

Granatski amfiboliti Bistrice

Jovana Opančina



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Granatski amfiboliti Bistrice | Jovana Opančina | | 2024 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0008939>

Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet



Završni rad

Osnovne akademske studije

GRANATSKI AMFIBOLITI BISTRICE

Kandidat

Opančina Jovana G35/20

Mentor

Dr Kostić Bojan, docent

Beograd, septembar, 2024.

Komisija:

1. Dr Bojan Kostić, docent, mentor

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

2. Dr Danica Srećković Batoćanin, redovni profesor, član

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

3. Dr Dejan Prelević, redovni profesor, član

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

DATUM ODBRANE: _____

REZIME

Predmet ispitivanja ovog završnog rada su granatski amfiboliti Bistrice. Izvršena su petrografska i hemijska ispitivanja s ciljem da se odredi stepen metamorfizma, protolit ispitivanih stena i P-T uslovi nastanka.

Ispitivani granatski amfiboliti geografski pripadaju Prijepolju, tačnije nalaze se na ulasku u Prijepolje, mesto Bistrica. Geološka građa obuhvata uglavnom mezozojske tvorevine među kojima se nalaze sedimentne, magmatske i metamorfne stene. Geološki procesi koji su doveli do stvaranja amfibolita su procesi subdukcije i obdukcije koji su se pretpostavljamo dešavali na većim pritiscima i temperaturama. Stene su ispitivane primenom metode polarizacionog mikroskopa, elektronskom mikrosondom, a urađena je i kompletna hemijska analiza stene sa makro i mikro elementima. Metodom polarizacionog mikroskopa određen je mineralni sastav ispitivane stene. Hemijske analize rađene su elektronskom mikrosondom- Jeol JXA-8530F na Insitutu za geofiziku, geochemiju i mineralogiju u Minsteru i time je utvrđen hemijski sastav amfibola, piroksena, plagioklasa i hlorita. Petrološkim i hemijskim ispitivanjima došli smo do pretpostavke da je protolit granatskih amfibolita Bistrice iz domena bazalt/gabro i da pripada amfibolitskoj faciji, staurolit-almandin subfaciji.

Ključne reči: granatski amfiboliti, Bistrica, elektronska mikrosonda, polarizacioni mikroskop.

SUMMARY

The subject of this final thesis is the garnet amphibolites of Bistrica. Petrographic and chemical tests were carried out in aim to determine the degree of metamorphism, the protolith of the examined rock and the P-T conditions of formation.

The investigated garnet amphibolites geographically belong to Prijepolje, more precisely, they are located at the entrance to Prijepolje, the place of Bistrica. The geological structure includes mainly Mesozoic formations, among which there are sedimentary, igneous and metamorphic rocks. The geological processes that led to the creation of amphibolites are subduction and obduction processes that we assume took place at higher pressures and temperatures. The rocks were examined using the polarizing microscope method, electron microprobe, and a complete chemical analysis of the rock with macro and micro elements. The mineral composition of the investigated rock was determined using the polarizing microscope method. Chemical analyzes were performed with an electron microprobe - Jeol JXA-8530F at the Institute for Geophysics, Geochemistry and Mineralogy in Münster, and thus the chemical composition of amphibole, pyroxene, plagioclase and chlorite was determined. Through petrological and chemical tests, we came to the assumption that the protolith of the garnet amphibolites of Bistrica is from the basalt/gabbro domain and that it belongs to the amphibolite facies, staurolite-almandine subfacies.

Key words: garnets amphibolites, Bistrica, electron microprobe, polarizing microscope.

Sadržaj

1.	UVOD.....	1
2.	OPŠTI DEO	2
2.1.	Geografski položaj	2
2.2.	Pregled ranijih istraživanja.....	3
2.3.	Geološka građa	4
2.4.	Tektonika	14
	Jedinica Seljašnice (A)	14
	Zlatiborsko-Užička mezozojska zona (C)	15
3.	METODOLOGIJA ISPITIVANJA.....	16
3.1.	Laboratorijska ispitivanja	17
	3.1.1. Optička mikroskopija	17
	3.1.2. EMPA analiza.....	18
4.	SPECIJALNI DEO	21
4.1.	Rezultati	21
	4.1.1. Analiza preparata polarizacionim mikroskopom	21
	4.1.2. Hemijski sastav minerala (EMPA analiza).....	25
5.	STEPEN METAMORFIZMA ISPITIVANIH STENA	35
6.	DISKUSIJA	37
7.	ZAKLJUČAK	40
	LITERATURA	

1. UVOD

Ispitivanje granatskih amfibolita je izvršeno na uzorcima koji su uzeti iz okoline Bistrice kod Prijepolja. Geografski posmatrano ispitivane stene se nalaze u zapadnom delu Srbije.

Geološka građa ispitivanog područja prikazana je na severnom delu OGK 1:100.000 lista Prijepolje i obuhvata stene sedimentnog, magmatskog i metamorfnog porekla.

Struktura samog rada predstavlja upoznavanje sa geografskim položajem područja odakle su uzeti uzorci, pregled ranijih istraživanja, zatim upoznavanje sa geološkom građom terena i prikaz rezultata dobijenih mineraloško-petrološkim ispitivanjima.

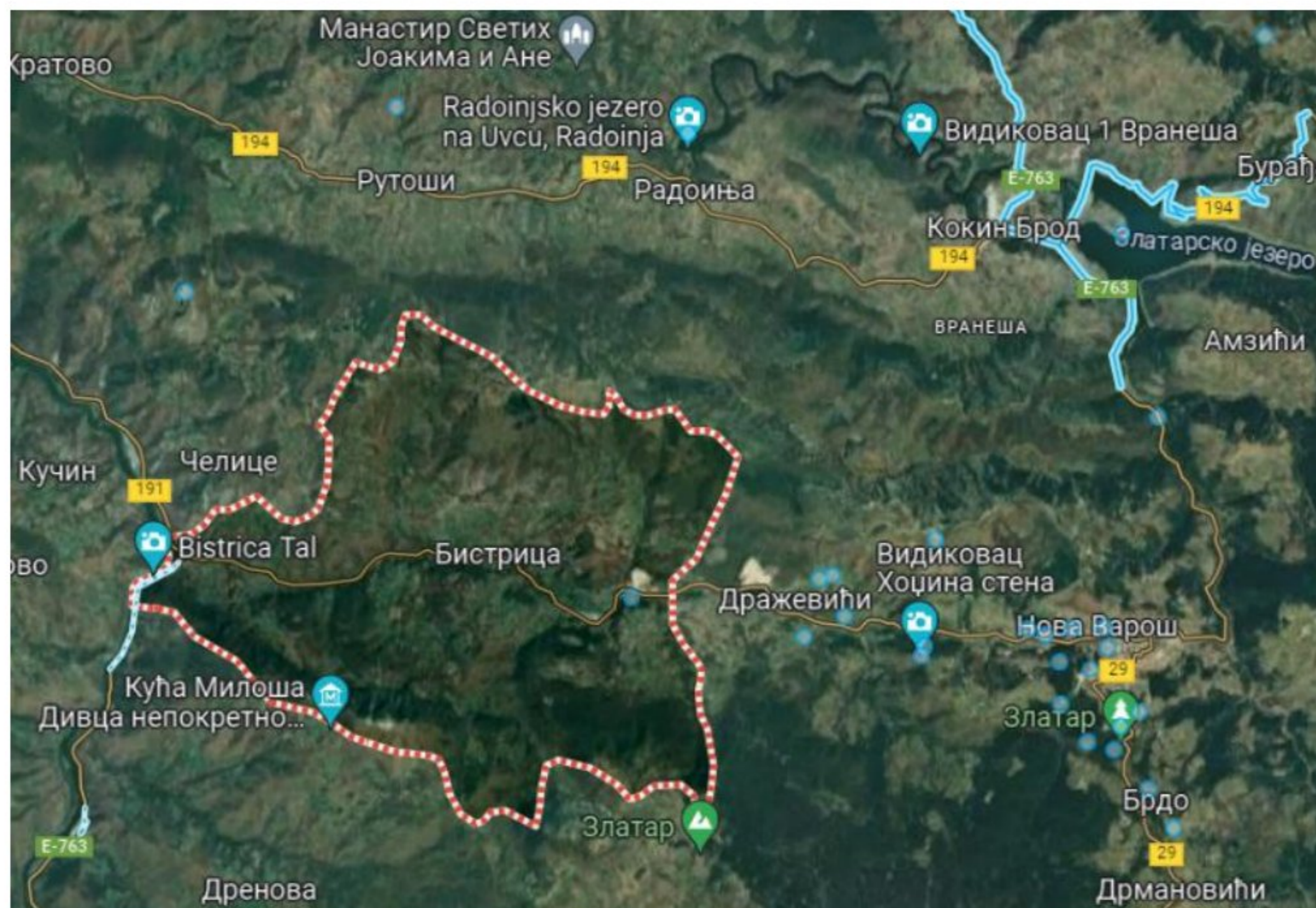
U ovom završnom radu detaljno su određene petrološke karakteristike i hemijski sastav granatskih amfibolita Bistrice. Determinacija petroloških karakteristika izvršena je pregledom petrografskih preparata u polarizacionom mikroskopu, a hemijski sastav minerala dobijen je EMPA analizom. Na osnovu dobijenih rezultata određena je pripadnost metamorfnoj faciji kao i protolit granatskih amfibolita Bistrice.

2. OPŠTI DEO

2.1. Geografski položaj

Ispitivano područje nalazi se u jugozapadnom delu Srbije i obuhvata prostor srednjeg Polimlja. List Prijepolje nalazi se između $43^{\circ} 20'$ i $43^{\circ} 40'$ severne geografske širine i $19^{\circ} 30'$ i $20^{\circ} 00'$ istočno od Griniča. Obuhvata dolinu reke Lim, gde se istočno od Lima pružaju južne padine Zlatibora, Zlatara i zapadni deo Sjeničke visoravni, dok je jugozapadno od Lima planina Jadovnik. Najviša tačka je vrh planine Jadovnik sa 1734m nadmorske visine, dok je najniža tačka ušće Mileševke u Lim sa nadmorskom visinom od 440m. U hidrografskom smislu ovo područje drenira reka Lim koja je pritoka Drine. Glavne pritoke Lima su Mileševa, Bistrica i Seljašnica. Reke su stalnim tokovima usekle svoja korita, a na Uvcu je izgradnjom brane Kokin Brod obrazovano Zlatarsko jezero. Saobraćajne veze su jako dobre, glavni put je povezan sa susednim mestima u Srbiji i Crnoj Gori.

Bistrica pripada Zlatiborskom masivu, i njene koordinate su $43^{\circ} 27' 24''$ S i $19^{\circ} 39' 34''$ I.



Slika 1. Geografski položaj Bistrice, preuzeto sa <https://www.google.com/maps>

2.2. Pregled ranijih istraživanja

Prve podatke o geologiji ovog terena Zapadne Srbije dao je A. Boue (1840) koji je u okviru izrade pregledne geološke karte Turske obuhvatio i ovaj deo Srbije.

J. Žujović (1893, 1900) opisuje genetske karakteristike, vreme stvaranja kotlina, površi i karsne fenomene šire oblasti Zlatibora, na to se nadovezuje J. Cvijić (1901, 1904).

W. Hammer (1921a, 1921b) i O. Ampferer (1928) uvode termin „Diabas-Hornstein-Schichten” i opisuju facijalne karakteristike ove formacije, opisuju položaj Zlatiborskog peridotitskog masiva i prikazuju njegov metamorfni omotač.

F. Kossmat (1924) je na osnovu geološke građe i tektonskog sklopa ovog terena kod Prijepolja postavio granicu unutrašnjih i spoljašnjih Dinarida.

S. Pavlović (1936) je petrološki obradio Zlatiborski peridotitski masiv i gabrovske stene i zaključio da su amfiboliti na obodu Zlatiborskog masiva nastali metamorfizmom gabra.

Marković (1961) je posebnu pažnju posvetio trijasu i dijabaz-rožnačkoj formaciji koju smatra donjotrijaskom.

M. Dimitrijević i M. M. Dimitrijević (1963) odredili su model melanža u području Nove Varoši.

Geološke i geofizičke podatke o položaju peridotitskog masiva Zlatibora daju B. Milovanović i M. Mladenović (1966/67) kao i B. Ćirić (1966/67).

K. P. Rampnoux (1970) govori o trijasu koji je zastupljen na terenu lista Prijepolje.

M. N. Dimitrijević i M. D. Dimitrijević (1973, 1974, 1975) objasnili su genezu i karakteristike dijabaz-rožnačke formacije.

Anđelković (1976) u okviru tektonske rejonizacije Dinarida izdvojio je nekoliko zona među kojima pominje i limsku zonu koja je obuhvaćena listom Prijepolje.

S. Karamata (1988) daje jedan od najznačajnijih radova iz ovog perioda i objašnjava da je ofiolitski melanž stvaran usled geodinamičkih pokreta koji su započeli krajem perma obrazovanjem termičke dome ispod oboda afričke table.

