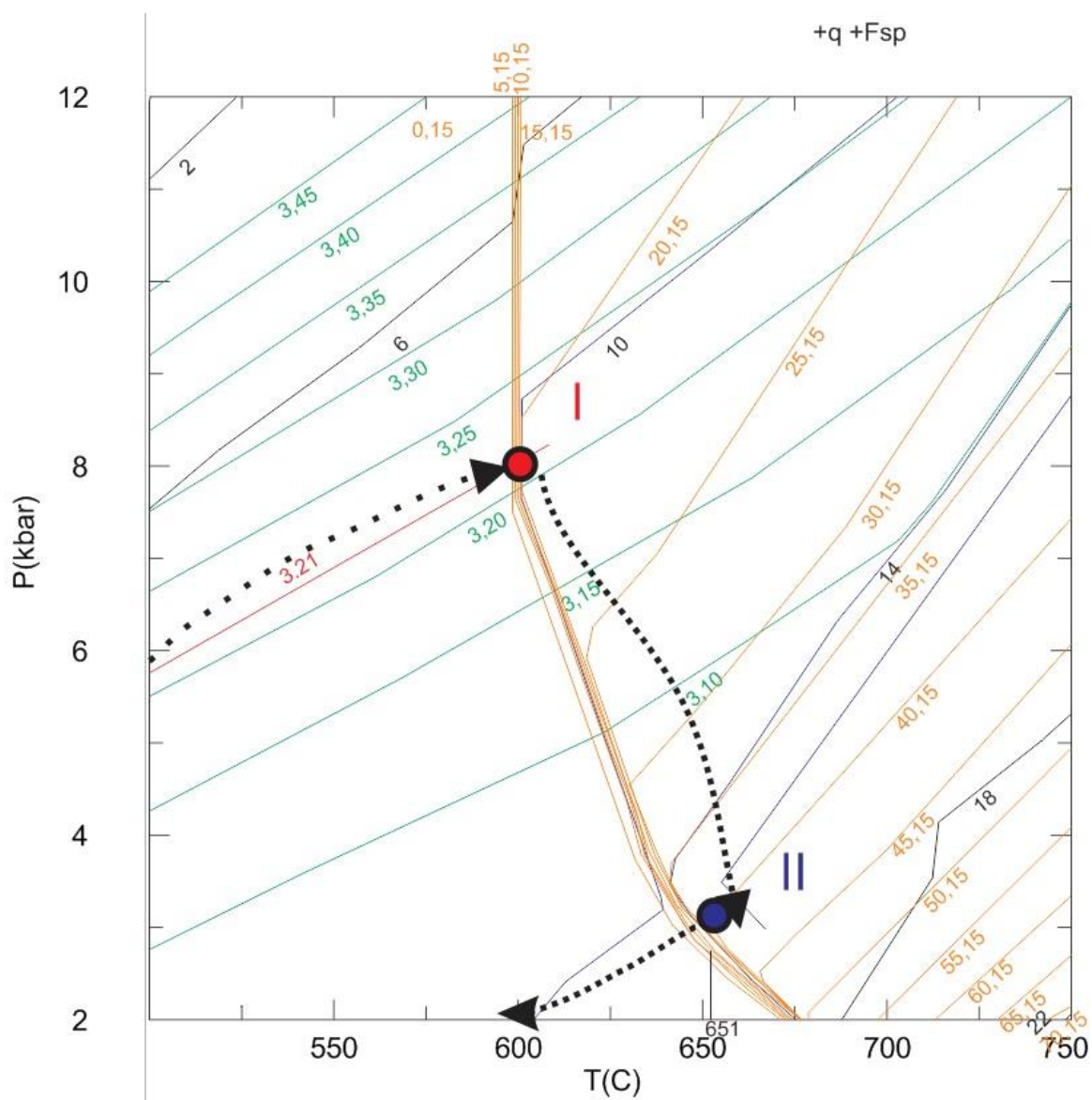
Normalized Analysis KOT 7						Normalized Analysis KOT19					
oxide	wt %	cations	atoms	end	mole	oxide	wt %	cations	atoms	end	mole
				membe	%					membe	%
SiO ₂	66,45	Si	2,91	An	10,37	SiO ₂	65,12	Si	2,85	An	15,09
TiO ₂	0,00	Ti	0,00	Ab	89,16	TiO ₂	0,00	Ti	0,00	Ab	83,86
Al ₂ O ₃	21,04	Al	1,09	Or	0,48	Al ₂ O ₃	22,31	Al	1,15	Or	1,05
Cr ₂ O ₃	0,00	Cr	0,00			Cr ₂ O ₃	0,00	Cr	0,00		
Fe ₂ O ₃	0,00	Fe ₃	0,00	*based on Ca,		Fe ₂ O ₃	0,00	Fe ₃	0,00	*based on Ca,	
FeO	0,04	Fe ₂	0,00	Na, K ratios only		FeO	0,04	Fe ₂	0,00	Na, K ratios only	
MnO	0,00	Mn	0,00			MnO	0,00	Mn	0,00		
MgO	0,00	Mg	0,00	Si+Ti+A	4,00	MgO	0,00	Mg	0,00	Si+Ti+A	4,01
CaO	2,20	Ca	0,10	ideal =	4,00	CaO	3,19	Ca	0,15	ideal =	4,00
BaO	0,00	Ba	0,00			BaO	0,00	Ba	0,00		
Na ₂ O	10,46	Na	0,89	Ca+Na+	1,00	Na ₂ O	9,79	Na	0,83	Ca+Na+	0,99
K ₂ O	0,08	K	0,00	ideal =	1,00	K ₂ O	0,19	K	0,01	ideal =	1,00
		tot. cat	5,00					tot. cat.	5,00		
total	100,27	tot. oxy	8,01			total	100,65	tot. oxy	8,01		

Tablica 5 Rezultati kemijske analize na zrnima biotita u granitu s lokaliteta Koturić.

Koturić A	1	3	5	10	11	12
SiO ₂	34,93	35,12	35,00	34,01	34,66	35,04
TiO ₂	2,70	2,93	2,69	3,13	2,30	3,32
Al ₂ O ₃	16,84	16,59	16,38	17,14	16,50	16,80
FeO	25,95	26,88	26,46	26,40	26,62	27,16
MnO	0,44	0,53	0,43	0,46	0,44	0,47
MgO	5,90	5,23	5,82	5,04	5,69	5,19
CaO	0,07	0,01	0,06	0,02	0,02	0,03
Na ₂ O	0,25	0,23	0,05	0,07	0,25	0,25
K ₂ O	9,66	9,68	9,55	9,66	9,70	9,72
F	0,16	0,17	0,21	0,20	0,19	0,18
Cl	0,03	0,03	0,03	0,01	0,04	0,04
H ₂ O*	3,79	3,79	3,75	3,71	3,72	3,81
O=F,Cl	0,07	0,08	0,10	0,08	0,09	0,08
Total	101,12	101,61	100,85	99,98	100,45	102,42
Si	5,41	5,44	5,45	5,36	5,43	5,39
Al iv	2,59	2,56	2,55	2,64	2,57	2,61
Al vi	0,49	0,46	0,45	0,54	0,48	0,43
Ti	0,32	0,34	0,31	0,37	0,27	0,38
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	3,36	3,48	3,44	3,48	3,49	3,49
Mn	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06
Mg	1,36	1,21	1,35	1,18	1,33	1,19
Ca	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
Na	0,08	0,07	0,02	0,02	0,08	0,07
K	1,91	1,91	1,90	1,94	1,94	1,91
OH*	3,91	3,91	3,89	3,90	3,89	3,90
F	0,08	0,08	0,10	0,10	0,10	0,09
Cl	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
TOTAL	19,87	19,86	19,85	19,73	19,90	19,85
Y total	5,88	5,88	5,93	5,76	5,88	5,87
X total	2,00	1,98	1,92	1,97	2,02	1,99
Al total	3,08	3,03	3,00	3,18	3,05	3,04
Fe/Fe+Mg	0,71	0,74	0,72	0,75	0,72	0,75

Tablica 6 Izračunata temperatura dobivena na temelju sadržaja Ti u biotitu. a, b i c su unaprijed određeni parametri (Henry et al., 2005), Ti je srednja vrijednost Ti u biotitu iz tablice 5, a $X(\text{Mg}) = \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$, također iz tablice 5.

