

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

Petra Schneider

Prostorna analiza varijacije petrografskih, mikrotektonskih,
paragenetskih i geotermobarometrijskih značajki zelenih škriljavaca
središnjeg dijela Medvednice

Zagreb, 2017.

Ovaj rad izrađen je na Mineraloško-petrografskom zavodu Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Dražena Balena i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2016./2017.

SADRŽAJ:

1	UVOD	1
1.1	Facijes zelenih škriljavaca	1
1.2	Ciljevi rada.....	2
2	PODRUČJE ISTRAŽIVANJA I DOSADAŠNJE SPOZNAJE	3
2.1	Geografska obilježja Medvednice.....	3
2.2	Geotektonski smještaj Medvednice	3
2.3	Razvoj istraživanog područja.....	4
2.4	Strukturne jedinice Medvednice	5
2.4.1	Paleozojsko-trijaski magmatsko-sedimentni kompleks	6
2.4.2	Trijaska klastična i platformna karbonatna sedimentacija	7
2.4.3	Jurski ofiolitni menlanž.....	8
2.4.4	Gornjokredna do paleocenska sekvenca	8
2.5	Deformacijske faze Medvednice.....	9
3	MATERIJAL I METODE	11
3.1	Područje istraživanja	11
3.2	Opis izdanaka.....	14
3.3	Izrada mikroskopskih preparata	17
3.4	Geokemijska analiza	17
3.5	Geotermobarometrija	18
4	REZULTATI	19
4.1	Makroskopska obilježja odabranih uzoraka.....	19
4.2	Mikroskopska analiza odabranih uzoraka.....	21
4.2.1	PK2.....	22
4.2.2	PK8.....	24
4.2.3	PK9.....	26
4.2.4	PK12.....	28
4.2.5	PK17.....	30
4.2.6	PK19.....	32
4.2.7	PK27.....	34
4.2.8	PK28.....	36
4.2.9	PK30.....	38
4.2.10	PK38.....	40
4.2.11	PK40.....	43

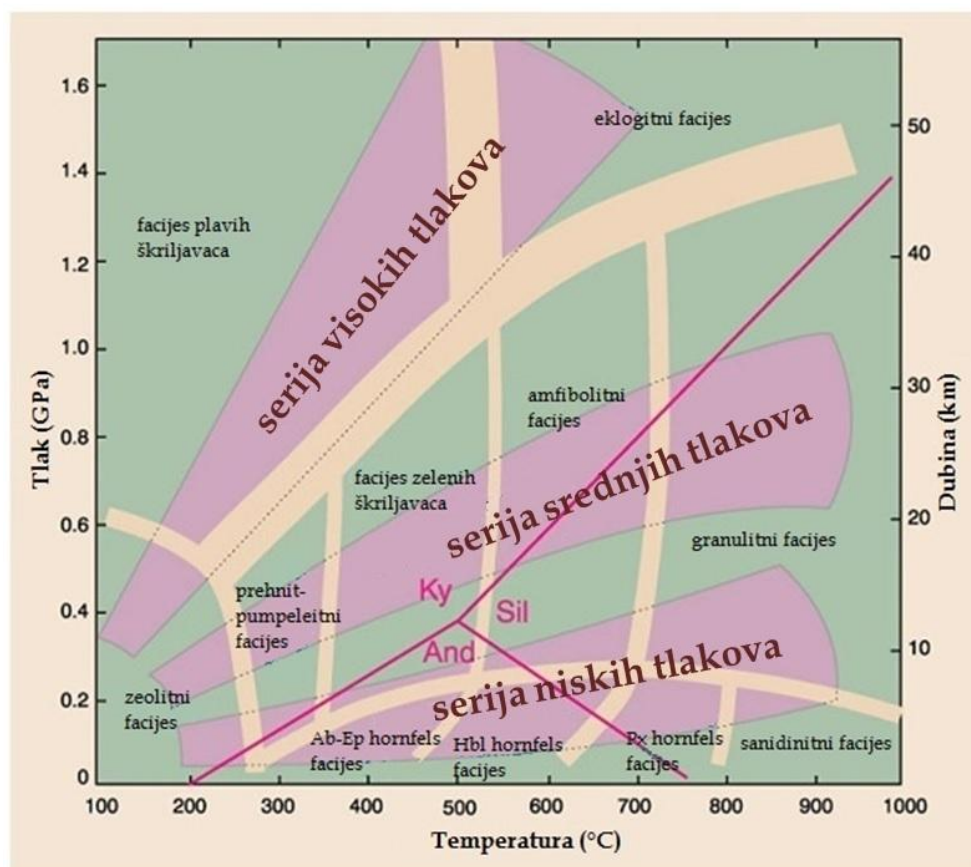
4.2.12	ADO1	45
4.2.13	ERB2	47
4.2.14	ERB3	49
4.2.15	TO5.....	51
4.2.16	ŽIČ6	55
4.2.17	SJ7	57
4.3	Strukturno-geološka analiza.....	59
4.4	Geokemijska analiza	61
4.5	Geotermobarometrijska analiza polja stabilnosti mineralnih parageneza pomoću računalnog paketa Perple_X	61
5	DISKUSIJA	66
6	ZAKLJUČAK.....	74
7	DODATAK	76
8	ZAHVALE	77
9	LITERATURA	78
10	SAŽETAK.....	81
11	SUMMARY	82
12	ŽIVOTOPIS	83