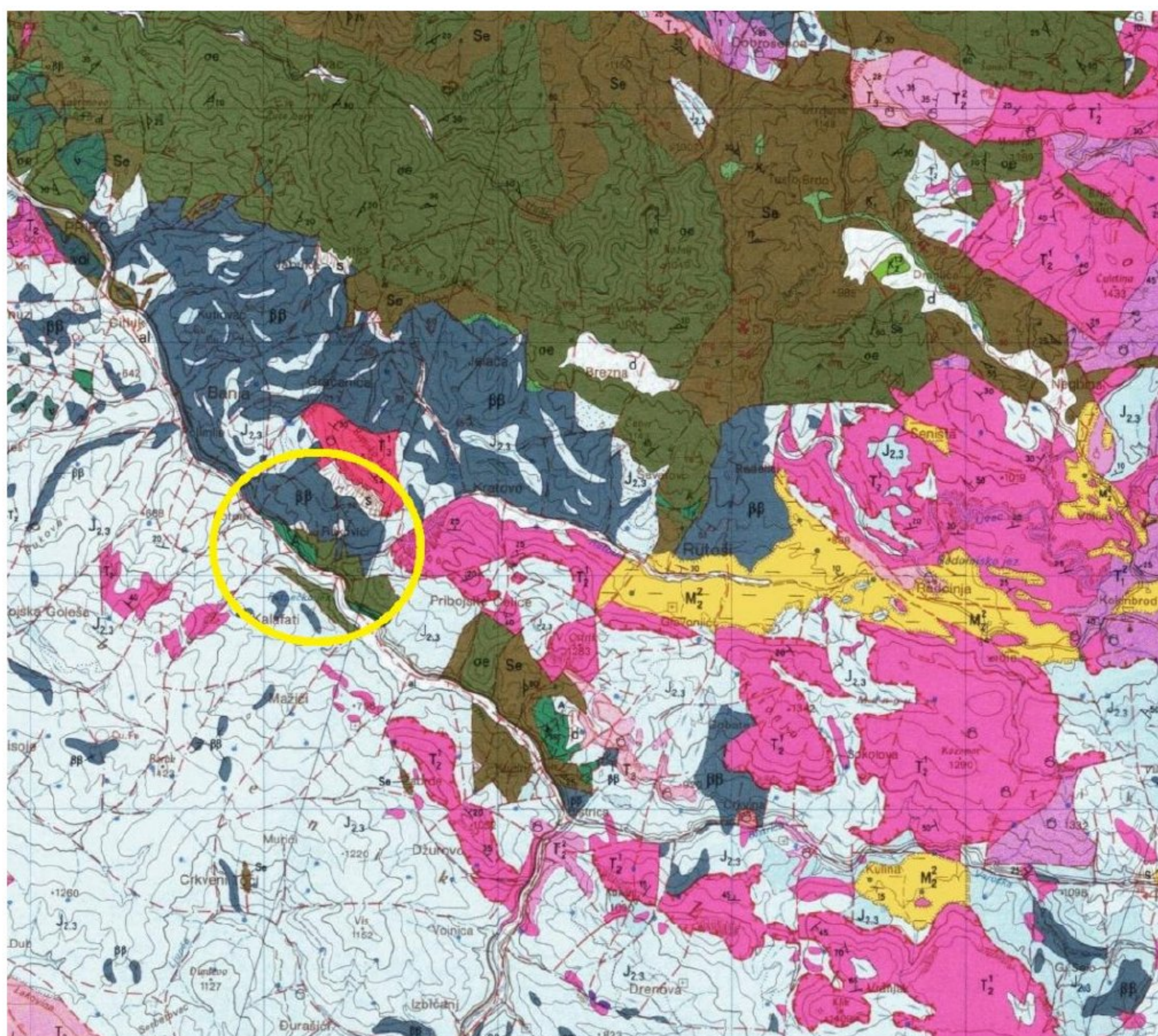
Pomenutim procesom došlo je do istanjenja kontinentalne kore, rasedanja i formiranja plitkih basena i izdizanja bazaltoidnih magmi. Isti autor je 1989. godine utvrdio sukcesiju događaja od početka otvaranja ofiolitskog okeana, preko razvoja plitkovodnog basena i svih formacija koje su se obrazovale, do trenutka subdukcije i zatvaranja okeanskog prostora. On smatra da se subdukcija vršila u pravcu SI pod drinsko-ivanjički element.

Milovanović i Boev (2001) su definisali ofiolite i ofiolitski melanž. Ofioliti predstavljaju tektonski smeštene bazične i ultrabazične stene za koje se smatra da predstavljaju fragmente okenske kore i gornjeg omotača. Ofiolitski melanž je asocijacija stena sa vrlo složenim tektonskim sklopom.

2.3. Geološka građa

Istraživano područje obuhvata list „Prije polje” Osnovne geološke karte (OGK) 1:100 000 (Ćirić i dr., 1977). Teren lista Prije polje pripada unutrašnjim Dinaridima i to uglavnom zlatiborsko-užičkoj mezozojskoj zoni. Područje obuhvaćeno terenskim ispitivanjima amfibolita Bistrice nalazi se na severnom delu lista „Prije polje”.

Geološka građa ovog područja je vrlo složena, jer obuhvata sedimentne, magmatske i metamorfne stene koje su različite starosti.



Slika 2. Geološka karta ispitivanog područja i bliže okoline, modifikovana na osnovu OGK, list Prijepolje, preuzeto iz OGK lista Prijepolje, Ćirić i dr. (1980)

MEZOZOIK

U okviru terena lista utvrđeno je prisustvo trijasa, jure i krede.

Mezozojske tvorevine su otkrivene u zapadnim i centralnim delovima lista Prijepolje, odnosno u područjima Bistrice i Priboja.

TRIJAS

U okviru trijasa izdvajamo prisustvo donjeg, srednjeg i gornjeg trijasa.

Tvorevine trijasa su najviše zastupljene u centralnom delu područja lista Prijepolje, odnosno u okolini Kokinog broda i Negbine.

DONJI TRIJAS

Na terenima lista Prijepolje donji trijas je predstavljen sa tri razvoja: klastični - kvarcni konglomerati, laporovito-krečnjačko-glinoviti i krečnjački.

KVARCNI KONGLOMERATI

U istočnim delovima terena je uočen razvoj kvarcnih konglomerata. Preko ove jedinice leže kontinuirano krečnjaci kampilskog kata. Najvećim delom istočni deo terena donjeg trijasa je predstavljen kvarcnim konglomeratima, retko se može uočiti pojava krupnozrnih peščara.

LAPORCI, KREČNJACI I GLINCI (T₁)

Laporci, krečnjaci i glinci u donjem trijasu imaju najveće rasprostranjenje i nalaze se u severnim i južnim delovima lista.

Serijski je izgrađena od kvarcnih konglomerata u najnižim delovima, preko kojih se nalaze laporoviti, glinoviti i dolomitični krečnjački sedimenti. Debljina ovih sedimenata je oko 10 metara. Sedimentološkim ispitivanjima su konstatovani sledeći litološki članovi: svetlosivi, peskoviti dolomitični krečnjaci; listasti tamnosivi, ljubičasti i ružičasti peskoviti laporci; dolomitični krečnjaci; alevroliti; glinci; i u višim delovima pretežno mermerisani dolomitični krečnjaci, kao i prelazni varijeteti između navedenih članova.

LAPOROVITI KREČNJACI (T₁²)

Preko kvarcnih konglomerata donjeg trijasa leže laporoviti krečnjaci. Uglavnom su sivi i žućkasti, mogu da budu slojeviti ili listasti. U ovim krečnjacima

su pronađeni fosilni ostaci *Meandrospira pusilla*, *Glomospira sp.*, *Aeolisacus sp.*, zatim ostrakodi i krinoidi.

Debljina ovih krečnjaka je od 50 do 200 metara.

SREDNJI TRIJAS

U srednjem trijasu su izdvojeni sedimenti anizijskog i ladinskog kata. Osim sedimentnih procesa u srednjem trijasu je bila zastupljena i magmatska aktivnost najvećim delom za vreme ladinskog kata.

BANKOVITI I SLOJEVITI LAPOROVITI KREČNJACI (T₂)

Bankoviti i slojeviti laporoviti krečnjaci su pronađeni u području Bič planine. U njima je pronađena retka fauna, to su lituolide i dustominide.

Debljina ovih krečnjaka prema podacima je od 250 do 350 metara.

BANKOVITI I MASIVNI KREČNJACI ANIZIJSKOG KATA (T₂¹)

Bankoviti i masivni krečnjaci su raspoređeni po celom terenu, nalaze se preko donjotrijaskih sedimenata kada su tektonski neporemećeni. Stene anizijskog kata su po celom terenu sličnog razvoja što nam govori da se sedimentacioni uslovi nisu menjali u velikim razmerama.

Krečnjaci anizijskog kata su uglavnom sivi do sivoplavičasti ili ružičasti do crveni, obično bankoviti ređe masivni, sa slabo izraženom stratifikacijom, ispresecani žicama kalcita. Najvećim delom su izgrađeni od kalcita i cement im je rekristalisali kalcit. Pored kalcita prisutna je glinovita ili silicijska komponenta.

Ove stene su deponovane u plitkovodnoj sredini i potom dijagenetski delimično dolomitisane.

Ovi krečnjaci su bogati mikrofaunom *Meandrospira dinarica*, *Pilamina densa* i druge vrste.

PORFIRITI I KVARCPORFIRITI ($\alpha, \alpha q$)

Porfiriti zajedno sa kvarcporfiritima se javljaju u vidu zone koja se proteže od Lakovine do Čadinja i Prijepolja i dalje ka Lučicama. Vulkaniti zone Brašanac-Prijepolje nalaze se delom neposredno preko paleozojskih metasedimenata, delom preko sedimenata donjeg trijasa, a u okolini Prijepolja preko sedimenata anizijskog kata. Kod sela Jabuke vulkaniti se mogu pronaći ispod krečnjaka srednjeg i gornjeg trijasa. Prema tim odnosima porfiritska vulkanska aktivnost je otpočela delom u anizijskom katu, delom početkom ladinskog, a završila se u toku ladinskog kata.

Kvarcporfiriti grade manje telo kod sela Visoko, smešteno iznad krečnjaka ladinskog kata, a ispod krečnjaka gornjeg trijasa. Po svom geološkom položaju ovi kvarcporfiriti su mlađi od porfirita u jugozapadnom delu lista i izlivani su verovatno krajem ladinskog kata.

Primarna porfiritska struktura je dobro očuvana, kao i sami fenokristali plagioklasa, amfibola, biotita i retko piroksena i kvarca. Pojavom kvarca porfiriti prelaze u kvarcporfirate. Fenokristali plagioklasa su sericitisani, kaolinisani, epidotisani i kalцитisani, a fenokristali bojениh minerala zamenjeni karbonatima, hloritom, epidotom i sekundarnim mineralima gvožđa.

SPRUDNI KREČNJACI SREDNJEG I GORNJEG TRIJASA

(T_{2,3})

U dolini Bistrice otkrivena je manja pojava sprudnih organogeno-detritičnih krečnjaka. Ovi krečnjaci su slabo prekrystalisali, sadrže hidrozoe, spongije, algolike strukture, prekrystalisale krinoide i ehinodermate, fragmente molusaka i lituolida. Mikro asocijacija odgovara srednjem i gornjem trijasu, te su ovi krečnjaci tako i određeni.

Debljina ovih krečnjaka iznosi oko 150 metara.

GORNJI TRIJAS

U gornjem trijasu obrazovani su masivni sprudni krečnjaci koji nisu mogli da budu raščlanjeni. Zauzimaju mali deo na istraživanom područje geološke karte Prijepolja.

SPRUDNI KREČNJACI GORNJEG TRIJASA (T₃)

U severnom delu lista u tektonsko-erozionom prozoru Dobroselice, na severoistočnim padinama Čigote i iznad leve obale gornjeg toka Katušnice, kao i u jugozapadnom delu lista u području Lakovine do Vranjače i od Babina do Vijenca, javljaju se masivni, ređe bankoviti i slojeviti sprudni krečnjaci.

Ovi krečnjaci se nalaze u području Dobroselice i na padinama Čigote preko krečnjaka ladinskog kata. U jugozapadnim delovima terena gornjotrijaski krečnjaci se nalaze ili na krečnjacima ladinskog kata ili neposredno na porfiritima.

Ovi krečnjaci su najčešće organogeno-detritični, mada se nalaze i mikrokristalasti varijeteti.

Karakteristika svih ovih krečnjaka je pojava megalodona u njima. Osim megalodona u krečnjacima kod Dobroselice konstatovana je sledeća mikroasocijacija faune i flore: *Thaumatoporella parvovesiculifera*, *Turrispirillina minima*, *Frondicularia woodwardi*, *Involutina* sp., ostrakode i fragmenti ehinodermata.

Debljina krečnjaka gornjeg trijasa na ovom terenu ne prelazi 150 metara.

JURA

Juri pripadaju veoma različite sedimentne, magmatske i metamorfne tvorevine. Četiri veće jedinice koje se mogu izdvojiti su dijabaz-rožnačka formacija, serpentiniti, gabrovi, dijabazi i spiliti.

DIJABAZ-ROŽNAČKA FORMACIJA (J_{2,3})

Tvorevine dijabaz-rožnačke formacije imaju veoma veliko rasprostranjenje na ovom listu. U sastav ove formacije ulaze, kao i na drugim terenima, pretežno peščari, alevroliti i glinci, rožnaci su dosta zastupljeni, retki su krečnjaci, a od magmatskih stena gabrovi, dijabazi, spiliti a retko i serpentiniti.

Sedimentni članovi pokazuju dva osnovna razvoja. Rožnaci i krečnjaci pokazuju uslojenost, dok se peščari javljaju sa alevrolitima i glincima i pokazuju „haotičnu” građu koja je verovatno obrazovana tečenjem sedimentne mase.

Starost dijabaz-rožnačke formacije posredno je određena njenim položajem preko gornjo-trijaskih krečnjaka.

MAGMATSKE STENE U DIJABAZ-ROŽNAČKOJ FORMACIJI

U dijabaz-rožnačkoj formaciji od magmatskih stena javljaju se dijabazi, spiliti, gabrovi i serpentiniti. Dijabazi i spiliti grade slivove, ali i olistolite, a gabrovi intruzivna tela u samoj dijabaz-rožnačkoj formaciji, ili blokove. Serpentiniti se javljaju kao manja tela duž tektonskih zona u dijabaz-rožnačkoj formaciji.

SERPENTINITI (Se)

Serpentiniti se u dijabaz-rožnačkoj formaciji javljaju kao mala tela u nizu od Bistrice duž Mileševske reke. Serpentiniti obično grade tela koja nisu mogla biti prikazana na karti (dimenzija ispod desetak metara dužine i 1-2 metra debljine), samo veće pojave su izdvojene.

Serpentiniti su obično škriljavi do sitnosočivasti, tamnozelene boje. Izgrađeni su od serpentinskih minerala i veoma retkih relikata bastita, pa se pretpostavlja da su harzburgitskog porekla. Njihovo pojavljivanje u ovoj formaciji vezano je za utiskivanje duž tektonskih zona.

SPLITI ($\beta\beta ab$) I DIJABAZI I DIJABAZNE BREČE ($\beta\beta$)

Dijabazi i spiliti grade velike mase (kod Dobroselice i u dolini Lima) ili grade male slivove (npr. duž puta Bistrica-Priboj) i ploče, ali i blokove u sedimentima dijabaz rožnačke formacije. Spiliti i dijabazi su tamnozelene do ljubičasto-mrke stene, koje se mogu pojaviti u obliku „pillow-lava" ali i kao masivne. Često su brečasti ili grade dobro vezane dijabazne breče.

Struktura dijabaza i spilita je ofitska do intersertalna sa krupnim do veoma sitnim izduženim do igličastim plagioklasima i između njih piroksenima ili umesto njih obrazovanim amfibolima ili hloritom.

KREDA

Tokom cenomana i turona taloženi su slojeviti krečnjaci i laporci. Lateritska kora raspadanja i cenoman-turonski krečnjaci i laporci očuvani su samo u jednoj uskoj zoni.