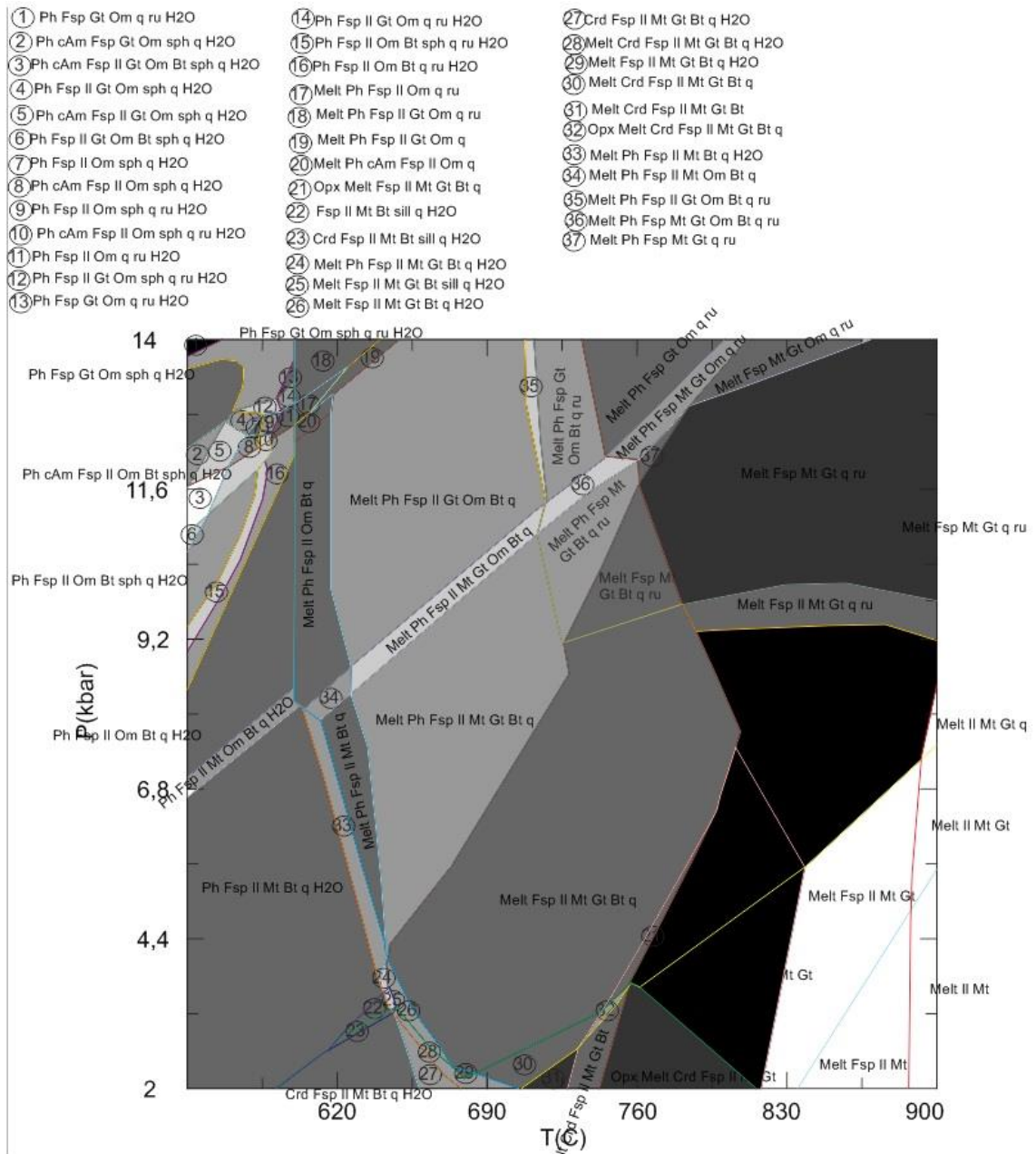
	a	b	c	Ti	X(Mg)	T(C)	
1	-2,36	4,648E-09	-1,73	0,32	0,29	647,54	
3	-2,36	4,648E-09	-1,73	0,34	0,26	655,79	
5	-2,36	4,648E-09	-1,73	0,31	0,28	641,33	
10	-2,36	4,648E-09	-1,73	0,37	0,25	669,06	
11	-2,36	4,648E-09	-1,73	0,27	0,28	616,28	T(C) AVG
12	-2,36	4,648E-09	-1,73	0,38	0,25	673,30	650,55



Slika 41 p-T put granita. Zelene linije označavaju izoplete Si u fengitu; narančasto su izoplete vol% taljevine te crno su mol% An u Pl.

4.4.2. KOTURIĆ M

U slučaju Koturić M, na slici 42 prikazani su konačni produkti izračuna stabilnosti mineralnih zajednica dobivenih pomoću Perple_X-a. Raspon izračunatih temperatura i tlakova kreće se između 550 i 900°C te 2 i 14 kbara. Primjenjujući mikroskopska opažanja i izmjerene vrijednosti dobivene mikroprobom, moguće je odrediti tlakove i temeprature za karakteristične točke te odrediti okvirni p-T put. Točka I dobivena je na temelju izračunate temperature dva feldspata pri tlaku od 10 kbara (tablica 7) koja iznosi 590°C. Točka II se nalazi u presjecištu, izolinije maksimalne vrijednosti Si u bijelom tinjcu (3,29) (slika 43) i izolinija taljevine te ona označava početak taljenja (10 kbar pri 615°C). Točka III se nalazi u presjecištu temperature dobivene na temelju sadržaja Ti u biotitu (634°C) (tablica 9), izolinije minimalne vrijednosti Si u bijelom tinjcu (3,1) (slika 44) i izolinija taljevine, i označava početak kristalizacije (5 kbar pri 634°C). Na taj način dobiven je okvirni p - T reakcijski put migmatita (slika 45).



Slika 42 Prikaz izračunatih pseudopresjeka s označenim nazivima mineralnih parageneza za uzorak Koturić M.

Tablica 7 Izračunate temperature za zadane tlakove na dva feldspata.

Two-Feldspar Temperatures - Putirka (2008) RiMG			
			Global regression
Experiment	Eqn 27a	Eqn 27b	(42 Experiments)
P (GPa)	T(C)	T(C)	T(C)
0,4	391,0652	408,3023	587,4992069
0,5	391,2146	408,6448	587,8359262
0,8	391,6632	409,6723	588,848404
1,0	392,263	411,0422	590,2038122

Tablica 8 Rezultati kemijske analize na zrnima biotita u migmatitu s lokaliteta Koturić.