1 UVOD

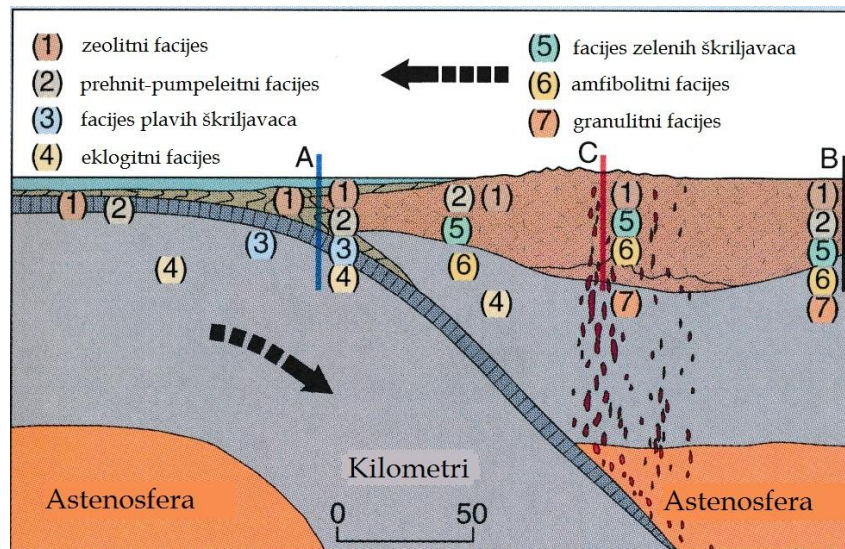
1.1 Facijes zelenih škriljavaca

Zeleni škriljavci metamorfne su škriljave stijene, uglavnom zelene boje. Boja potječe od prisutnih minerala klorita, amfibola (aktinolita) i epidota. Uz njih, zeleni škriljavci sadrže i plagioklase (albitnog do oligoklasnog sastava), a mogu se javiti i kvarc, biotit, titanit, kalcit ili stilpnomelan.

Stijene facijesa zelenih škriljavaca odgovaraju razvoju metamorfnog terena koji slijedi tipični geotermalni gradijent od 30°C/km. Nastaju u nižem stupnju regionalnog metamorfizma, pri tlakovima 3-10 kbar i temperaturama 350-550°C (slika 1.1). Takvi uvjeti tlaka i temperatura najčešće odgovaraju uvjetima koji se vezuju uz subdukcijske zone (slika 1.2).



Slika 1.1: P-T dijagram prikazuje tri osnovna tipa metamorfnih serija facijesa. Serija niskih tlakova: albit-epidot (Ab-Ep) hornfels, hornblenda (Hbl) hornfels, piroksen (Px) hornfels i sanidinski facijes. Serija srednjih tlakova: facijes zelenih škriljavaca, amfibolitni i granulitni facijes. Serija visokih tlakova: facijes plavih škriljavaca i eklogitni facijes. Zeolitni i prehnit-pumpeleitni facijesi rijetko su razvijeni facijesi niskog stupnja. Crvenom linijom odvojena su polja stabilnosti minerala kijanita (Ky), andaluzita (And) i sillimanita (Sil). Preuzeto i prilagođeno iz WINTER (2001).