KREČNJACI I LAPORCI CENOMAN-TURONA (K₂^{1,2})

U području Draglice nalaze se pojave krečnjaka i laporaca. Ove pojave zahvataju male površine: 1 km sa do 300 m, odnosno 250 x 250 m. Prema peridotitima su ograničene rasedima, a sa drugih strana zaplavljene deluvijom.

Sedimenti gornje krede predstavljani su tanko slojevitim krečnjacima i laporcima.

U ovim stenama konstatovana je fauna koja odgovara cenomanu i donjem turonu. Na cenoman ukazuje prisustvo *Praealveolina (Simplahcolina) simplex*, *Pseudorhapydionina laurinensis*, *P. dubia*, „*Praesorites*“ sp., a na donji turon pojava *Eoradiolarites franchii*, *E. lyratus* i *Chondrodonta joanae*. Razdvajanje cenomana od turona, zbog malih dimenzija krednih sedimenata i njihove male debljine na ovom listu nije bilo moguće.

Debljina sedimenata cenoman-turona je najviše 100 metara.

TERCIJAR

Neogenu odnosno miocenu pripadaju jezerski sedimenti deponovani u tektonskim depresijama, a krajem neogena je izvršeno izlivanje leucit-bazaltnih lava.

MIOCEN-TORTON (M₂²)

Miocenski, uglavnom tortonski, sedimenti, prekrivaju veće do sasvim male površine u centralnim i istočnim delovima lista. Najveći basen je između Radojne, Rutoša i dalje ka Pribojskoj Banji.

Neogeni basen Rutoša ima u podlozi trijaske krečnjake. Bazalni slojevi neogena su konglomerati izgrađeni od krečnjačkih valutaka. Preko njih se nalaze sive laporovite i peskovite gline. Preko gline slede žuti i smeđi peskoviti laporci, koji najviše počinju da se smenjuju sa krečnjacima i pešćarima.

U ovim sedimentima nađena je slatkovodna ostrakodska fauna predstavljena vrstama *Mediocypris sp.*, *Limnocythera sp.* i *Candona sp.*. Fosilna fitocenoza nađena u ovim sedimentima predstavljena je sa: *Glyptostrobus europeus*, *Pinus sp.*, *Myrica (Comptonia) driadroides*, *M. lignitum*, *Laurus princeps*, *Cinnamomum scheuchzeri*, *Accacai sotzkiana*.

Prema stepenu očuvanosti i odsustvu biljnog detritusa, ovaj materijal nije dugo transportovan pre taloženja i predstavlja ostatke vegetacije sa terena u blizini jezera. Ovakva fitocenoza karakteristična je u našim oblastima za torton kada je vladala subtropska vlažna klima.

KVARTAR

Kvartar je predstavljen deluvijem, siparima i aluvijem.

DELUVIJUM (d)

Deluvijalne tvorevine pokrivaju znatno prostranstvo između Dobroselice i Kokinog Broda, gde grade izduženu zonu, a manje pojave su severno od ušća Bistrice u Lim. Predstavljene su odlomcima peridotita, retko drugih stena, između kojih se nalazi glinovit materijal veoma bogat organskom komponentom. Na ovim tvorevinama, u vreme jačih kiša formiraju se veće bare i teren počinje da zadobija močvarni karakter.

SIPAR (s)

Izdvojene su samo veće pojave ovog materijala iznad Pribojske Banje i na putu Nova Varos-Bistrica. Obe pojave se nalaze ispod strmih useka, prva peridotitskog, druga krečnjačkog tipa.

ALUVIJUM (al)

Aluvijalne tvorevine razvijene su u dolinama svih većih tokova, gde ne grade klisuraste doline. Sastav materijala uglavnom zavisi od okolnih stena. Veće prostranstvo aluvijalni nanosi imaju u dolini Lima, kod Prijepolja, zatim u okolini Priboja. Za sve ove tvorevine, u samim rečnim koritima karakteristično je smenjivanje šljunkovitog, peskovitog i glinovitog materijala. U samim rečnim koritima nalaze se uglavnom dobro isprani šljunkovi i peskovi.

2.4. Tektonika

Teren lista Prijepolje nalazi se u unutrašnjim Dinaridima i pripada pretežnim delom zlatiborsko-užičkoj mezozojskoj zoni, samo se na krajnjem jugozapadu nalaze obodni delovi paleozojske zone Prača-severna Crna Gora.

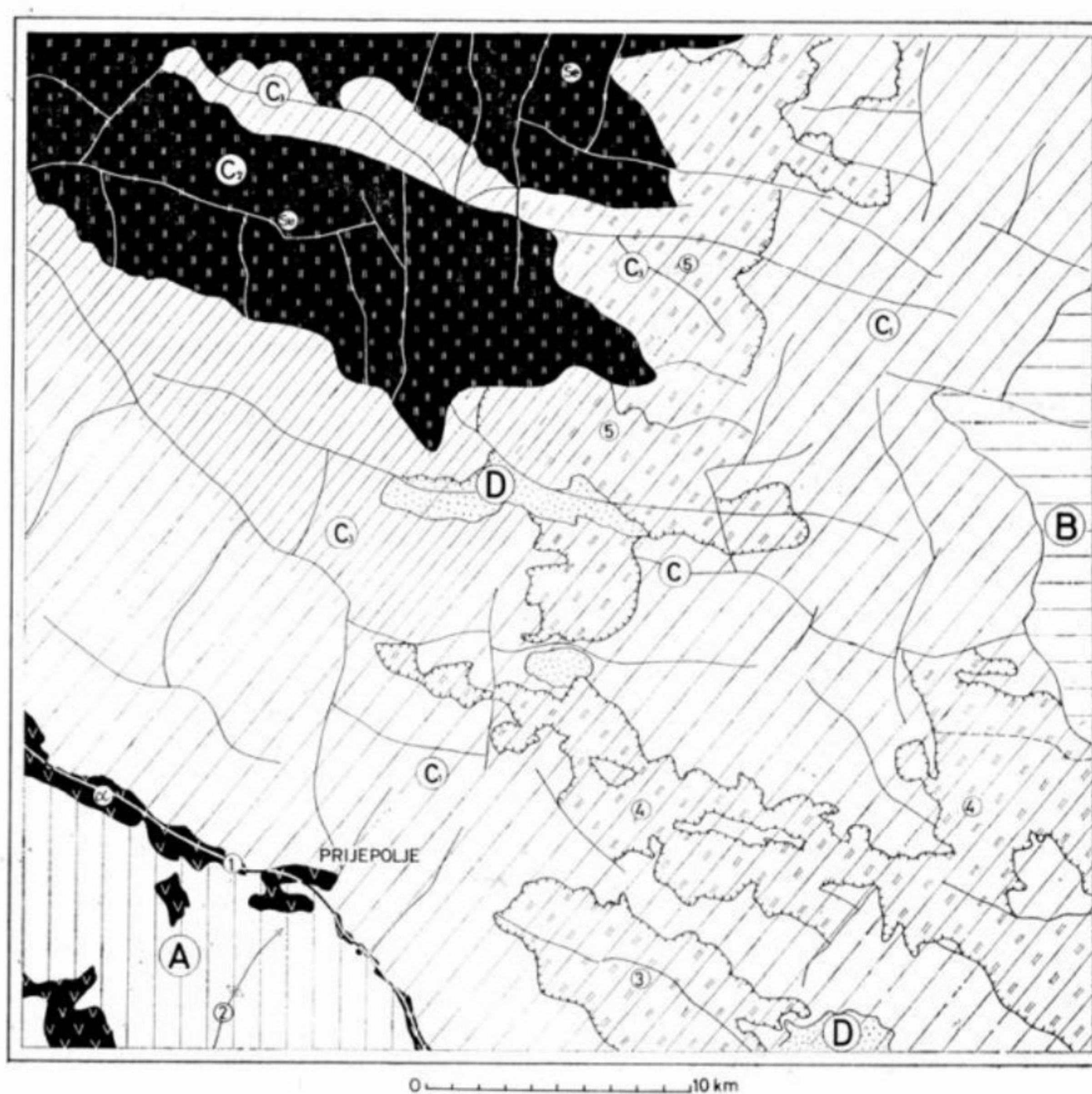
JEDINICA SELJAŠNICE (A)

Ova jedinica obuhvata malu površinu na samom obodu lista i predstavlja severoistočne obodne delove paleozojske zone koja se prostire jugozapadno od lista. Predstavljena je pretežnim delom paleozojskim metamorfitima srednjeg i gornjeg karbona, preko kojih se nalaze krečnjaci srednjeg i gornjeg trijasa. Od sledeće, severoistočno razvijene zlatiborsko-užičke mezozojske zone odvojena je velikim razlomom Brašanac-Čadinje-Sopotnica (1) koji je bio i glavni dovodni kanal vulkana. Paleozojski metamorfiti u jugozapadnom delu lista grade antiklinalu Đurđevog brda (2) dosta blagog nagiba krila, čija osa tone ka SSI.

ZLATIBORSKO-UŽIČKA MEZOZOJSKA ZONA(C)

Ova zona obuhvata srednje delove lista, gde su rasprostranjene pretežno trijaske (retko donje, znatno češće srednje i gornjotrijaske) i jurske tvorevine.

Jedino u jugozapadnom delu terena tvorevine dijabaz-rožnačke formacije pokazuju pretežno normalnu slojevitú građu. Idući ka dolini Lima dijabaz rožnačka formacija se kao i u svim drugim delovima terena, karakteriše pretežno haotičnom građom. Pored blokova peščara u alevrolitima i glincima nalaze se i brojni olistoliti trijaskih i jurskih krečnjaka, a osim njih i prostrane (km-dimenzija) subhorizontalne ploče istih krečnjaka. Ploče su nastale gravitacionim kliženjem sa oboda ili iz obodnih delova basena. Za razliku od olistolita, kod kojih je „suljanje“ u basen bilo nepravilno ove klizne liske su kretane dosta pravilno i nalaze se pretežno subhorizontalno. Lokalno se u njima zapaža intenzivna ubranost, ali na drugim mestima su skoro masivne ili neubrane. Dimenzije ovih kliznih liski su kao i njihova učestalost veće idući ka ivanjičko-golijskom paleozoiku, te najverovatnije potiču sa njega. Najznačajnije ovakve gravitacione navlake nalaze se u području Miloševog Dola (3) odakle se nastavljaju na Jadovnik (izvan lista).



Slika 3. Pregledna tektonska karta lista Prijepolje, preuzeto iz OGK lista Prijepolje, Ćirić i dr. (1980)

3. METODOLOGIJA ISPITIVANJA

Metode ispitivanja stena koje su izvršene su optička mikroskopija urađena na Departmanu za mineralogiju, kristalografiju, petrologiju i geochemiju Univerziteta u Beogradu - Rudarsko-geološkog fakulteta i elektronska mikrosonda urađena na Institutu za geofiziku, geochemiju i mineralogiju Univerziteta u Minsteru u Nemačkoj.

3.1. Laboratorijska ispitivanja

Za laboratorijska ispitivanja korišćene su metoda polarizacionog mikroskopa i EMPA metoda. Metoda polarizacionog mikroskopa je najvažnija metoda kada su u pitanju petrološka ispitivanja.

3.1.1 Optička mikroskopija

Metoda polarizacionog mikroskopa podrazumeva identifikaciju minerala na osnovu njihovih optičkih osobina. Kod polarizacionog mikroskopa za propuštenu svetlost, potrebno je napraviti petrografski preparat. On predstavlja odsečak uzorka (stena, mineral ili neki drugi materijal) debljine između 25 i 35 mikrona koji je specijalnim dvokomponentnim epoksi smolama zalepljen između dve staklene pločice (Erić, 2019). Brušenjem i poliranjem se dobija ovako mala debljina stene, koja ima za cilj posmatranje optičkih osobina minerala, struktura, tekstura, alteracije i sl. Na osnovu uzoraka stene koji su izdvojeni kao reprezentativni napravljen je petrografski preparat, u ovom slučaju preparat „Bistrica 01” koji je posmatran u mikroskopu sa slike (slika 4).



Slika 4. Petrografski polarizacioni mikroskop za propuštenu svetlost Carl Zeiss, Axioscope 5, kamera Zeiss, AxioCam 208 color

3.1.2. EMPA analiza

Prednost metode je brza i prilično pouzdana hemijska analiza koja može biti izvršena kao tačkasta analiza, sa dimenzijama analizirane tačke oko 2 mikrona. Elektronski top obezbeđuje snažan izvor elektrona i omogućava bombardovanje uzorka što većim brojem elektrona. Uređaj na kome su izvršena ispitivanja je marke Jeol JXA-8530F (field emission electron probe microanalyzer). Svi ispitivani preparati su prethodno pripremljeni i prekriveni slojem ugljenika radi bolje elektroprovodnosti.



Slika 5. Elektronska mikrosonda na Institutu za geofiziku, geochemiju i mineralogiju u Minsteru, Nemačka, marke Jeol JXA-8530F



Slika 6. Izgled petrografskih preparata pripremljenih za analiziranje mikrosandom

Na slici broj 6 su prikazani preparati koji su spremni za analizu mikroskopom. Za analizu mikroskopom bitno je da preparat bude pripremljen na pravilan način i da je prekriven slojem ugljenika zbog što bolje elektoprovodljivosti.

4. SPECIJALNI DEO

Amfiboliti Bistrice predstavljaju metamorfne stene nastale regionalnim metamorfizmom. Najvećim delom ova stena je izgrađena od amfibola, granata, plagioklasa, kvarca, piroksena i epidota.