Koturić M	2	8	14	15	17	19
SiO ₂	34,91	34,76	34,63	34,16	34,89	34,92
TiO ₂	3,05	2,79	1,90	3,12	2,06	2,93
Al ₂ O ₃	16,97	16,54	16,82	16,89	16,86	16,19
FeO	26,36	27,33	27,60	27,81	26,92	27,89
MnO	0,45	0,46	0,41	0,43	0,39	0,43
MgO	5,34	5,01	5,30	4,83	5,75	5,26
CaO	0,02	0,03	0,04	0,04	0,06	0,07
Na ₂ O	0,05	0,03	0,28	0,45	0,71	1,16
K ₂ O	9,70	9,57	9,57	9,55	9,53	9,55
F	0,29	0,12	0,44	0,23	0,12	0,16
Cl	0,03	0,04	0,06	0,04	0,05	0,05
Cr ₂ O ₃	0,00	0,02	0,00	0,02	0,05	0,02
NiO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
H ₂ O*	3,72	3,77	3,60	3,72	3,80	3,80
O=F,Cl	0,13	0,06	0,20	0,11	0,06	0,08
Total	101,22	100,83	100,83	101,44	101,62	102,81
Si	5,41	5,43	5,43	5,34	5,41	5,39
Al iv	2,59	2,57	2,57	2,66	2,59	2,61
Al vi	0,51	0,48	0,53	0,45	0,49	0,33
Ti	0,36	0,33	0,22	0,37	0,24	0,34
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Fe	3,42	3,57	3,62	3,63	3,49	3,60
Mn	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06
Mg	1,23	1,17	1,24	1,13	1,33	1,21
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Na	0,01	0,01	0,09	0,13	0,21	0,35
K	1,92	1,91	1,91	1,90	1,88	1,88
OH*	3,85	3,93	3,77	3,87	3,93	3,91
F	0,14	0,06	0,22	0,12	0,06	0,08
Cl	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
TOTAL	19,80	19,80	19,92	19,84	20,00	20,06
Y total	5,86	5,88	5,91	5,79	5,89	5,82
X total	1,93	1,92	2,01	2,05	2,11	2,24
Al total	3,10	3,05	3,11	3,11	3,08	2,94
Fe/Fe+Mg	0,73	0,75	0,75	0,76	0,72	0,75

Tablica 9 Izračunata temperatura dobivena na temelju sadržaja Ti u biotitu. a, b i c su unaprijed određeni parametri (Henry et al., 2005), Ti je srednja vrijednost Ti u biotitu iz tablice 8, a $X(\text{Mg}) = \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$, također iz tablice 8.

	a	b	c	Ti	X(Mg)	T(C)	
2	-2,36	4,65E-09	-1,73	0,36	0,27	665,78	
8	-2,36	4,65E-09	-1,73	0,33	0,25	650,20	
14	-2,36	4,65E-09	-1,73	0,22	0,25	572,52	
15	-2,36	4,65E-09	-1,73	0,37	0,24	668,56	
17	-2,36	4,65E-09	-1,73	0,24	0,28	593,19	T(C) AVG
19	-2,36	4,65E-09	-1,73	0,34	0,25	655,23	634,25

Tablica 10 Rezultati kemijske analize na zrnima muskovita u migmatitu s lokaliteta Koturić (H₂O dobiven računski).

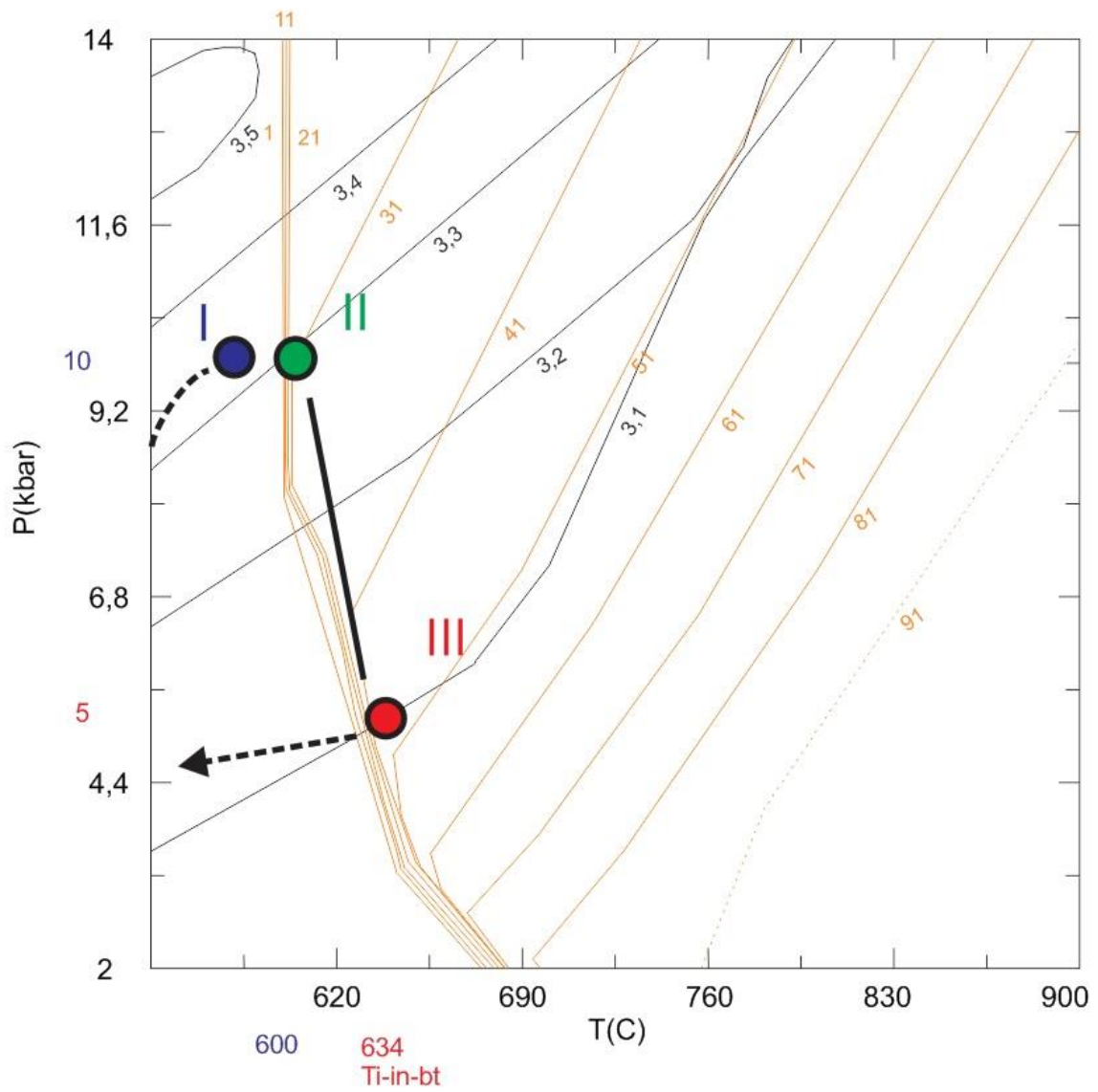
Koturić M	1	10	11	12	13	16	18	20
SiO ₂	45,95	48,17	46,40	46,85	48,28	47,26	47,41	46,67
TiO ₂	1,31	0,20	0,20	0,29	0,03	1,12	1,18	0,88
Al ₂ O ₃	32,27	27,58	34,01	33,71	27,36	31,31	30,84	32,69
FeO	3,00	6,18	2,84	2,80	6,36	3,53	4,11	2,68
MnO	0,02	0,10	0,01	0,03	0,11	0,04	0,05	0,02
MgO	1,13	2,16	0,92	0,95	2,14	1,24	1,41	1,01
CaO	0,00	0,04	0,01	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01
Na ₂ O	0,45	0,01	0,43	0,69	0,47	0,53	0,38	0,49
K ₂ O	10,74	10,98	10,96	11,06	11,12	11,04	10,90	10,64
H ₂ O*	4,42	4,38	4,48	4,50	4,40	4,47	4,47	4,46
Total	99,33	99,82	100,29	100,93	100,40	100,55	100,84	99,59
Si	6,22	6,58	6,21	6,24	6,59	6,34	6,36	6,28
Al iv	1,78	1,42	1,79	1,76	1,41	1,66	1,64	1,72
Al vi	3,37	3,03	3,57	3,52	2,99	3,29	3,23	3,46
Ti	0,13	0,02	0,02	0,03	0,00	0,11	0,12	0,09
Fe	0,34	0,71	0,32	0,31	0,73	0,40	0,46	0,30
Mn	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Mg	0,23	0,44	0,18	0,19	0,44	0,25	0,28	0,20
Na	0,12	0,00	0,11	0,18	0,12	0,14	0,10	0,13
K	1,85	1,92	1,87	1,88	1,93	1,89	1,86	1,83
OH*	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
TOTAL	18,05	18,13	18,08	18,12	18,24	18,08	18,07	18,02
Y total	4,08	4,21	4,10	4,06	4,17	4,05	4,10	4,06
X total	1,97	1,92	1,98	2,06	2,06	2,03	1,97	1,95
Al total	5,15	4,44	5,36	5,29	4,40	4,95	4,87	5,18
Fe/Fe+Mg	0,60	0,62	0,63	0,62	0,62	0,62	0,62	0,60