Slika 1.2: Presjek kroz subdukcijsku zonu prikazuje raspored odgovarajućih facijesa. Preuzeto i prilagođeno iz PLUMMER et al. (2005).

Protolit zelenih škriljavaca uglavnom je magmatska stijena bazičnog kemijskog sastava nastala u području oceanskog dna i/ili aktivnog ruba ploča, ali može biti i klastična sedimentna stijena odgovarajućeg kemijskog sastava, primjerice grauvaka nastala erozijom vulkanskog luka.

1.2 Ciljevi rada

Cilj rada prikupljanje je i definiranje petrografskih značajki većeg broja uzoraka sa središnjeg dijela Medvednice na kojemu izdanjuju zeleni škriljavci, kojima bi se postigao relativno homogen, reprezentativan i gust raspored. Iz odabranih su uzoraka izrađeni mikroskopski preparati za petrografsku analizu kako bi se definirao prostorni raspored mineralnih parageneza i njihovih značajki te postavili određeni trendovi u promjeni petrografskog i mineralnog sastava, a time naznačila i promjena kemijskog sastava stijene. Za potrebe postavljanja kvantitativnih geotermobarometrijskih uvjeta (vrijednosti paleotlakova i paleotemperatura) napravljena je cijelostijenska kemijska analiza na odabranom reprezentativnom lokalitetu Sveti Jakob.

Ove analize dat će preliminarne rezultate koji će poslužiti kao podloga za daljnja istraživanja sa ciljem detektiranja eventualnog trenda promjene uvjeta metamorfizma unutar facijesa zelenih škriljavaca kroz detekciju promjena mineralnog sastava stijene i kemijskog sastava pojedinih mineralnih faza.

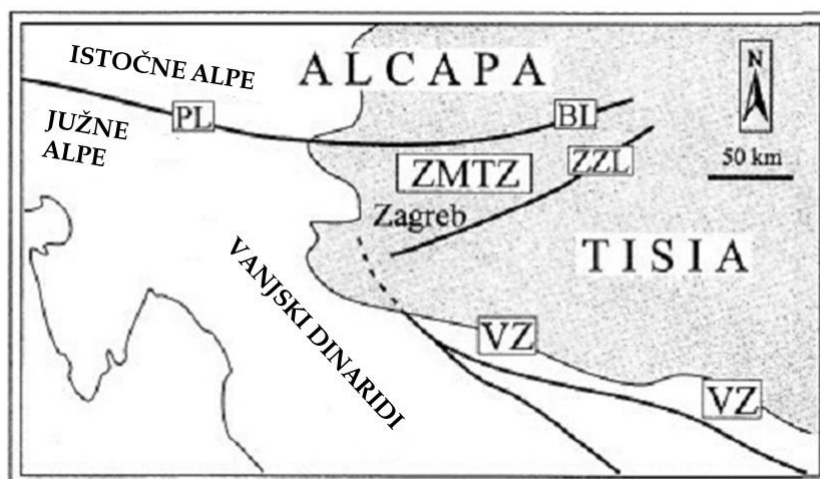
2 PODRUČJE ISTRAŽIVANJA I DOSADAŠNJE SPOZNAJE

2.1 Geografska obilježja Medvednice

Medvednica se nalazi u području sjeverne Hrvatske, između 15°49' i 16°07' istočne geografske dužine i 45°49' i 45°59' sjeverne geografske širine, s najvišim vrhom Sljeme (1035 m). Duga je oko 42 km sa smjerom pružanja jugozapad-sjeveroistok (tzv. medvednički smjer pružanja), a široka oko 9 km. Zapadni dio Medvednice započinje kod Podsuseda u blizini rijeke Save i završava na istoku kod Bisaga u dolini rijeke Lonje. Sjeverni dio Medvednice granično je područje Hrvatskog zagorja koje odjeljuje rijeka Krapina, a rubni dijelovi se na jugu stapaju sa Zagrebom. Iako se smatra jednom planinom, sastavljena je od dva dijela: Zagrebačke gore (jugozapadni veći dio) i Zelinske gore (sjeveroistočni dio). Granicu između ta dva dijela markira još uvijek aktivni Kašinski rasjed. Medvednica je prostor koji se po svojoj visini ubraja u sredogorja (POLJAK, 2001).