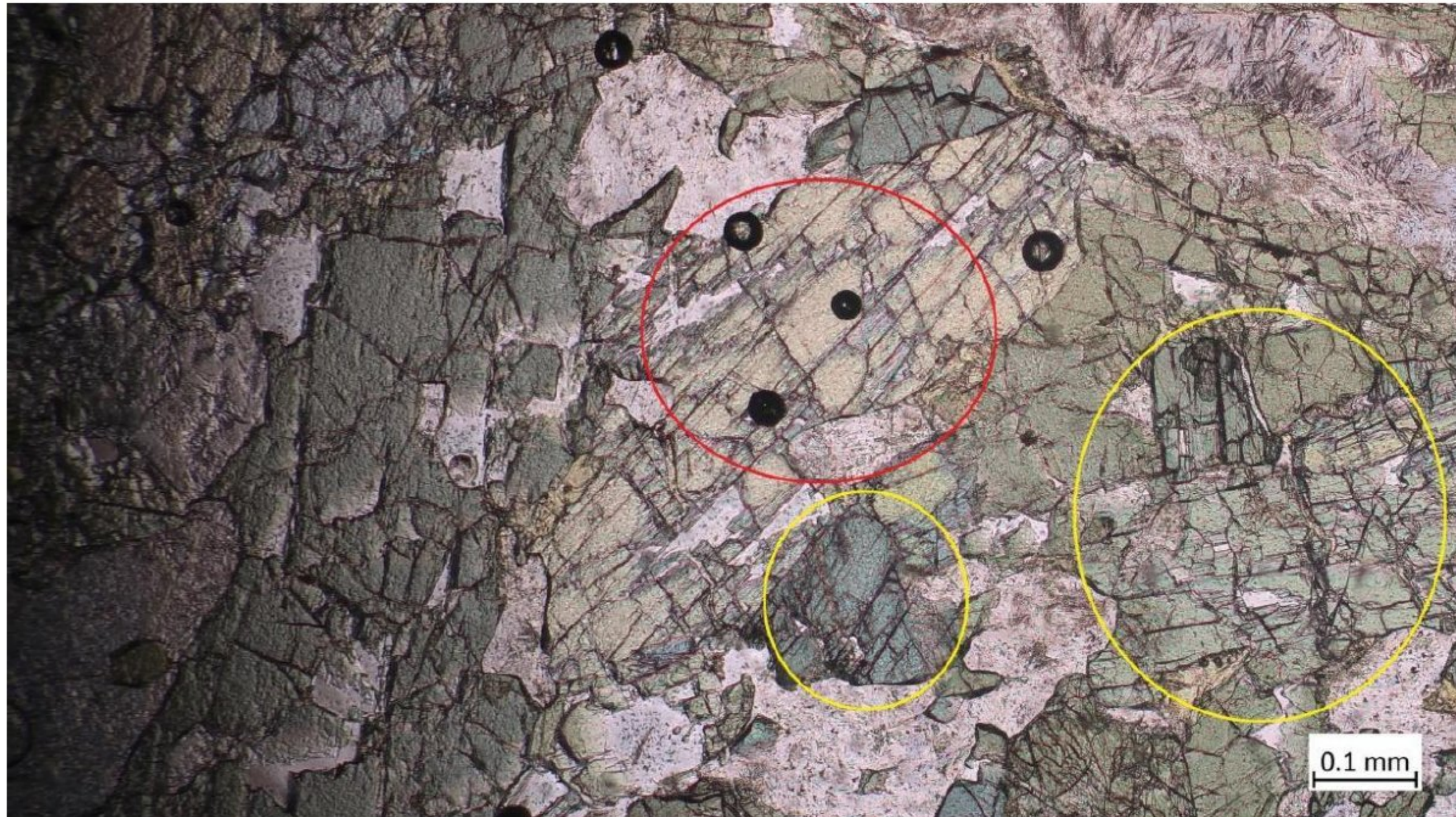
4.1. Rezultati

4.1.1. Analiza preparata polarizacionim mikroskopom

Analizom petrografskih preparata utvrđeno je da je struktura stene porfiroblastična sa elementima nematoblastične, dok je tekstura stene masivna. Minerali koji izgrađuju stenu su amfiboli, pirokseni, granati, plagioklasi, kvarc i hlorit.

Amfibol je najzastupljeniji sastojak u steni, gradi 40-50 % vol. stene. Amfiboli su inosilikati sa prisutnom OH grupom. Imaju visok pozitivan reljef i interferentne boje drugog reda, imaju izraženu cepljivost koju karakteriše ugao cepljivosti od 124 stepeni.

Zrna amfibola su hipidiomorfna do alotrimorfna, veličine oko 2-3mm. Javljaju se samostalno, najčešće se nalaze u kontaktu sa piroksenom i granatom. Amfibol je dosta ispucao i između porfiroblasta može se pojaviti sekundarni hlorit.

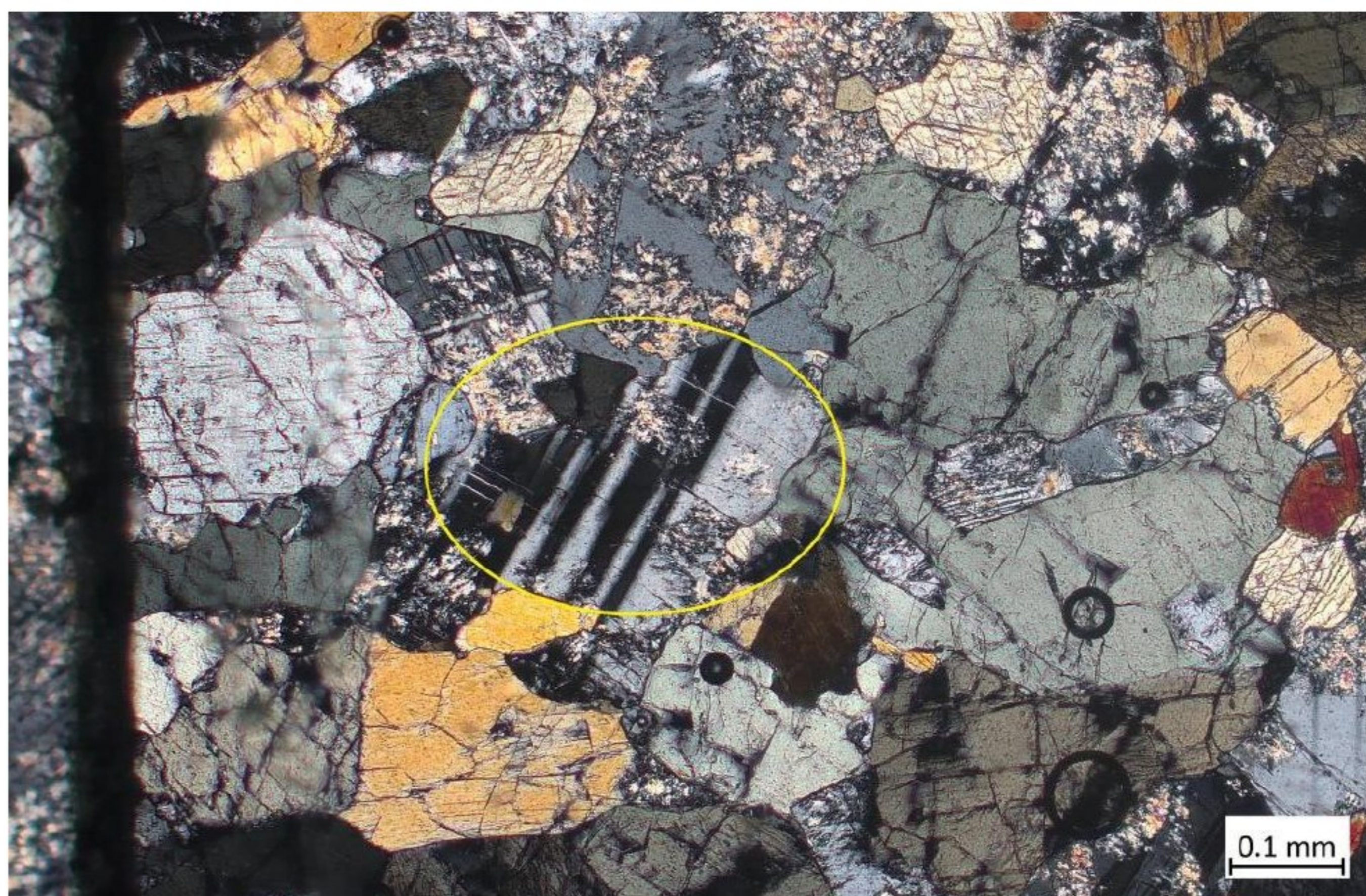


Slika 7. Amfibol (žuta oznaka) i piroksen (crvena oznaka), zrno amfibola u manjem krugu ima karakterističnu cepljivost

Pirokseni (slika 7) su inosilikati sa jednostrukim lančanim vezama kod kojih su SiO_4 tetraedri povezani u prost lanac.

Visokog su reljefa i visokih interferentnih boja, a ugao cepljivosti je 87-89 stepeni. Pirokseni se javljaju u zrnima različitih formi i različite krupnoće, uglavnom su hipidiomorfni do alotrimorfni, veličina koja je najviše zastupljena je 1mm. Najčešće su u kontaktu sa amfibolima, ali pored toga neka zrna se nalaze u kontaktu i sa kvarcom. Najvećim delom zrna piroksena se u steni javljaju kao grupacije koje su većim delom ispucale i zapunjene hloritom.

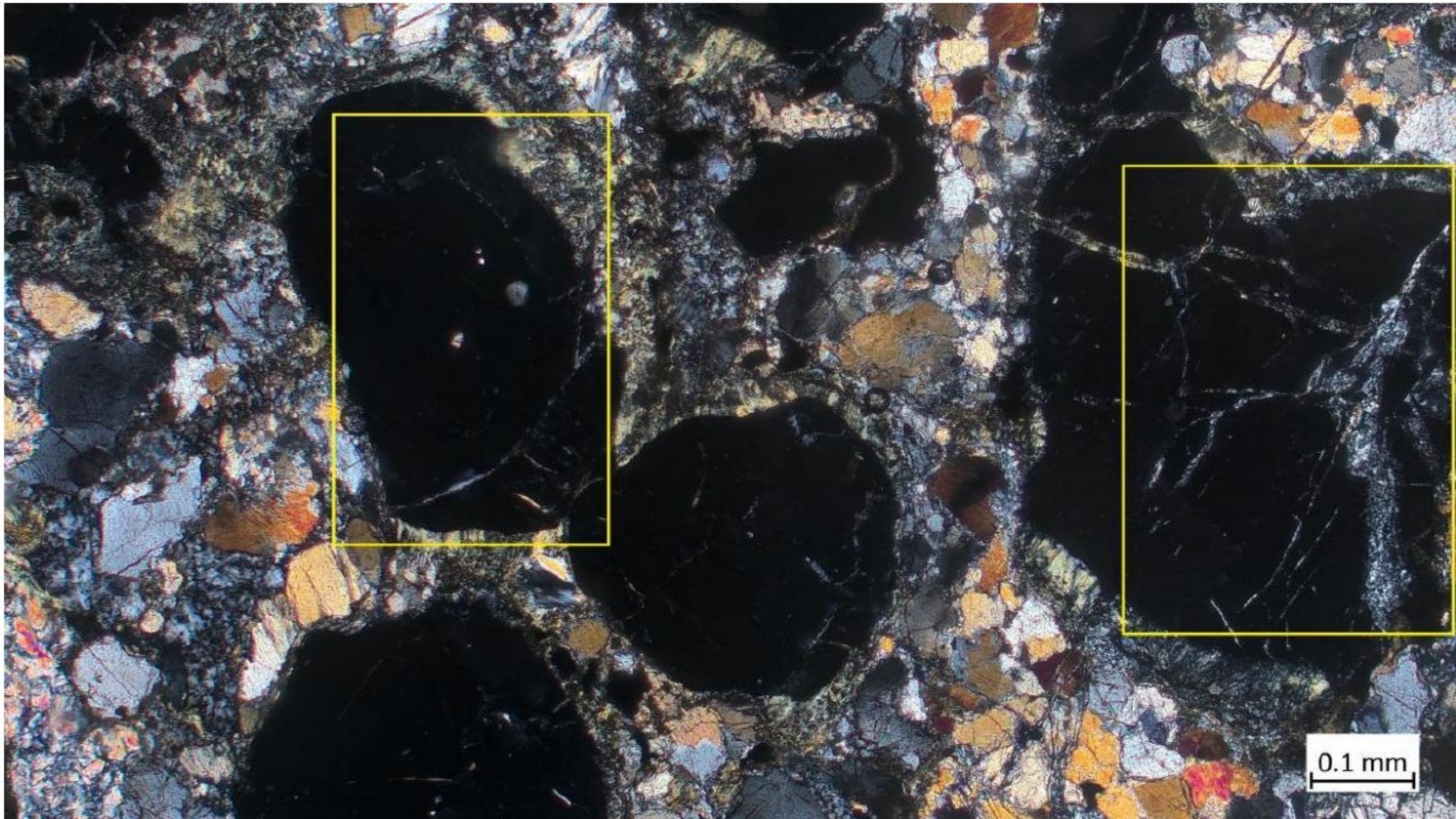
Plagioklasi se javljaju u vidu izduženih kristala i karakteristični su po lamelarnom polisintetičkom bližnjenju. Imaju nizak reljef i niske interferentne boje prvog reda.



Slika 8. Zrno plagioklasa sa karakterističnim lamelarnim bližnjenjem

Porfiroblasti granata su jedini izotropni minerali, imaju karakteristiku da su na nekim mestima porfiroblasti ispresecani pukotinama koje su zapunjene hloritom. Forme pojavljivanja su hipidiomorfna do alotrimorfna zrna ovalnog oblika, veličine preko 0,5mm.