$$Si(\max) = \frac{6,59}{2} = 3,29$$

Slika 43 Račun maksimalne vrijednosti Si u bijelom tinjcu iz tablice 10.

$$Si(\min) = \frac{6,21}{2} = 3,1$$

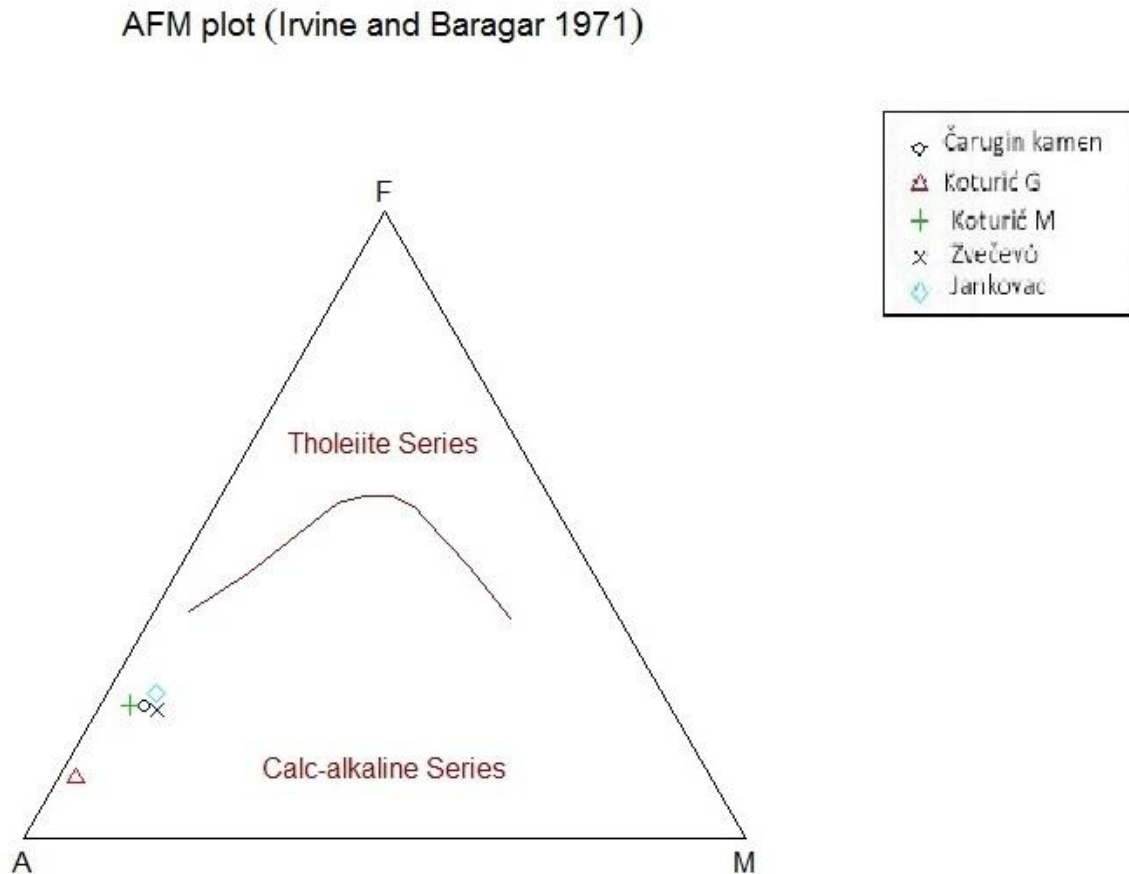
Slika 44 Račun minimalne vrijednosti Si u bijelom tinjcu iz tablice 10.



Slika 45 Pretpostavljeni p-T put migmatita. Narančasto su prikazane izoplete vol% taljevine, a crno udio Si u fengitu.

5. RASPRAVA

Na temelju mineralnog sastava stijene moguće je klasificirati stijenu kojoj seriji pripada.

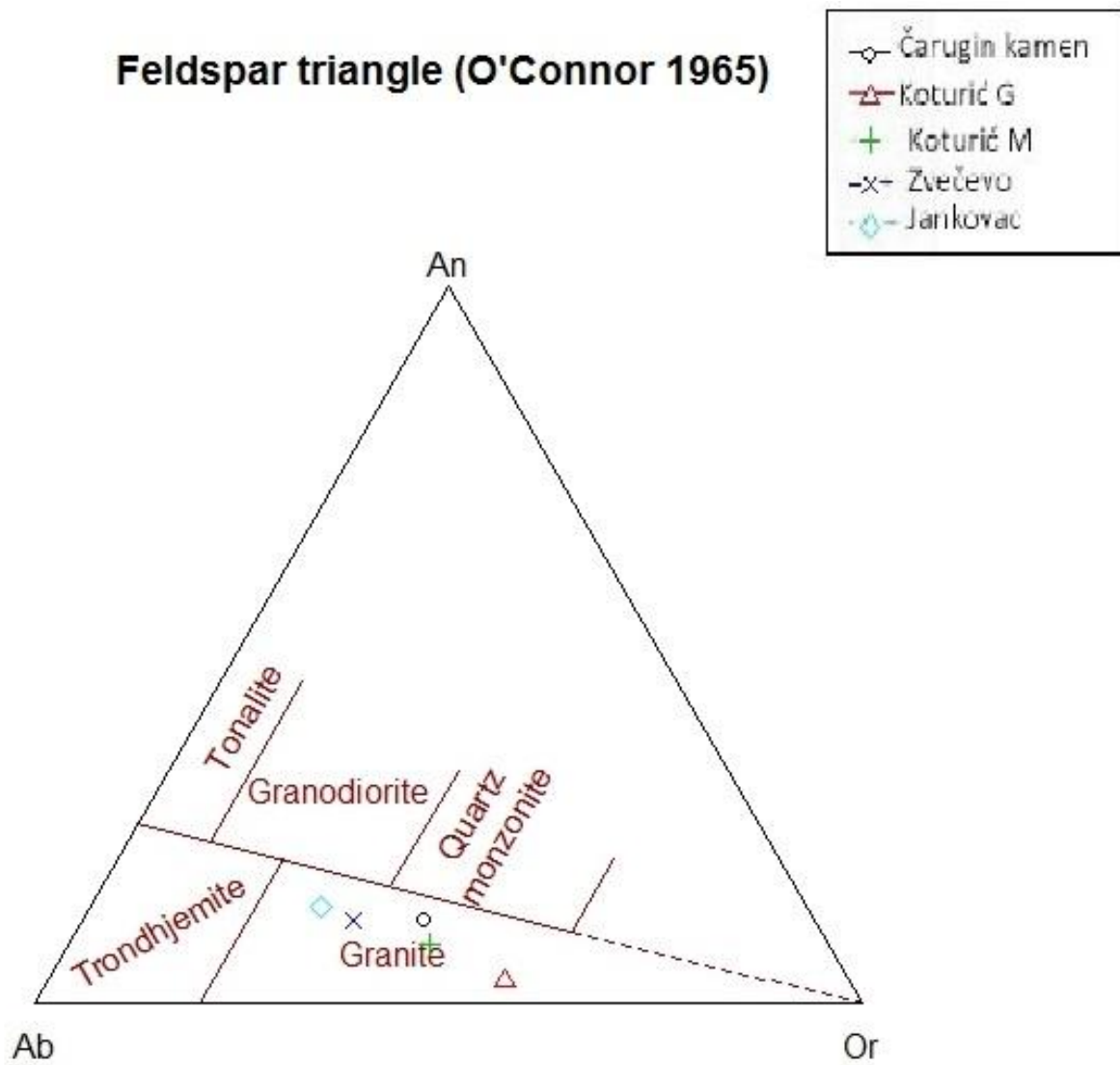


Slika 46 AFM dijagram za razlikovanje toleitne i kalcijsko-alkalijske serije.