2.2 Geotektonski smještaj Medvednice

Medvednica je tzv. *otočna gora* (njem. *inselberg*) smještena u jugozapadnom dijelu Panonskog bazena. Pripada Zagorsko-srednjotransdanubijskoj smičnoj zoni (kratica ZMTZ, od eng. *Zagorje – Mid-Transdanubian Zone*) koja predstavlja graničnu zonu između Istočnih Alpa na sjeveru, Južnih Alpa i Dinarida na jugozapadu te Tisije na istoku. ZMTZ velika je transpresijska zona duž koje su se dva velika bloka, Alcapa (kratica od Alpe-Karpati-Panonija) i Tisija (Tisija-Dacija), međusobno smicali za vrijeme kasnog oligocena i ranog miocena. Predstavlja vrlo kompleksno područje za istraživanje jer se na tom području sastaju 3 važne tektonke granice: Periadriatički lineament (sjeverna granica ZMTZ-a, predstavlja kolizijski ožiljak koji odvaja Austroalpinsku jedinicu tj. Istočne Alpe od Južnih Alpa), Zagreb-Zemplin (Mid-Hungarian) lineament (južna granica ZMTZ-a koja odvaja dva velika bloka u podini Panonskog bazena – Alcapu i Tisiju) i Vardarska zona (koja predstavlja unutrašnju jedinicu Dinarida) (slika 2.1; TOMLJENović, 2000). Osim nekoliko *otočnih gora* u Hrvatskoj i Mađarskoj, ZMTZ je većinom prekrivena debelim neogenskim naslagama, što djelomično otežava određivanje točne lokacije određenih predneogenskih jedinica, njihove strukturne odnose i regionalnu korelaciju.



Slika 2.1: Pojednostavljena geološka skica šire okolice Medvednice. PL – Periadriatički lineament; BL – Balatonski lineament; ZMTZ - Zagorsko-srednjotransdanubijska smična zona; ZZL – Zagreb-Zemplin lineament; VZ – Vardarska zona (preuzeto i prilagođeno iz TOMLJENović, 2000).

2.3 Razvoj istraživanog područja

Otvaranje Tethysa u srednjem trijasu popraćeno je neutralnim i bazičnim vulkanizmom i formiranjem pasivnog kontinentalnog ruba na Adriji (SCHMIDT et al., 2008; VAN GELDER et al., 2015 i reference u njima). Karbonatni facijesi gornjeg trijasa postepeno prelaze u pelagičke facijese srednje jure te ukazuju na produblјavanje nekadašnjeg pasivnog kontinentalnog ruba Adrije. Intraoceanska subdukcija popraćena je odbukcijom ofiolita i asociiranog melanža na istočne dijelove pasivnog ruba Adrije za vrijeme kasne jure do rane krede.

Sjeverno od Dinarida, u srednjem se trijasu od Europe odvojila megajedinica Tisija i pomaknula prema Adriji (SCHMIDT et al., 2008). Tisija se za vrijeme kraja rane krede i zatvaranja sjeveroistočnog dijela Neotethys oceana ubrzo poravnala s drugom jedinicom odvojenom od Europe (Dacija) čime je nastala megajedinica Tisija-Dacija. Tisija-Dacija megajedinica predstavljala je gornju ploču u kasnokrednoj do eocenskoj subdukciji zabilježenoj u Dinaridima. Dinaridi su formirani za vrijeme jursko-kredne subdukcije i zatvaranja Tethys oceana kao posljedica konvergenije između Adrije i Europe. Zapadno od Tisije, kao odgovor na kredno-paleogensku subdukciju i koliziju alpskog dijela Tethysa s kontinentalnim rubom Europe formirale su se Alpe. Tisija danas čini podlogu neogenskih stijena Panonskog bazena.