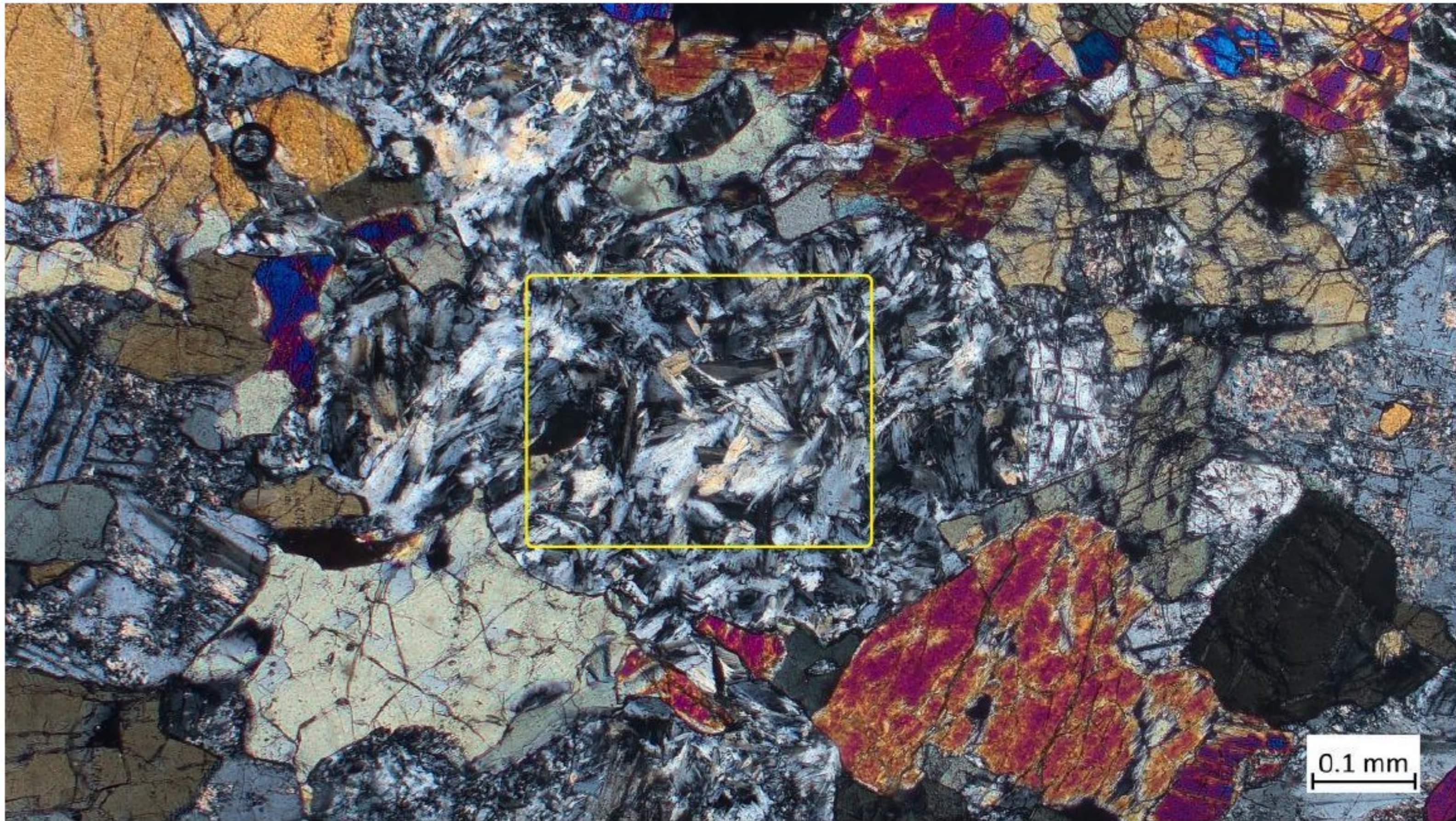
Po obodu granata javlja se reakcioni rub izgrađen od mešavine hlorita i kvarca, što nam ukazuje na retrogradne uslove metamorfizma kojim je ova stena bila podvrgnuta.



Slika 9. Levo na slici prikazano je zrno granata sa reakcinom rubom, dok je desno na slici pukotina u zrnu granata zapunjena hloritom i kvarcom

Zrna kvarca su niskog reljefa i niskih interferentnih boja, uglavnom hipidiomorfno do alotrimorfno oblika sa relativno malom zastupljenošću u steni. Ima nizak reljef i niske interferentne boje prvog reda, a veličina zrna kvarca je oko 0,25mm. Može se reći da kvarc zapunjava međuprostore između ostalih minerala. Neka zrna kvarca pokazuju undulatorno pomračenje.

Hlorit se javlja u radijalno zrakastim formama, veličine oko 0,1mm. Interferira u beloj i sivo-plavičastoj boji i pokazuje nizak do srednji reljef, dok samo pojedinačne liske hlorita pokazuju slab polihroizam u svetlozelenoj boji, u zavisnosti od optičke orijentacije liski. Nalazi se u kontaktu sa piroksenima i amfibolima. Vrlo često ovaj mineral zapunjava pukotine u granatima i piroksenima, dok je njegova najveća koncentracija na reakcionom rubu oko porfiroblasta granata.



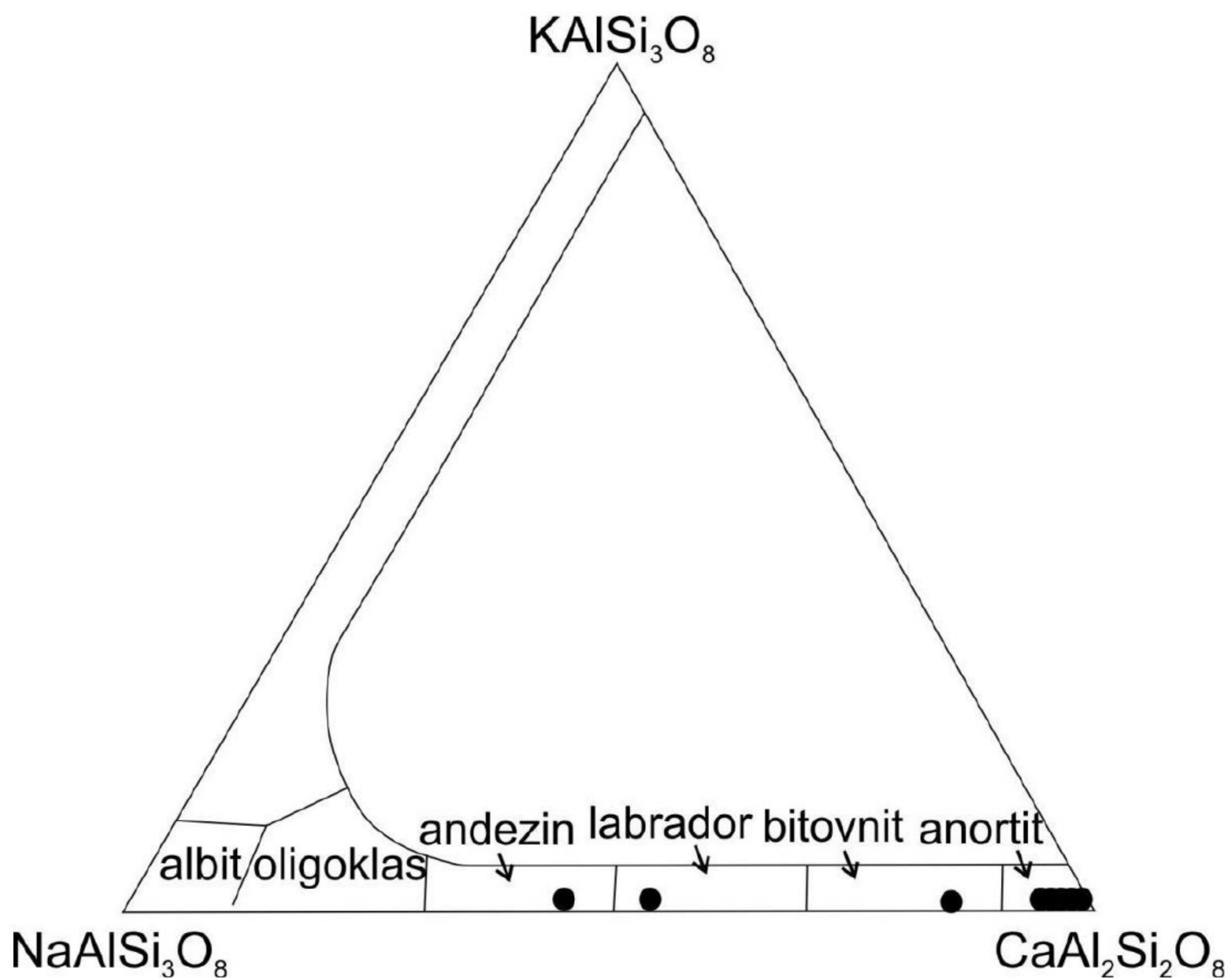
Slika 10. Mešavina radijalnozrakastih i ljuspastih agregata hlorita, obeležena kvadratom

4.1.2. Hemijski sastav minerala (EMPA analiza)

Primenom EMPA metode dobijene su hemijske analize pojedinačnih mineralnih faza u ispitivanom uzorku. Metoda zahteva tačkastu analizu sa dimenzijama tačke od 2 mikrona. Ispitivani preparat je prethodno prekriven slojem ugljenika radi bolje elektroprovodnosti.

Tabela 1. Hemijski sastav i proračun strukturne formule plagioklasa

Mineral	plagioklas	plagioklas	plagioklas	plagioklas	plagioklas	plagioklas	plagioklas	plagioklas	plagioklas
Broj analize	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO₂	46,60	57,31	54,10	57,54	68,70	68,87	68,68	68,98	67,32
TiO₂	0,04	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,03
Al₂O₃	33,46	26,95	29,27	27,08	19,25	19,55	18,93	19,20	19,93
FeO	0,00	0,08	0,01	0,01	0,06	0,03	0,26	0,31	0,06
MnO	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02
MgO	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	17,48	9,21	11,95	9,13	0,28	0,33	0,15	0,16	0,89
Na₂O	1,58	6,76	4,90	6,75	11,62	12,01	11,72	12,04	11,39
K₂O	0,00	0,03	0,02	0,03	0,03	0,08	0,09	0,05	0,08
Total	99,20	100,35	100,27	100,5 6	99,99	100,89	99,85	100,77	99,72
Proračun na 8 kiseonika (O)									
Si	2,158	2,564	2,438	2,567	3,001	2,988	3,007	2,996	2,958
Al	1,827	1,421	1,554	1,424	0,991	1,000	0,977	0,983	1,032
Fe³⁺	0,000	0,003	0,000	0,000	0,002	0,001	0,009	0,011	0,002
Ti	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001
Z	3,987	3,988	3,993	3,991	3,995	3,988	3,993	3,991	3,994
Mn	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
Mg	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,867	0,441	0,577	0,436	0,013	0,015	0,007	0,007	0,042
Na	0,142	0,586	0,428	0,584	0,984	0,010	0,995	1,014	0,970
K	0,000	0,002	0,001	0,002	0,002	0,004	0,005	0,003	0,004
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
X	1,011	1,030	1,007	1,023	0,999	1,031	1,007	1,024	1,017
Or (K⁺)	0,0	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,5	0,3	0,4
Ab (Na)	14,0	56,9	42,5	57,1	98,5	98,0	98,7	99,0	95,4
An (Ca⁺)	86,0	42,9	57,3	42,8	1,3	1,6	0,7	0,7	4,2
Or (K)	0,0	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,5	0,3	0,4
Ab (Na)	14,0	56,9	42,5	57,1	98,5	98,0	98,7	99,0	95,4
An (Ca⁺)	86,0	42,9	57,3	42,8	1,3	1,6	0,7	0,7	4,2
Cn (Ba)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

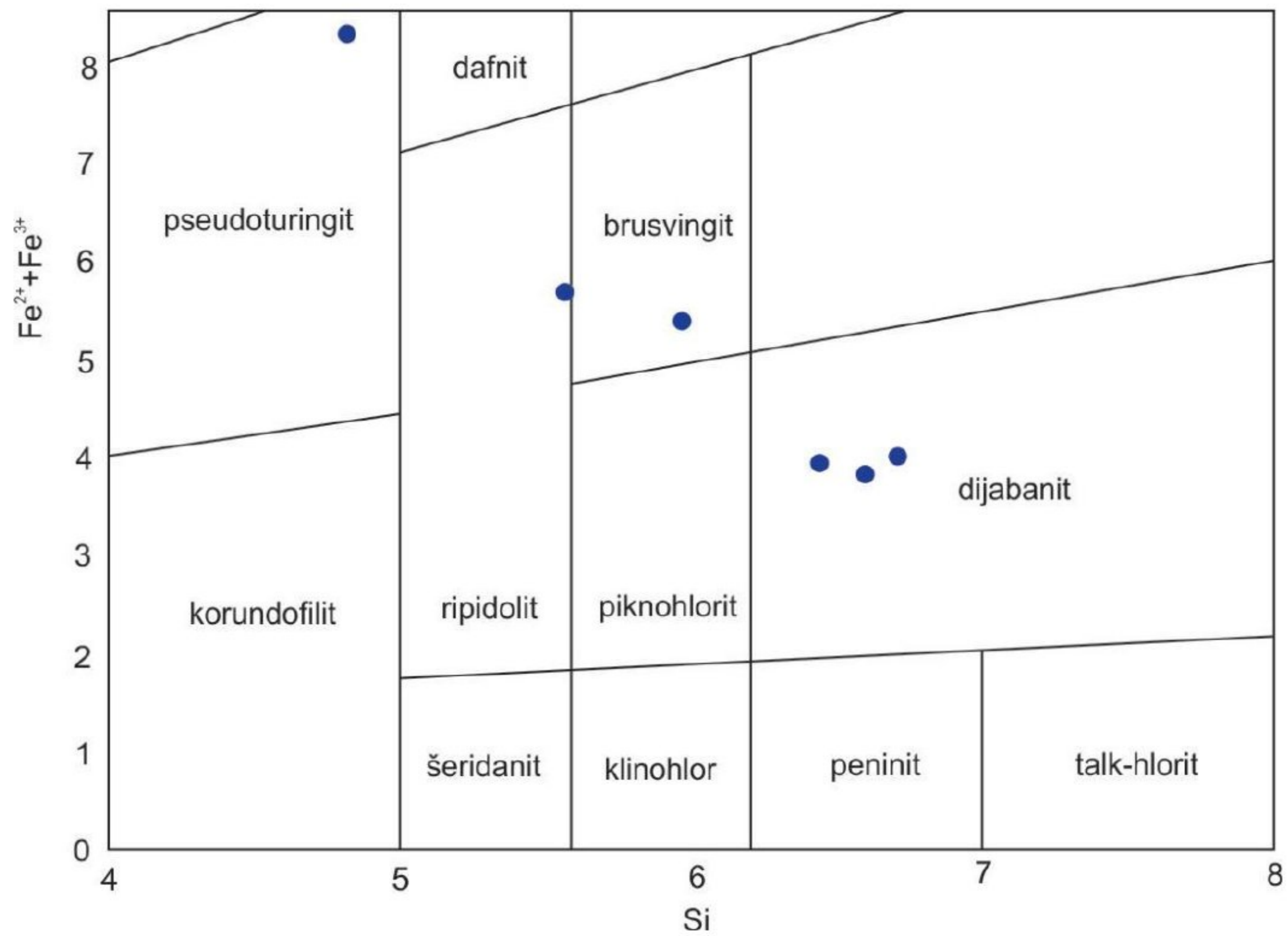


Slika 11. Trokomponentni klasifikacioni dijagram feldspata, Greenwood and Earnshaw (1998)

Dijagram na slici 11 prikazuje klasifikaciju feldspata na osnovu sadržaja albitske odnosno anortitske komponente. Na osnovu EMPA analize se može ustanoviti da je najveći broj plagioklasa bazičnog, anortitskog, kao i delom intermedijarnog sastava. Plagioklasi čiji sastav odgovara albitu i oligoklasu u uzorku nisu pronađeni.