Primjenom AFM dijagrama (Irvine & Baragar, 1971) određeno je da uzorci pripadaju kalcijsko-alkalijskoj seriji (slika 46). AFM dijagram je trokomponentni dijagram u kojem se pokazuju relativni odnosi aluminijskih (A), željeznih (F) i magnezijjskih (M) komponenti. Determinira pripadaju li uzorci toleitnoj seriji ili kalcijsko-alkalijskoj. Stijene kalcijsko-alkalijske serije nastale su u zonama subdukcije, a većinu ih uz kontinentsku koru.

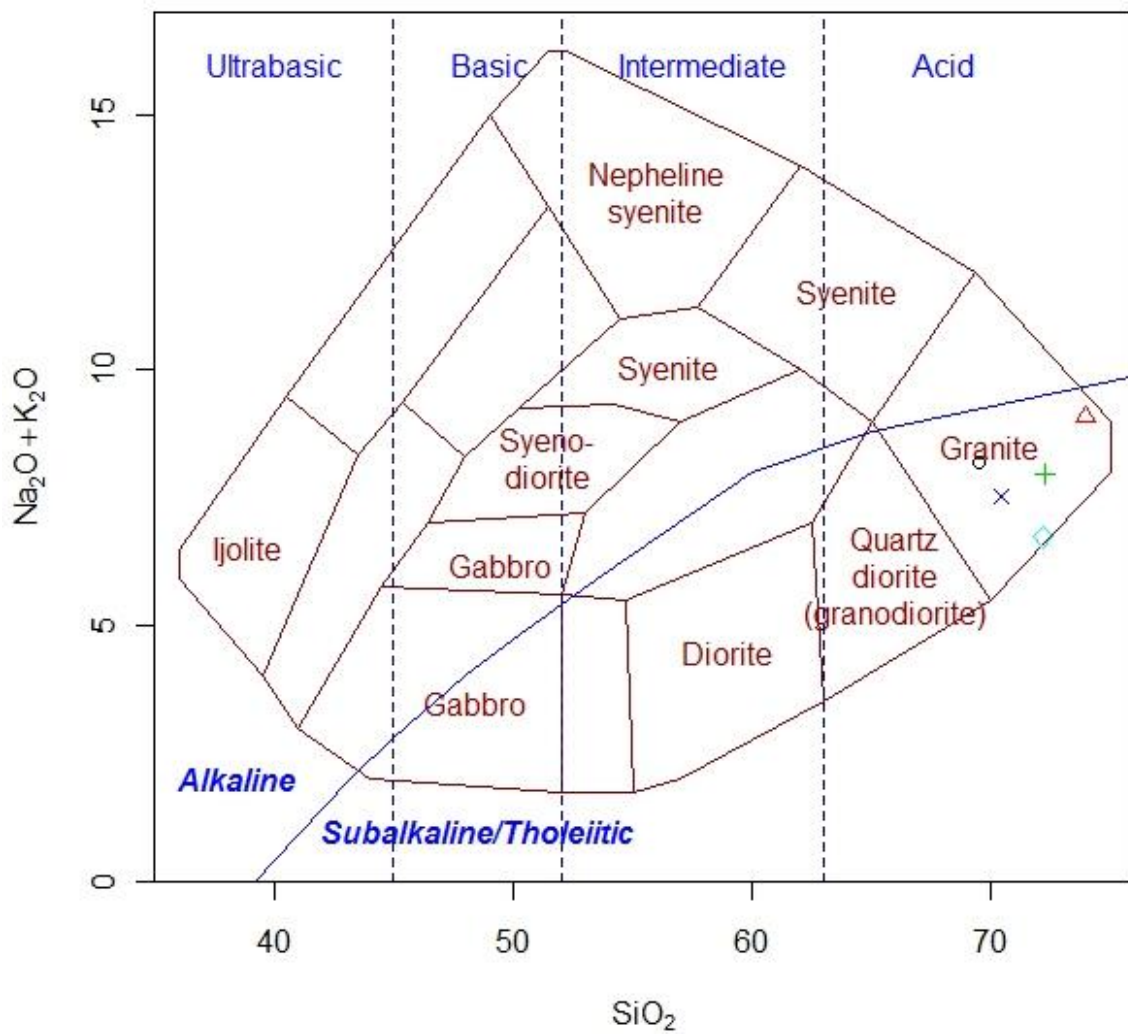
Bilo da se koristi trokomponentni dijagram feldspata (slika 47) (O'Connor, 1965), koji služi za klasifikaciju stijena koje sadrže više od 10% kvarca u svom sastavu, a bazira se na CIPW izračunatom sastavu, ili TAS (total alkali silica) dijagram (slika 48) (Cox et al, 1979), koji se bazira na odnosima alkalijske i silicijske komponente, vidi se da je riječ o granitima.

Feldspar triangle (O'Connor 1965)



Slika 47 Trokomponentni dijagram za diskriminaciju na temelju sadržaja feldspata.