Metamorfizam kredne (aptske) starosti i smicanja u kori na regionalnoj skali mogu se smatrati posljedicom subdukcije oceanske kore Tethysa pod rubove Tisije (PAMIĆ, 1998), a ovu hipotezu potvrđuje i nalaz izdanaka plavih škriljavaca na sjevernoistočnim padinama Medvednice (BELAK & TIBLJAŠ, 1998).

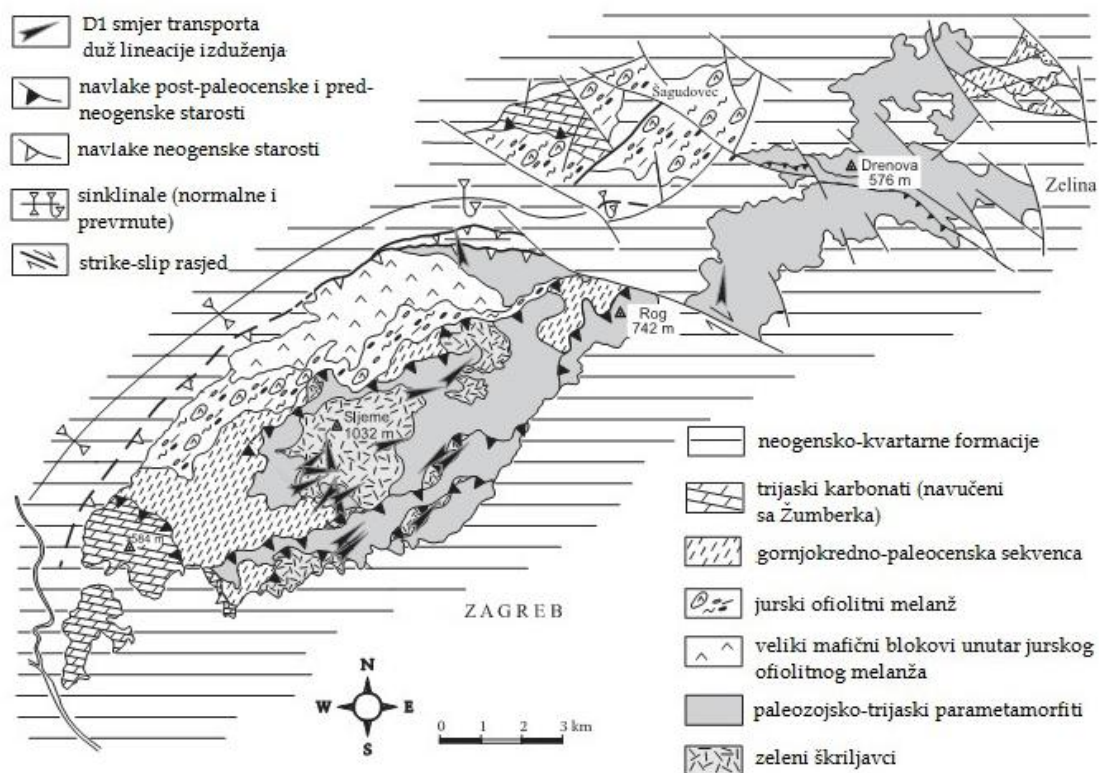
Strukturne analize pokazuju da se metamorfizam metabazičnih stijena dogodio za vrijeme obdukcije jurskih ofiolita na kontinentalni rub Adrije (sastavljene od sedimentnih i vulkansko-sedimentnih sekvenci ordovicijske do kasnotrijaske starosti) jugozapadnog smjera vergencije (TOMLJENović, 2002). Zatvaranje ovog dijela oceana Tethys za vrijeme mezozoika rezultiralo je slabim metamorfizmom podliježuće karbonatne platforme i bazena. Petrološke i geokemijske analize pokazuju jursku starost intraoceanskog vulkanskog otočnog luka uključenog u obdukciju (LUGOVIĆ et al., 2006).