Tabela 2. Hemijski sastav i proračun strukturne formule hlorita

Mineral	Hlorit	Hlorit	Hlorit	Hlorit	Hlorit	Hlorit
Broj analize	1	2	3	4	5	6
SiO₂	33,65	31,01	31,77	27,34	25,08	24,67
TiO₂	0,01	0,00	0,03	0,05	0,19	0,13
Al₂O₃	14,66	15,98	15,01	16,85	19,15	16,96
FeO	24,27	22,98	22,32	29,86	31,06	31,57
MnO	0,22	0,20	0,17	0,17	0,63	0,65
MgO	10,19	15,07	15,62	11,5	9,1	9,74
CaO	0,96	0,91	0,88	0,63	1,1901	0,1237
Na₂O	1,22	0,04	0,20	0,08	0,01	0,01
K₂O	0,03	0,04	0,02	0,00	0,00	0,0
BaO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rb₂O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cs₂O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZnO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F	0,16	0,06	0,00	0,00	0,00	0,13
Cl	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00
Cr₂O₃	0,05	0,02	0,09	0,05	0,00	0,00
NiO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H₂O	11,54	11,35	11,43	10,92	10,76	15,78
Total	100,45	97,97	97,85	97,57	97,25	102,46
Formula proračunata na 36 kiseonika (O)						
Si	6,718	6,448	6,596	5,975	5,575	4,827
Ti	0,002	0,000	0,004	0,008	0,032	0,019
Al	4,0156	3,916	3,673	4,340	5,017	4,541
Cr	0,008	0,003	0,014	0,008	0,000	0,000
Fe³⁺	0,811	0,496	0,483	0,174	0,132	0,000
Fe²⁺	3,241	3,500	3,393	5,284	5,641	8,428
Mn	0,037	0,036	0,029	0,031	0,118	0,108
Mg	3,033	4,671	4,835	3,746	3,015	2,841
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,205	0,203	0,196	0,147	0,283	0,026
Na	0,947	0,033	0,163	0,069	0,007	0,008
K	0,016	0,023	0,013	0,002	0,002	0,015
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
F	0,196	0,080	0,000	0,000	0,000	0,164
Cl	0,008	0,006	0,003	0,014	0,000	0,000
OH*	15,796	15,914	15,997	15,986	16,000	15,836
Total	35,173	35,329	35,400	35,784	35,823	36,813

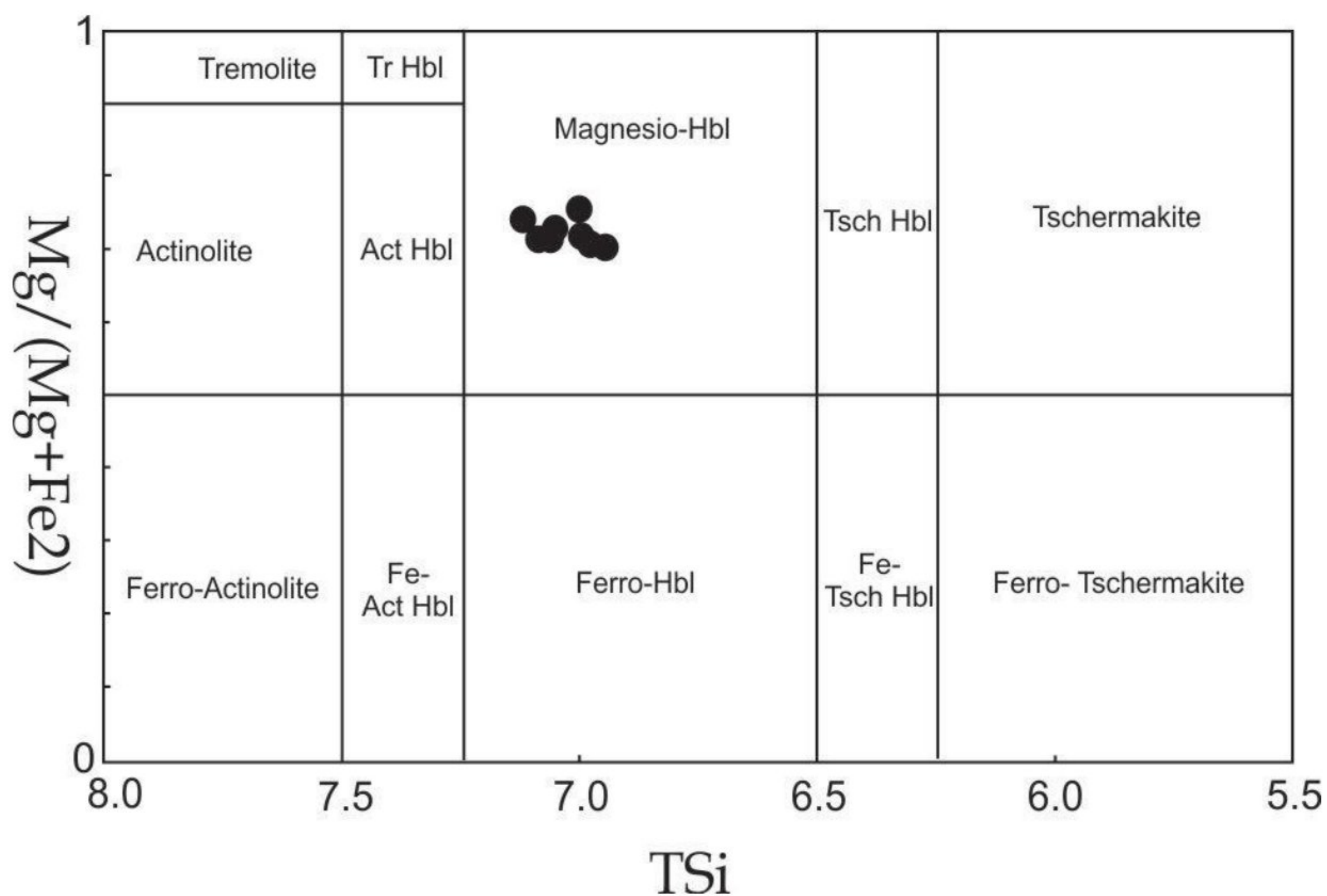


Slika 12. Klasifikacioni dijagram minerala iz grupe hlorita na osnovu sadržaja ukupnog Fe i Si, Hey (1954)

Minerali iz grupe hlorita su klasifikovani na dijagramu na osnovu sadržaja gvožđa i silicijuma. Najviše su zastupljeni minerali iz grupe dijabanita. Hloriti iz grupe ripidolit, brusvingita i pseudoturingita su manje zastupljeni.

Tabela 3. Hemijski sastav i proračun strukturne formule amfibola

Mineral	Amfibol	Amfibol	Amfibol	Amfibol	Amfibol	Amfibol	Amfibol	Amfibol
Broj analize	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO₂	47,91	47,74	48,35	48,69	48,56	47,84	48,34	48,75
TiO₂	1,14	1,02	0,99	0,71	0,64	0,76	0,59	0,53
Al₂O₃	7,65	7,56	6,94	7,15	6,92	7,19	7,31	6,73
FeO	13,54	13,02	12,56	13,18	13,14	13,16	12,82	12,34
MnO	0,32	0,31	0,32	0,28	0,29	0,25	0,30	0,33
MgO	14,03	14,04	14,24	14,31	14,52	14,25	14,77	14,75
CaO	11,67	11,67	11,60	11,76	11,83	11,75	11,60	11,59
Na₂O	1,43	1,35	1,23	1,13	1,28	1,24	1,21	1,25
K₂O	0,09	0,06	0,06	0,08	0,04	0,11	0,10	0,05
Cr₂O₃	0,03	0,09	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02
NiO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00096	0,0072	0,0012	0,0048	0,0012	0,024	0,00
Total	97,81	96,86	96,35	97,32	97,28	96,69	97,23	96,34
Si	6,943	6,973	7,079	7,056	7,048	6,999	7,000	7,114
Al^{IV}	1,057	1,027	0,921	0,944	0,952	1,001	1,000	0,886
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Z	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al^{VI}	0,249	0,274	0,277	0,278	0,232	0,239	0,248	0,271
Ti	0,124	0,112	0,109	0,077	0,070	0,084	0,064	0,058
Fe₃	0,338	0,310	0,281	0,361	0,384	0,0389	0,475	0,333
Cr	0,004	0,010	0,001	0,003	0,001	0,002	0,005	0,003
Mg	3,031	3,057	3,108	3,092	3,142	3,108	3,189	3,209
Fe₂	1,254	1,237	1,224	1,189	1,172	1,178	1,021	1,126
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe₂	0,049	0,043	0,033	0,047	0,039	0,043	0,057	0,047
Mn	0,039	0,038	0,040	0,035	0,036	0,030	0,036	0,041
Ca	1,812	1,826	1,820	1,826	1,840	1,842	1,800	1,812
Na	0,100	0,093	0,107	0,093	0,085	0,084	0,107	0,100
B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,302	0,290	0,241	0,226	0,273	0,267	0,233	0,253
K	0,016	0,012	0,010	0,014	0,008	0,020	0,018	0,009
A	0,318	0,302	0,251	0,240	0,281	0,287	0,252	0,262

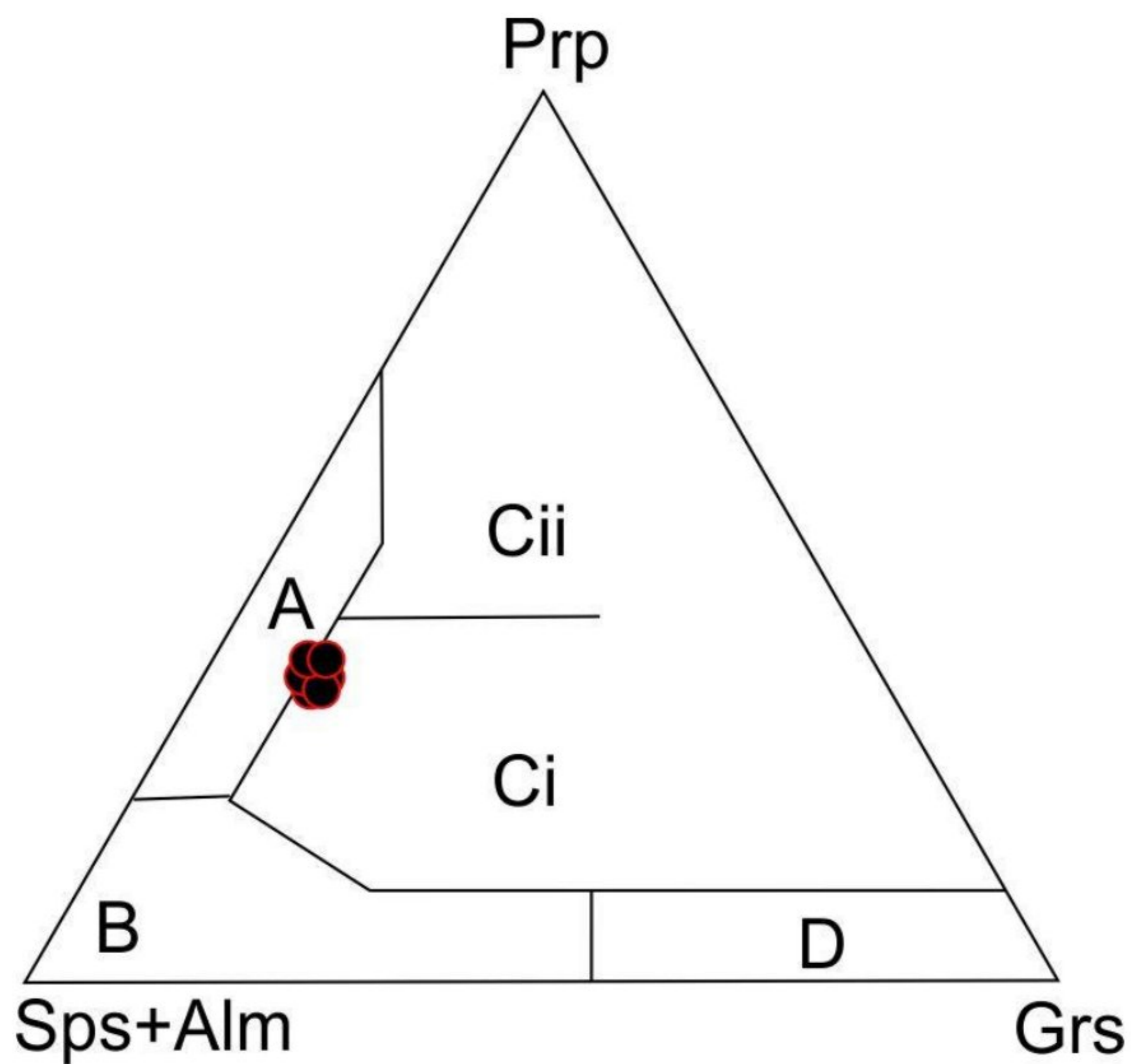


Slika 13. Klasifikacioni dijagram amfibola, po Leake et. al. (1997)

Minerali iz grupe amfibola su klasifikovani na dijagramu na osnovu sadržaja magnezijuma, gvožđa i silicijuma. Plotovani rezultati padaju u polje hornblende sa povećanim sadržajem magnezijuma.

Tabela 4. Hemijski sastav i proračun strukturne formule granata

Mineral	Granat	Granat	Granat	Granat	Granat	Granat
Broj analize	1	2	3	4	5	6
SiO₂	39,97	39,68	39,48	39,67	39,58	39,55
TiO₂	0,11	0,15	0,01	0,05	0,08	0,11
Al₂O₃	21,95	22,03	21,49	21,92	21,57	21,8
FeO	21,69	21,55	22,22	22,36	21,73	21,61
MnO	0,49	0,52	0,53	0,59	0,55	0,57
MgO	10,28	10,42	10,03	9,95	10,01	9,81
CaO	6,07	5,87	6,29	6,26	6,04	6,87
Na₂O	0,02	0,03	0,04	0,00	0,07	0,07
K₂O	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00
Cr₂O₃	0,06	0,06	0,06	0,07	0,04	0,06
NiO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,65	100,34	100,16	100,87	99,69	100,45
Proračun na 12 kiseonika						
Si	3,005	2,990	2,989	2,985	3,007	2,984
Al	0,005	0,010	0,011	0,015	0,007	0,016
T	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Al	1,950	1,946	1,906	1,928	1,939	1,922
Cr	0,003	0,004	0,004	0,004	0,002	0,003
Fe₃	0,033	0,052	0,108	0,078	0,055	0,090
Ti	0,006	0,008	0,000	0,003	0,005	0,006
	1,992	2,009	2,018	2,013	2,001	2,021
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	1,152	1,170	1,132	1,116	1,134	1,103
Fe₂	1,331	1,306	1,299	1,329	1,326	1,274
Mn	0,031	0,033	0,034	0,038	0,036	0,037
Ca	0,489	0,474	0,510	0,505	0,492	0,555
Na	0,003	0,005	0,006	0,000	0,011	0,010
K	0,001	0,002	0,001	0,000	0,002	0,000
	3,008	2,991	2,982	2,987	2,999	2,979
Py	38,3	39,1	38,0	37,4	37,8	37,0
Alm	44,3	43,7	43,6	44,5	44,2	42,8
Gro	14,1	12,7	11,6	12,7	13,3	13,7
And	2,0	3,0	5,4	4,0	3,0	4,7
Uv	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
Sp	1,0	1,1	1,1	1,3	1,2	1,2



Slika 14. Klasifikacioni dijagram granata, po Mange i Morton (2007)

Na osnovu klasifikacionog dijagrama najveću zastupljenost iz serije granata imaju pirop i almandin, koji pripadaju granatima iz grupe pirsalpita. Veći procentualni sadržaj ima almandin, jer je protolit bio bogatiji gvožđem u odnosu na magnezijum.