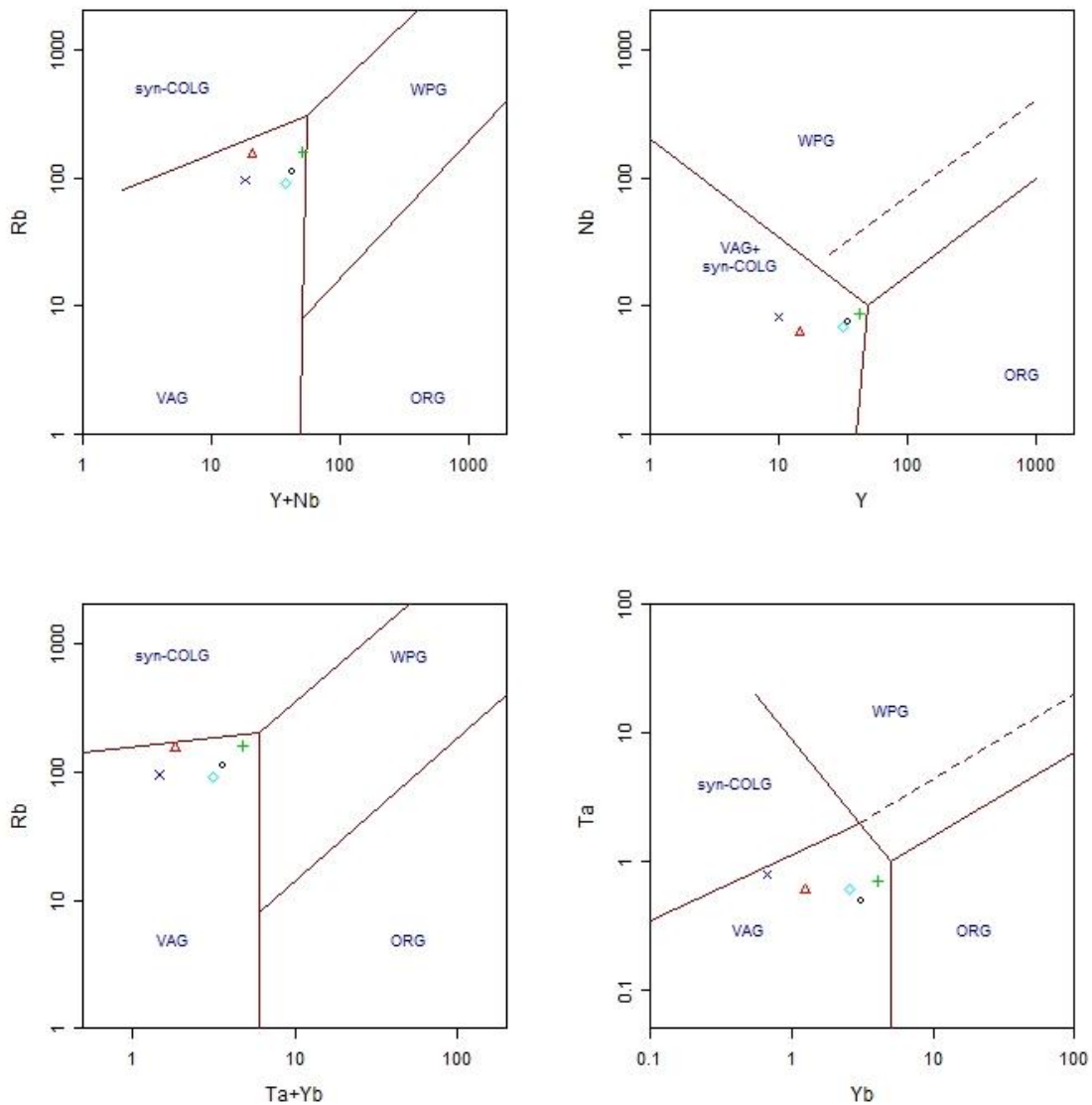
TAS (Cox et al. 1979)



Slika 48 TAS ('Total Alkali Silica') dijagram za diskriminaciju magmatskih stijena.

Osim klasifikacije po sastavu, moguće je odrediti i geotektonski smještaj. Korišten je dijagram koji su konstruirali Pearce et al. (1984) (slika 49).

Granite tectonic discrimination – Pearce et al. (1984)



Slika 49 Dijagram koji su konstruirali Pearce et al. (1984) koji služi za determinaciju geotektonskog okoliša.

Iz njih je vidljivo da stijene pripadaju granitima vulkanskih lukova. Vulkanski lukovi mogu biti oceanski ili kontinentalni (aktivni kontinentalni rub). Obično nastaju taljenjem astenosfere prilikom subdukcije. Voda, uz dekompresiju uzrokuje veliku količinu parcijalnog taljenja, pogotovo ispod tanke litosfere. Graniti vulkanskih lukova (VAG – volcanic arc granites) formiraju zonalne plutone u okolišima oceanskih lukova i linearne batolite u okolišima aktivnih kontinentalnih rubova.

Jedan od ciljeva diplomskog rada bio je i usporediti uzorke sa rezultatima sličnih (ili istih) stijena obrađenih u Pamić & Lanphere (1991) (tablica 11).

Tablica 11 Prosječni kemijski sastav za stijene (Pamić & Lanphere, 1991, str. 157, 158, 159, 177, 178, 189). Mjerna jedinica za spojeve je tež %, dok je za elemente ppm, N/A- podatci nisu izmjereni.

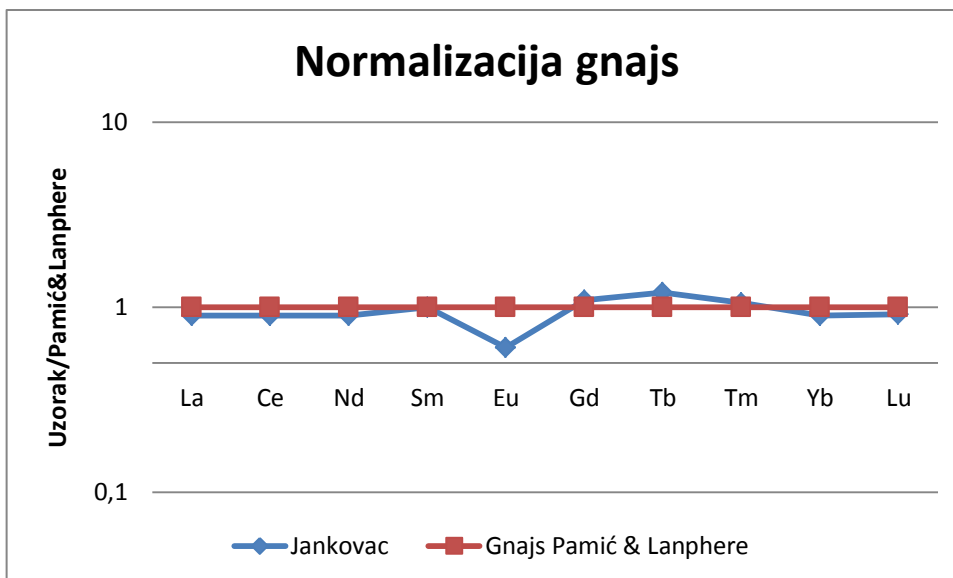
Stijena	Migmatit	Gnajs	Granit		Migmatit	Gnajs	Granit
SiO ₂	69,93	68,4	71,43	La	25,1	10,4	25,4
TiO ₂	0,54	0,69	0,34	Ce	52,9	24,1	76,9
Al ₂ O ₃	14,18	14,96	14,65	Nd	25,2	15,1	58,8
Fe ₂ O ₃	1,1	0,99	0,82	Sm	5,55	4,24	16,5
FeO	2,78	3,8	1,53	Eu	1,14	1,3	2,29
MnO	0,06	0,07	0,03	Gd	5,51	4,68	14,5
MgO	1,33	1,95	0,83	Tb	0,77	0,739	1,86
CaO	1,39	1,81	1,6	Tm	0,439	0,455	0,743
Na ₂ O	3,19	3,37	3,62	Yb	2,63	2,78	4,44
K ₂ O	3,91	2,53	3,83	Lu	0,389	0,426	0,614
P ₂ O ₅	0,11	0,17	0,14				
H ₂ O	1,46	1,4	1,09				
Sum	99,98	100,14	99,91				
Ba	627	523	918				
Co	10	16	5				
Cu	N/A	N/A	N/A				
Cr	118	108	27				
Cs	4,3	3,6	2,6				
Hf	5,7	4,5	3,8				
Mo	N/A	N/A	10				
Nb	N/A	N/A	20				
Ni	34	34	16				
Rb	122	75	98				
Sb	0,4	0,4	0,9				
Sn	5	6	3				
Sr	107	202	271				
Ta	0,8	0,7	0,7				
Th	11,7	6,5	8,9				
U	3,5	2,7	3				
W	N/A	N/A	100				
Zn	72	78	36				
Zr	215	176	274				
Y	37	26	27				

Tablica 12 CIPW normativni sastav uzoraka koje su analizirali Pamić & Lanphere (1991).