Kredno-paleogenska faza orogeneze ostavila je traga i na Dinaridima i u Alpama, a popraćena je miocenskom ekstenzijom asociranom s formacijom Panonskog zalučnog (*back-arc*) bazena.

Prijašnja pozicija Medvednice bila je nešto sjevernije, između Južnih Alpa i Unutrašnjih Dinarida (TOMLJENović, 2002), nakon čega su uslijedili pomaci desnog karaktera na globalnoj skali duž Periadriatičko-balatonskog lineamenta kojim su odvojene Istočne od Južnih Alpi (HAAS et al., 2000), paleogenska do ranomiocenska rotacija u smjeru kazaljke na satu za 130°, premještaj u smjeru jugoistoka te od miocena nadalje rotacija za 30° suprotno od smjera kazaljke na satu. Navedeni tektonski pokreti rezultirali su današnjim smještajem Medvednice (MÁRTON et al., 2002; TOMLJENović et al., 2008).

2.4 Strukturne jedinice Medvednice

Predneogenska jezgra Medvednice građena je od 4 strukturne jedinice (TOMLJENović, 2002), poredane prema starosti to su: (1) paleozojsko-trijaski magmatsko-sedimentni kompleks; (2) trijaska klastična i platformna karbonatna sedimentacija; (3) jurski ofiolitni menlanž; (4) gornjokredna do paleocenska sekvenca. Jezgra je okružena diskordantno naližećim miocenskim sedimentima Panonskog bazena (slika 2.2).



Slika 2.2: Pojednostavljena geološka skica Medvednice (preuzeto i prilagođeno iz TOMLJENOVIĆ et al., 2008).

2.4.1 Paleozojsko-trijaski magmatsko-sedimentni kompleks

Paleozojsko-trijaski magmatsko-sedimentni kompleks (u literaturi nazvan još i Eoalpinskim metamorfnim kompleksom) proteže se vršnim i jugoistočnim dijelom glavnog hrpta Medvednice (ŠIKIĆ et al., 1978). Tvore ga uglavnom metasedimenti u izmjeni s ortoškrljavcima. Od metasedimenta prisutni su: metagrauvake, kvarc-muskovitni škriljavci, slejtovi, filiti, mramori, rekristalizirani vapnenci i dolomiti. Glavni dio ortoškrljavaca predstavljaju zeleni škriljavci, a u manjoj su mjeri zastupljeni amfibolski škriljavci i metadijabazi. Geokemijske osobine ovih stijena ukazuju na toleitni karakter (PAMIĆ & INJUK, 1985/86). Na sjeveroistočnim padinama nađeni su i izdanci plavih škriljavaca kao produkt visokotlačnog i relativno niskotemperaturnog metamorfizma – uvjeti koji ukazuju na subdukcijску zonu koja je bila aktivna za vrijeme kredne orogeneze (BELAK & TIBLJAŠ, 1998).

Protolitom kompleksa smatra se magmatsko-sedimentna formacija građena od siliciklastita i karbonata u izmjeni s bazičnim lavama, tufovima, intruzijama gabra i silovima

dijabaza. Biostratigrafski podaci temeljeni na nalazu graptolita ukazuju na starost protolita između devona i srednjeg trijasa (SREMAC & MIHAJLOVIĆ-PAVLOVIĆ, 1983). Prema BELAK et al. (1995a), protolitne su stijene djelomice predstavljale riftnu formaciju u Dinaridima srednjeg do gornjeg trijasa, a datiranje K-Ar metodom na muskovitu pokazuje donjokrednu starost regionalnog metamorfizma (120 - 110 mil. god.), koji je najvjerojatnije posljedica subdukcijsko-akrecijskog procesa vezanog uz donjokrednu orogenezu.

Prema JUDIK et al. (2004; 2006) ovaj kompleks prošao je regionalni metamorfizam gornjokredne (alpske) starosti (110 - 80 mil. god.), pri temperaturnim uvjetima od oko 350 - 400°C (vrijednosti dobivene na temelju Küblerovog indeksa za illit i kloritnog Al(IV) empiričkog termometra) i tlakovima od 3 do 4 kilobara (vrijednosti dobivene na temelju dimenzija jedinične ćelije muskovita).