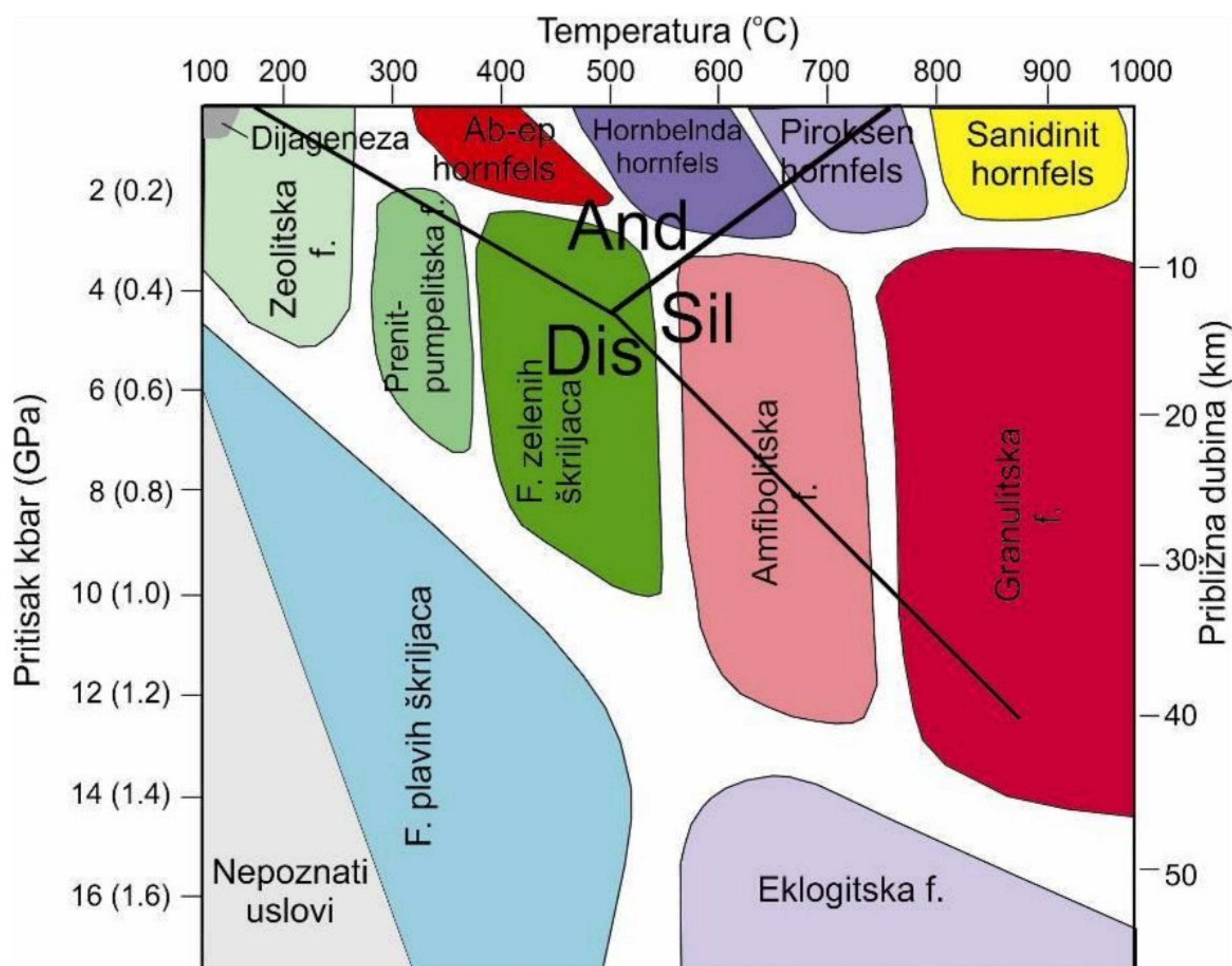
Tabela 5. Tabela kompletne hemijske analize stene sa prikazanim mikro i makro elementima

Mineral	Amfibolit Bi14	Amfibolit Bi15	Amfibolit Bi16	Amfibolit Bi17
SiO2	46,5	45,24	43,02	46,22
TiO2	0,16	0,25	0,82	1,82
Al2O3	16,68	17,96	14,43	13,70
Fe2O3	5,09	5,56	9,62	13,46
MnO	0,09	0,1	0,14	0,20
MgO	11,29	11,25	5,60	6,02
CaO	15,06	13,66	15,78	3,09
Na2O	2,33	2,32	3,09	4,94
K2O	0,28	0,44	0,03	0,15
P2O3	0	0	0,05	0,15
Cr2O3	0,13	0,2	0,03	0,02
NiO	0,02	0,03	0,01	0,01
Li	1,83	3,32	11,58	40,10
Sc	39,24	33,02	38,15	43,45
V	123	141	225,8	354,09
Cr	803	1647	154,60	100,00
Ni	176	258	58,31	52,67
Rb	3,09	5,29	0,17	3,77
Sr	124	151	50,51	143,31
Y	4,37	7,91	22,99	32,61
Zr	1,66	3,75	34,14	90,76
Nb	022	0,27	0,39	2,11
Cs	0,31	0,37	0,02	0,93
Ba	28,12	41,28	16,74	39,49
La	0,32	0,79	1,24	2,60
Cs	0,74	2,17	3,93	8,48
Pr	0,13	0,3	0,78	1,55
Nd	0,73	1,84	4,77	9,33
Sm	0,29	0,7	1,85	3,53
Eu	0,24	0,41	0,78	1,11
Gd	0,57	1	3,02	4,78
Tb	0	0,18	0	0,85
Dy	0,8	1,42	3,91	6,04
Ho	0	0,29	0	1,34
Er	0,5	0,8	2,56	3,92
Tm	0	0,12	0	0,56
Yb	0,49	0,8	2,81	3,79
Hl	0,07	0,16	1,08	2,53

5. STEPEN METAMORFIZMA ISPITIVANIH STENA

Cilj ovog rada bio je da se na osnovu mineralne asocijacije definiše stepen metamorfizma koje su ove stene pretprele, kao i da se odredi potencijalni protolit ovih stena, pomoću kompletnog hemijskog sastava. Odredba stepena metamorfizma je otežana usled:

- nepotpune ravnoteže minerala koji se pojavljuju u steni. Mineralne neravnoteže se mogu primetiti i u mikroskopskom preparatu, kada rekristalizacija postojećih i stvaranje novih minerala u stenama nije kompletno;
- širokih polja stabilnosti postojećih minerala koja se međusobno preklapaju;
- permeabilnosti minerala, jer omogućava cirkulaciju hidrotermalnih fluida što dovodi do metasomatskih promena i rastavaranja stene.



Slika 15. Dijagram metamorfnih facija u zavisnosti od pritiska i temperature, (Winter, 2001)

Stepen metamorfizma se odnosi na opseg metamorfnih promena kroz koje stena prolazi, a koje su uslovljene temperaturom i pritiskom. George Barrow je 1800-ih mapirao zone indeksnih minerala u različitim metamorfnim područjima koja su prošla kroz različite metamorfne uslove. Indeksni minerali se formiraju na određenim temperaturama i pritiscima i služe za određivanje metamorfnog stepena. Barrow je odredio progresiju indeksnih minerala, koja je nazvana Barovska sekvenca i koja predstavlja progresivan rast stepena metamorfizma:

hlorit >biotit >almandin >staurolit >disten >silimanit

U ispitivanim stenama javljaju se sledeći minerali: amfibol, piroksen, plagioklas, granat, hlorit i kvarc. Prisustvo pomenute mineralne asocijacije nam ukazuje da je stena pretrpela metamorfne promene visokog stepena, jer su svi minerali koji su prisustni karakteristični za visoke temperature. Metamorfizam visokog stepena počinje u faciji zelenih škriljaca na temperaturi od 500-550 °C. Kod metamorfizma visokog stepena primarne strukture metamorfisanih stena retko budu očuvane, pa se protolit određuje na osnovu hemijskog sastava minerala. Metamorfne facije su nezavisne od sastava protolita, pa tako na primer amfibolitskoj faciji ne pripadaju samo amfiboliti već i gnajsevi, mikašisti i mermeri, zbog toga je važno navesti kritične minerale koji grade nizove zavisne od progradnih metamorfnih promena. Kod metapelitskih protolita to je sledeći niz kritičnih minerala (prema porastu stepena metamorfizma):

Ilit-sericit-muskovit-disten-silimanit

kod metaklastita:

Biotit-staurolit-granat

I kod metamorfisanih protolita bazičnog karaktera:

Hlorit-aktinolit-hornblenda-piroksen, odnosno

epidot-biotit-granat

Na osnovu zastupljenosti minerala u steni možemo pretpostaviti da ispitivana stena pripada amfibolitskoj faciji, staurolit-almandin subfaciji koja se javlja na temperaturi 550-600 °C i pritisku od 4-6 Kb. Pripadnost amfibolita Bistrice jednoj od facija (subfacija) je prilično teško, sa obzirom da je stena zahvaćena retrogradnim metamorfizmom. Ovo se ogleda u tome što granati pokazuju „korona“ strukture na svojim obodima. Asocijacija minerala koja je karakteristična za ovu subfaciju u bazičnim stenama je:

Hornblenda+plagioklas+almandin+biotit

Metamorfne promene u amfibolitskoj faciji se na osnovu autora Tarnera i Verhogen (1960) odvijaju na temperaturi između 500-700 °C i pritisku od 4-9 Kbara. Odredba metamorfnih facija je najbolji način da se odredi protolit metamorfne stene u slučajevima kada stena nije zahvaćena retrogradnim promenama.

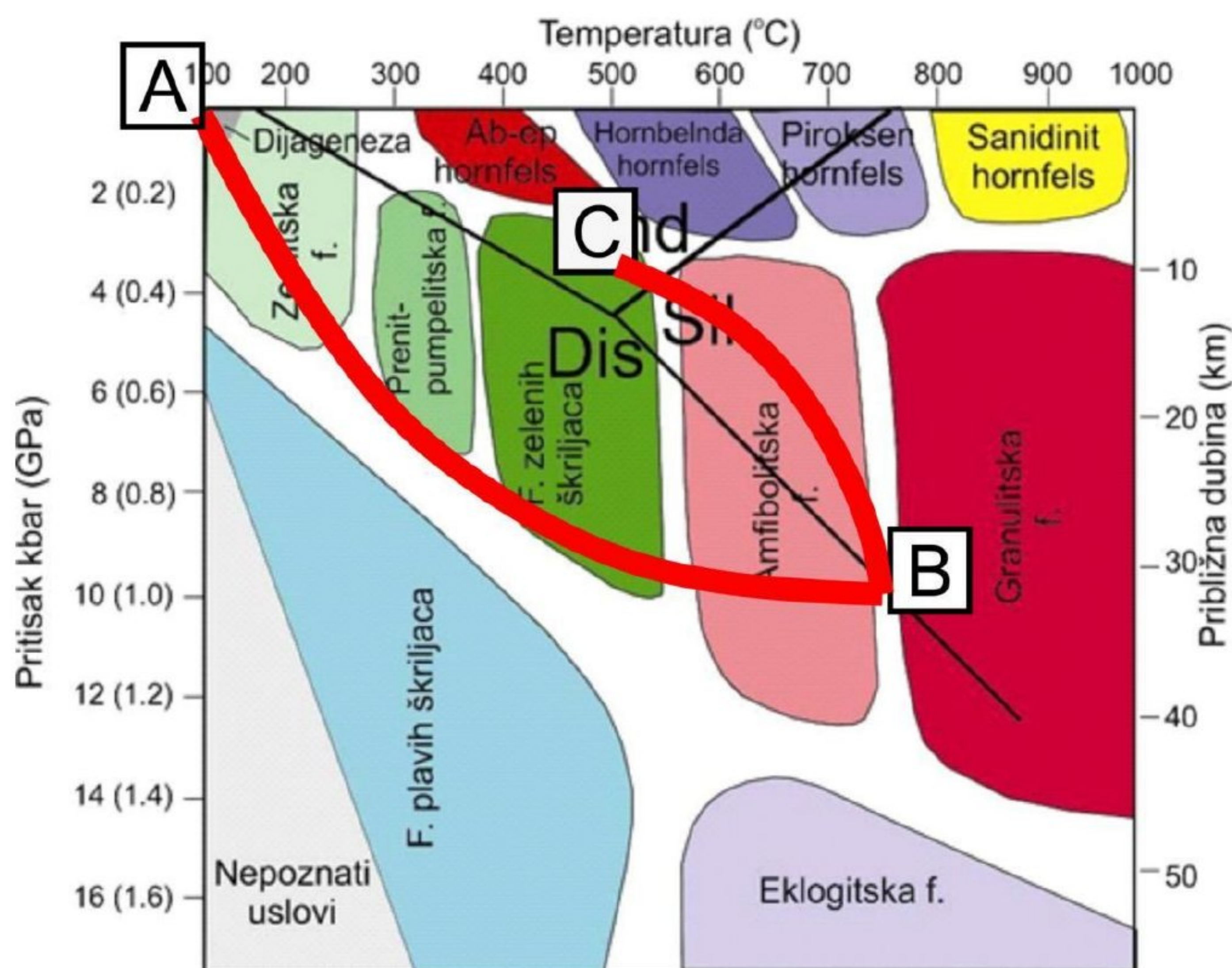
6. DISKUSIJA

U okolini Bistrice otkriveno je prisustvo amfibolita koji su predmet istraživanja ovog završnog rada. Petrografskom analizom uzorak je predstavljen porfiroblastičnom strukturom sa elementima nematoblastične stukture. Mineralni sastav stene čine pirokseni, amfiboli, granati, plagioklasi, kvarc i hlorit.