Oznaka	Migmatit	Gnajs	S-granit
Q	30,20	30,46	30,70
C	2,44	3,79	1,98
Or	23,11	14,95	22,63
Ab	26,99	28,52	30,63
An	6,18	7,87	7,02
Hy	6,73	10,01	3,69
Mt	1,60	1,44	1,19
Il	1,03	1,31	0,46
Ap	0,26	0,40	0,33
Sum	98,53	98,75	98,83

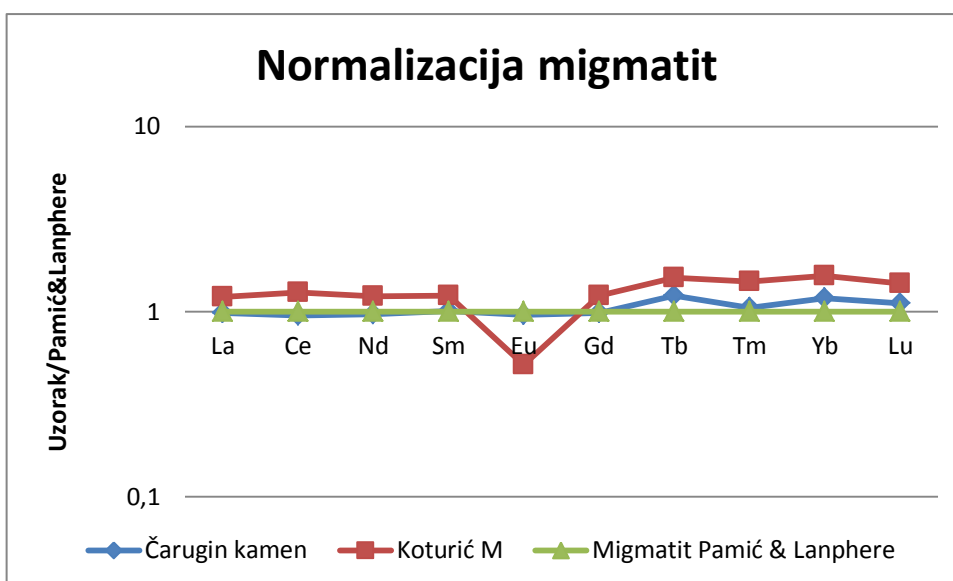
Uspoređujući udio kvarca u CIPW normativnom sastavu (tablica 12), primjećuje se veliko odstupanje između migmatita s lokaliteta Čarugin kamen i prosječnog sastava migmatita, dok se udio kvarca s lokaliteta Koturić M više manje podudara sa prosječnim sastavom. Osim nepodudarnosti u udjelu kvarca, primjećuje se i velika razlika u udjelu ilmenita, gdje je u prosječnom sastavu čak 1%, dok su u oba uzorka obrađena u sklopu ovog rada, ispod 0,1%. Ista je stvar i s hiperstenom, gdje je za čak 5% manji udio u odnosu na prosječni sastav. Sa druge strane, primjećuje se povećan udio albita, u odnosu na prosječni sastav.

Ukoliko se uspoređuju podaci dobiveni na uzorku s Jankovca i prosječnim sastavom gnajsa, mogu se primjetiti odstupanja u udjelima albita. U uzorku s Jankovca ga ima više negoli je prosječan sastav gnajsa te u udjelu hiperstena, gdje ga je daleko manje, kao i ilmenita. Ukoliko se uspoređuju podaci S-granita sa podacima dobivenim na uzorku sa Zvečeva, primjećuje se podudaranje u više manje svim mineralnim udjelima. Količina mikroelemenata se u većoj ili manjoj mjeri podudara s referentnim podacima. Ukoliko se uspoređuju udjeli lakih elemenata (LREE) u granitima, gnajsevima i migmatitima, obrađenih u ovom radu, s onima koje su dobili Pamić & Lanphere (1991) mogu se iznijeti slijedeća opažanja.



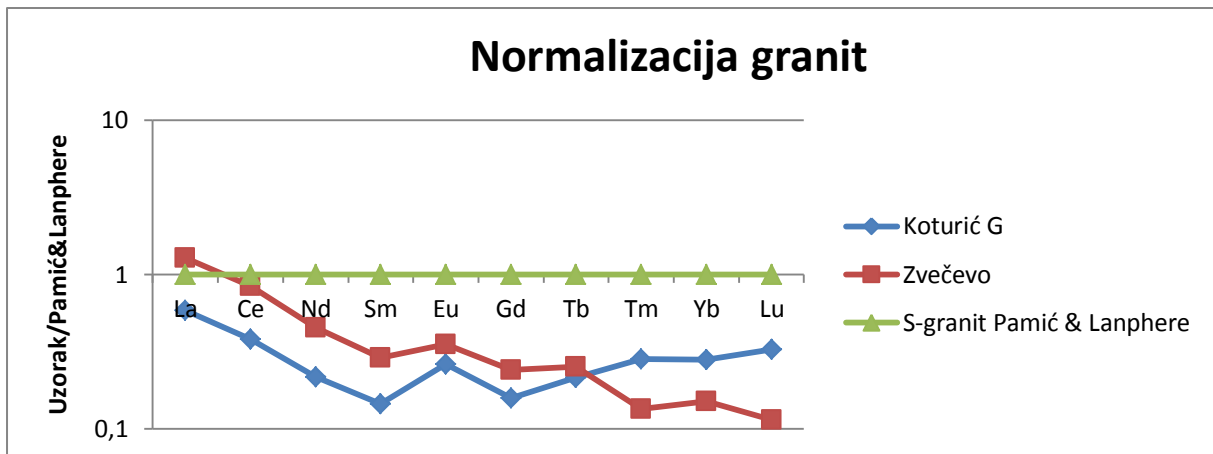
Slika 50 Uzorak s lokaliteta Jankovac normaliziran je na uzorak gnajsa (Pamić & Lanphere, 1991).

Iz usporedbe gnajseva (slika 50) vidljivo je vrlo malo odstupanje Eu, dok se u svim ostalim elementima poklapaju.



Slika 51 Uzorci s lokaliteta Čarugin kamen i Koturić M normalizirani su na uzorak migmatita (Pamić & Lanphere, 1991).

Iz usporedbe migmatita (slika 51), primjećuje se da se uzorak s lokaliteta Čarugin kamen poklapa s uzorkom migmatita koji su obradili Pamić & Lanphere (1991), dok uzorak s lokaliteta Koturić M pokazuje neka manja odstupanja. Unatoč tim malim odstupanjima, može se pretpostaviti da sva tri uzorka pripadaju istom genetskom izvoru.

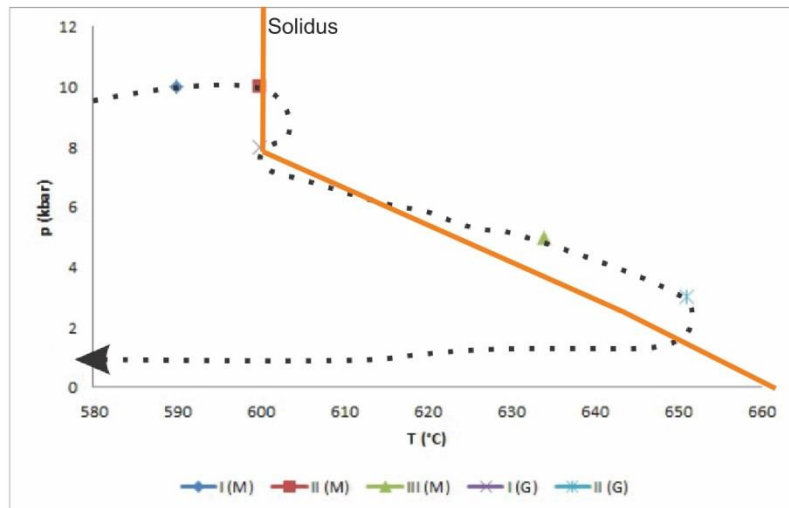


Slika 52 Uzorci s lokaliteta Zvečevo i Koturić G normalizirani su na uzorak granita (Pamić & Lanphere, 1991).

Ukoliko se promotri usporedba granita (slika 52), na očigled se primjećuju odstupanja od referentnog uzorka koji su u svome radu analizirali Pamić & Lanphere (1991). Iako se vide odstupanja u vrijednostima LREE, tj. u uzorcima opisanima u ovome radu su niže vrijednosti, no krivulje generalno pokazuju isti trend.

U poglavlju rezultati, na slici 36 ustanovljen je zanimljiv raspored REE. Razlog takvog rasporeda leži u ponovnom taljenju tih migmatita, kada su mobilniji elementi izašli iz taljevine te je na taj način osiromašili ili zbog stupnja trošenja feldspata.

Temeljem mikroskopskih opažanja ustanovljen je slijedeći slijed događaja (slika 53). Pri tlakovima od 10 kbara i temperaturi od 615°C protolit se počeo taliti. Daljnjim opadanjem tlakova i porastom temperatura migmatit kreće kristalizirati i to pri temperaturi od 634°C i tlaku od 5 kbara, dok granit počinje kristalizirati pri 651°C i tlaku od 3 kbara. Pretpostavljeni p-T put pokazuje 'clockwise' obrazac regionalnog metamorfizma koji je tipičan za zone subdukcije.



Slika 53 Pretpostavljeni p-T put za stijene granita i migmatita.

6. ZAKLJUČAK

Na temelju mikrofiziografskih svojstava uzorci s lokaliteta Čarugin kamen i Koturić M pripadaju migmatitima, uzorci s lokaliteta Koturić G i Zvečevo, granitima, a s lokaliteta Jankovac, gnajsu.

Obradom elemenata rijetkih zemalja, uzorci imaju veće vrijednosti u odnosu na hondrit, sa izraženom negativnom Eu anomalijom.

Stijene su genezom vezane uz kontinentalnu koru, a u prilog toj činjenici ide klasifikacija AFM dijagrama, gdje su svrstane u kalcijsko-alkalijsku seriju, kao i normalizacija na kontinentalnu koru, gdje se vide gotovo nikakva ili vrlo mala odstupanja.

Geotektonski, svi uzorci pripadaju granitima vulkanskih lukova.

Prilikom usporedbe elemenata rijetkih zemalja uzoraka obrađenih u ovome radu s uzorcima koje su obradili Pamić & Lanphere (1991), uzorci nisu međusobno odstupali, stoga pripadaju istom izvoru.

U zoni subdukcije, protolit je krenuo tonuti, tlakovi su rasli, a on se krenuo taliti na dubini od 35 km. Zatim se krenuo uzdizati, tlakovi su naglo pali, a temperatura je krenula rasti. Taljevina se uzdizala do 18 km, tj. do središnjeg dijela kontinentske kore gdje je započela kristalizacija. Temperature i tlakovi nastanka granita određene su pri 651°C i 3 kbar, dok migmatita pri 634°C i 5 kbar.

Granit i migmatit s lokaliteta Koturić su genetski povezani, s obzirom da su pronađeni u kontaktu te su prošli isti p - T put, tj. nastali su iz istog protolita.

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., Horváth, P., Finger, F. & Starijaš, B. (2013): Phase equilibrium, geothermobarometric and xenotime age dating constraints on the Alpine metamorphism recorded in chloritoid schists from the southern part of Tisia Mega–Unit (Slavonian Mts., NE Croatia). *International Journal of Earth Sciences* 102, 1091–1109.

Biševac, V., Krenn, E., Finger, F., Lužar-Oberiter, B. & Balen, D. (2013): Provenance of Paleozoic very low- to low-grade metasedimentary rocks of South Tisia (Slavonian Mountains, Radlovac complex, Croatia). *Geologica Carpathica* 64, 3–22.

Boynton, W.V. (1984): *Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies*. U: *Rare earth element geochemistry* (ur. Henderson, P.). Elsevier, Amsterdam, 63–114.

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* 11/1, 1–55.

Cox, K.G., Bell, J.D. & Pankhurst, R.J. (1979): *The interpretation of Igneous Rocks*. George, Allen and Unwin, 450 str., London.

Henry, J. D., Guidotti, V. C. & Thomson, J. A. (2005): The Ti-saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotites: Implications for geothermometry and Ti-substitution mechanisms. *American Mineralogist* 90, 316–328.

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.

Irvine, T.N. & Baragar, W.R.A. (1971): A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8, 523-548.

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

Jamičić, D. (1988): Osnovna geološka karta 1:100 000, list Daruvar L 33 – 95. Savezni geološki zavod, Beograd.

Jamičić, D. & Brkić, J. (1987): Osnovna geološka karta 1:100 000, list Orahovica L 33 – 96. 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. Savezni geološki zavod, Beograd.

Janoušek, V., Farrow, C.M. & Erban, V. (2006): Interpretation of Whole-rock Geochemical Data in Igneous Geochemistry: Introducing Geochemical Data Toolkit. *Journal of Petrology* 47/6, 1255–1259.

Marci, V. (1965): Petrografija zapadnog dijela Psunja. *Acta geologica* 4, 315-322, Zagreb.

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

Marci, V. (1971): Metasomatski procesi u kontaktnim zonama granita i amfibolita na području Donje Rašaške, Psunj. *Geološki vjesnik* 24, 123-130, Zagreb.

Marci, V. (1973): Geneza granitnih stijena Psunja. *Acta geologica* 7/5, 195–231.

O'Connor, J. T. (1965): A classification for quartz-rich igneous rock based on feldspar ratios. US Geological Survey Professional paper 525-B, B79-B84, Washington.

Pamić, J. (1986): Kredno-tercijarne granitne i metamorfne stijene u dodirnom području sjevernih Dinarida i Panonskog strukturnog kompleksa. *Geologija* 28/29, 219-237, Ljubljana.

Pamić, J. (1988): Stijene granit- granodioritne asocijacije Krndije u Slavoniji (sjeverna Hrvatska, Jugoslavija). *Rad JAZU* 441, 97-114, Zagreb.

Pamić, J. (1990): Alpinski granitoidi, migmatiti i metamorfiti Moslavačke gore i okoline podloge Panonskog bazena (sjeverna Hrvatska, Jugoslavija). *Posebna izdanja JAZU*, razr. p. 2, 10, 121 str., Zagreb.

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

Pamić, J. & Jamičić, D. (1986): Bazične intruzivne stijene paleozojskog radlovačkog kompleksa na Papuku u Slavoniji. *Rad JAZU* 424 (21), 97-125.

Pamić, J. & Lanphere, M. (1991): Hercinske granitne i metamorfne stijene Papuka, Psunja, 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.

Pearce, J.A., Harris, N.B.W. & Tindle, A.G. (1984): Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal of Petrology* 25(4), 956-983, Oxford.

Poljak, J. (1952): Predpaleozojske i paleozojske naslage Papuka i Krndije. *Geološki vjesnik* 2-4, 63-82, Zagreb.

Putirka, K. D. (2008): Thermometers and Barometers for Volcanic Systems. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 69, 61-120.

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.

Raffaelli, P. & Pamić, J. (1986): Petrokemijsko razmatranje predalpinskih i mladoalpinskih granitnih masa dodirnog područja sjevernih Dinarida i Panonske mase. XI Kongres geol. Jugosl. 2, 293-305.

Slovenec, D. (1982): Kemijski sastav biotita, granata i amfibola, kao pokazatelj temperature formiranja granito – metamorfnih stijena Papuka. *Geološki vjesnik* 35, 133–152.

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.

Tajder, M. (1969): Magmatizam i metamorfizam planinskog područja Papuk-Psunj. *Geološki vjesnik* 22, 469–475.

Taylor, S.R. i McLennan, S.M. (1995): The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics* 33, 241–265.

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.

Wolf, R.E. (2005): What is ICP-MS? Izvor: http://crustal.usgs.gov/laboratories/icpms/What_is_ICPMS.pdf