EMPA analizom utvrđen je hemijski sastav plagioklasa, hlorita, amfibola i granata. U tabeli 1 prikazan je hemijski sastav plagioklasa, na osnovu čega je utvrđeno da plagioklasi imaju visok sadržaj kalcijuma, što nam ukazuje da je od plagioklasa najviše zastupljen anortit, dok albit i oligoklas nisu pronađeni, pa

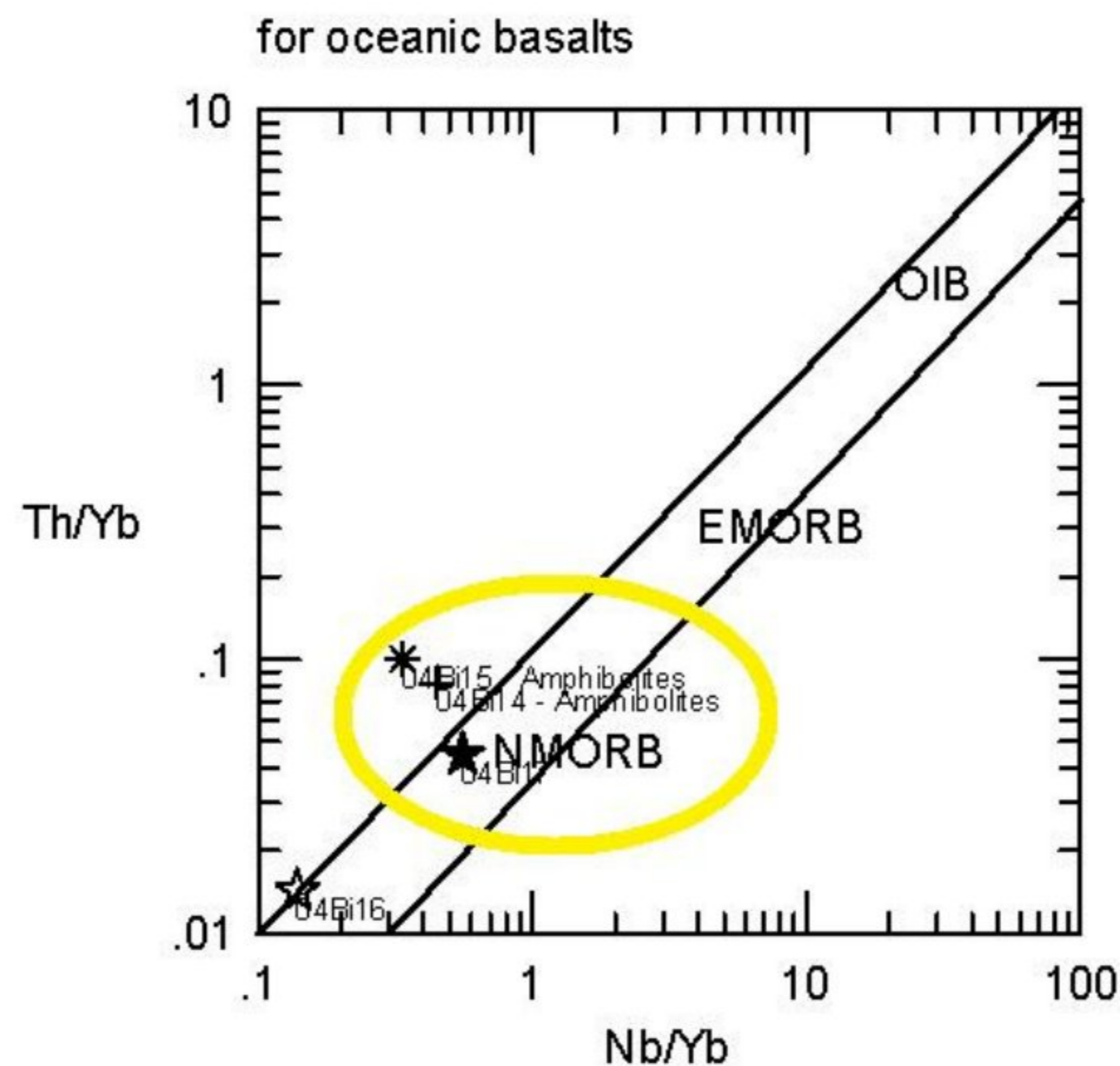
možemo zaključiti da je najveći broj plagioklasa bazičnog do intermedijarnog sastava. Hemijski sastav hlorita prikazan u tabeli 2 ukazuje da je prisutan varijetet dijabanit, pseudoturingit, ripidolit i brusvingit. U tabeli 3 pokazan je hemijski sastav amfibola i dominantni amfibol u steni je hornblenda sa povećanim sadržajem magnezijuma. Povećani sadržaj gvožđa i magnezijuma u tabeli 4 u kojoj je prikazan hemijski sastav granata govori da su granati predstavljeni piropom i almandinom.

Metamorfizam visokog pritiska i temperature niže u odnosu na pritisak se uglavnom vezuje za procese subdukcije. Tokom subdukcije, različite stene tektonski dospevaju u nivoe visokih pritisaka. U toku procesa subdukcije dolazi do subdukovanja okeanske litosferske ploče, pa se njenim podvlačenjem stene koje s njom dolaze u dodir više konduktivno hlade nego što se zagrevaju zbog trenja. Zbog toga subdukovane stene trpe povišen pritisak, ali ne i srazmerno visoke temperature. Protolit bi u tom slučaju prošao pritiske i temperature od tačke A do tačke B na dijagramu na slici 16. Došavši do maksimalne dubine na kojoj je stena bila izložena maksimalnim temperaturama i pritiscima, (pretpostavljamo do amfibolitske facije), ovaj proces progradnog metamorfizma se nastavlja na procese „izvlačenja“ ovih stena iz sredina subdukcije na površinu i krajnje obdukovanje na kontinentalnu koru. Opadanjem pritiska u odnosu na temperaturu počinje proces obdukcije i stene bivaju potisnute ka površini, kao što je prikazano putanjom na dijagramu (slika 16) od tačke B do tačke C. Na osnovu hloritisanih oboda granata u vidu korona struktura, markirane su retrogradne promene stene. Spektar mogućih protolita kod ovog tipa metamorfizma i nije tako širok, najčešće je reč o bazičnim stenama okeanske kore.



Slika 16. Pretpostavljeni PT uslovi i putanje ispitivane stene granatskih amfibolita Bistrice (Winter, 2001)

Takođe u steni je ustanovljeno prisustvo ortopiroksena koje nam ukazuje da ispitivana stena može predstavljati potencijalni granulit, odnosno da se najviši pik metamorfizma završio na granici između amfibolitske i granulitske facije.



Slika 17. Odnosi Th/Yb i Nb/Yb plotovani na dijagram. Žutim krugom je označena najveća koncentracija tačaka

Dijagram na slici 17 predstavlja prikaz rezultata dobijenih na osnovu tabele broj 5. Na dijagramu možemo videti da se ispitivani uzorci nalaze u polju N MORB (normalni bazalti srednjeokeanskog grebena) i da padaju u polje Th/Yb. Na osnovu toga možemo pretpostaviti da je okeanska kora tokom procesa subdukovanja postala obogaćenija elementima iz kontinentalne kore i da ispitivani uzorci imaju veće obogaćenje Th/Yb u odnosu na Nb/Yb.

Iz dobijenih podataka možemo pretpostaviti da je protolit ispitivane stene najverovatnije bio bazičnog karaktera, ali da je različitim procesima kontaminiran elementima čiji je sadržaj viši u kontinentalnoj kori.

7. ZAKLJUČAK

Bistrica se nalazi u jugozapadnom delu Srbije i obuhvata dolinu reke Lim. U tektonskom smislu pripada unutrašnjim Dinaridima. Stene koje grade ovaj kompleks imaju složenu tektonsku i geološku građu. Geološka građa obuhvata sedimentne, magmatske, kao i metamorfne stene koje su predmet ovog rada. Amfiboliti Bistrice su jurske starosti i nastali su procesima subdukcije i obdukcije okeanske kore. EMPA analizom dobijen je hemijski sastav plagioklasa i hlorita, koji je u vezi sa procesima metamorfizma vezanim za subdukovanu/obdukovanu zonu. Na osnovu mineralnog sastava i P-T uslova došli smo do pretpostavke da stena pripada amfibolitskoj faciji, staurolit-almandin subfaciji koja se javlja na temperaturi 550-600 °C i pritisku od 4-6 Kbara. Mineralna asocijacija nam ukazuje da je protolit granatskih amfibolita Bistrice gabro/bazalt iz domena okeanske kore koji je tokom subdukcije parcijalnim stapanjem obogaćen elementima kontinentalne kore. Pretpostavka je da su granatski amfiboliti Bistrice tokom subdukcionihi procesa bili izloženi većim pritiscima i temperaturama.

Kao nerešena pitanja granatskih amfibolita Bistrice ostaje vreme metamorfizma, određivanje tačnih pritisaka i temperatura na kojima je stena nastala, kao i jasno definisanje protolita. Ovi podaci bi se mogli dobiti preciznim izotopskim merenjima na pojedinim mineralnim separacijama, na primer granatima i amfibolima. Izotopskim U-Pb analiziranjem cirkona, dobio bi se podatak koji bi ukazao na starost protolita od koga su sačinjene amfibolitske stene ovog područja i ovog ofiolitskog pojasa.

LITERATURA

Brković, T., Malešević M., Urošević, M., Trifunović, S., Radovanović, Z., Dimitrijević, M., Dimitrijević, M.N. 1977: Tumač za list Ivanjica, Savezni geološki zavod, Beograd.

Bucher, K., and Grapes, R., 2011, Petrogenesis of metamorphic rocks: Springer, 341p.

Brown, W.L., 1962: Peristerite unmixing in the plagioclases and metamorphic facies series, Norsk Geol. Tidssekr. 42

Chinner, G.A., 1959: Garnet-cordierite paragenesis, Carnegie Inst. Washington

Cvetković Vladica, Šarić Kristina, Mladenović Ana, 2019, Magmatizam i metamorfizam: Geohemijsko-geodinamička perspektiva- Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Cvijić, J., 1924, Geomorfologija I deo, Beograd.

Ćirić, M. Aleksandar 1977, Tumač za list Prijepolje, Savezni geološki zavod, Beograd.

Ćirić, M. Aleksandar, Obradinović Zoran, Novković Dragoljub, Popević Aleksandar, Karajičić Ljubiša, Jović J. Branko, Serdar Rade, 1977, Geološka karta za list Prijepolje, 1:100 000, Savezni geološki zavod, Beograd.

Dimitrijević, M.D., Dimitrijević, M.N.,1974: O genezi „Dijabaz-rožnačke formacije”. -Geološki glasnik knj. VII, Titograd

Erić, S., 2019, Primenjena mineralogija, Rudarsko geološki fakultet Beograd

Gunter, C., 2014, Geochemistry and petrology of metamorphosed submarine basic ashes in the Edough Massif (Cap de Garda, Annaba, northeastern Algeria), 346p.

Haldar, S.K., 2020, Introduction to Mineralogy and petrology: Metamorphic rocks

Karamata, S., 1988: Ofiolitske zone Jugoslavije: postanak i značaj za objašnjenje geološkog razvoja našeg područja, Odeljenje prirodno matematičkih nauka, Beograd

Marković, B., Takač, L., 1958: Postanak amfibolita na obodu zlatiborskog masiv i njihov značaj za tektoniku ove oblasti. Geološki institut, Beograd

Popević, A., Memović, E., Zakariadze, G., Milovanović, D., Karamata, S., 2004: The basalts of Podpeč (near Priboj, SW Serbia), the youngest (?) basaltic rocks of the Dinaridic ophiolitic basin, Serbia

Williams, H., 1977: Ophiolitic melange and its significance in the Fleur de Lys Supergroup, northern Appalachians. Canadian Journal of Earth Sciences

Srećković-Batočanin, D., Vasković, N., Matović, V., Gajić, V., 2012: Correlation of metabasic rocks from metamorphic soles of the Dinaridic and the Western Vardar zone ophiolites (Serbia): Three constasting pressure - temperature- time paths

Ševgić Branimir, Slovenec Damir, Schuster Ralf, babjić Elvir, Badurina Luka and Lugović Boško, 2020: Sm-Nd geochronology and petrologic investigation of sub-ophiolite metamorphic sole from the Dinarides (Krivaja-Konjuh, Ophiolite Complex, Bosnia and Herzegovina)- Geology Croatia

Žujović, J., 1893, Geologija Srbije I deo, Beograd.

ZAHVALNOST

Mom mentoru doc. dr. Bojanu Kostiću dugujem najveću zahvalnost na ukazanom strpljenju, podršci i savetima tokom pisanja ovog završnog rada, jer bez njega ovo ne bi izgledalo ovako. Takođe želela bih da se zahvalim članovima komisije prof. Dejanu Preleviću i prof. Danici Srećković-Batoćanin.

Mojoj porodici se zahvaljujem na najvećoj podršci od početka studiranja.

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ ЗАВРШНОГ РАДА

Име и презиме студента _____ Оранџина Јована _____

Број индекса G35-20 _____

И з ј а в љ у ј е м

да је завршни рад под насловом

Granatski amfiboliti Bistrice

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да завршни рад у целини ни у деловима није био предложен за стицање друге дипломе на студијским програмима Рударско-геолошког факултета или других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

У Београду,

____ 23.09.2024. _____

Потпис студента

**ИЗЈАВА
О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ЗАВРШНОГ РАДА**

Име (име родитеља) и презиме студента - _____ Jovana (Radivoje) Opančina

Број индекса _____ G35/20 _____

Студијски програм _____ МКРГ _____

Наслов рада

_____ Granatski amfiboliti Bistrice _____

Ментор

_____ Doc. dr. Kostić Bojan _____

Изјављујем да је штампана верзија мог завршног рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради одлагања у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити у електронском каталогу и у публикацијама Рударско-геолошког факултета.

У Београду,
_____ 23.09.2024. _____

Потпис студента

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ ЗАВРШНОГ РАДА

Овлашћујем библиотеку Рударско-геолошког факултета да у Дигитални репозиторијум унесе мој завршни рад под насловом:

Granatski amfiboliti Bistrice _____

који је моје ауторско дело.

Завршни рад са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Мој завршни рад одложен у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета је *(заокружити једну од две опције)*:

I. редуковано доступан кроз наслов завршног рада и резиме рада са кључним речима;

јавно доступан у отвореном приступу, тако да га могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се уз сагласност ментора одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве.)

У Београду,

23.09.2024. _____

Потпис ментора

Потпис студента

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.