Prema LUGOVIĆ et al. (2006), metabaziti Medvednice metamorfozirani su u uvjetima facijesa zelenih škriljavaca, a temperaturaure metamorfoze temeljene na geotermometriji klorita iznose 300 - 350°C. Te vrijednosti vrijede za uzorak s južnog kraja obrađenog profila, dok na sjevernom kraju autori bilježe prisustvo amfibola koji upućuje na nešto više temperaturne uvjete. Geokemijski potpis ukazuje da su protolitne stijene primitivni intraoceanski bazalti i andeziti.

Prema JUDIK et al. (2008) maksimalne temperaturne vrijednosti ovog kompleksa iznose 410°C, a dobivene su metodom zrelosti organske tvari (*vitritna refleksija*). Temperature bi bile i više (460±50°C), ali kako nisu nađeni biotit niti granat, autori sugeriraju najmanje vrijednosti.

Prema VAN GELDER et al. (2015) parametamorfiti i ortometamorfiti dijelovi su dvije različite tektonske jedinice međusobno razdvojene većom smičnom zonom. Prva deformacija paleozojskih stijena niskog je stupnja metamorfizma (temperature 100 - 240°C, prema JUDIK et al., 2006) i kasnovariscijske je starosti, dok su paleozojsko-trijaski vulkaniti i sedimenti metamorfozirani u uvjetima facijesa zelenih škriljavaca i starost metamorfizma odgovara ranoj kredi.

2.4.2 Trijaska klastična i platformna karbonatna sedimentacija

Dijelovi trijaskе klastične i platformne karbonatne formacije rasjedom su sa Žumberačke gore navučeni na Medvednicu, na njezine jugozapadne obronke (ŠIKIĆ et al.,

1978). Donji dio čine plitkovodni klastiti (crvenkasti, zelenosivi ili tamnosivi pješčenjaci s prijelazom u tinčaste siltite), a od srednjeg trijasa javlja se karbonatna sedimentacija (vapnenci, dolomitizirani vapnenci i dolomiti) uz mjestimične proslojke šejlova, rožnjaka i piroklastita (ŠIKIĆ et al., 1979).

2.4.3 Jurski ofiolitni melanž

Srednjejurski do donjokredni tektonizirani ofiolitni melanž proteže se sjeverozapadnim obroncima Zagrebačke gore, a sastoji se od fragmenata grauvaka, gabra, dijabaza, jastučastih bazalta, serpentinita, radiolarita, šejlova i vapnenaca (ŠIKIĆ et al., 1978). Originalna stratifikacija radiolarita, šejlova, grauvaka i jastučastih bazalta rijetko je sačuvana. Melanž je siromašan fosilima, a starost je određena na različitim stijenama različitim metodama: biostratigrafija radiolarita dala je starost ladinik-norik (HALAMIĆ & GORIČAN, 1995), biostratigrafija vapnenaca i siltovitog matriksa jursku starost (HALAMIĆ et al., 1999), datiranje K-Ar metodom na dijabazima i gabrima 189 - 185 mil. god. i 110 - 66 mil. god., tj. rano do srednjejursku i krednu starost (PAMIĆ, 1997a, 1997b). Mafitne stijene također pokazuju toleitni karakter i ukazuju na podrijetlo s aktivnog kontinentalnog ruba ili vulkanskog otočnog luka (prema SLOVENEK & LUGOVIĆ, 2000).

2.4.4 Gornjokredna do paleocenska sekvenca

Gornjokredna do paleocenska sedimentna jedinica izdanjuje duž glavnog hrpta Medvednice, ali zahvaljujući post-paleocenskoj tektonici na nekim je mjestima izrazito fragmentirana i izmiješana s ofiolitnim melanžom (ŠIKIĆ et al., 1978). Ovu jedinicu čine masivni crveni konglomerati u izmjeni s pješčenjacima i siltovima, koji pak naliježu na konglomerate i pješčenjake santona i kampana, aluvijalnog i deltnog podrijetla. Paleocenski sedimenti tamni su siltovi, mramori i šejlovi, mjestimično prekinuti konglomeratnim i kalkarenitnim slojevima kao posljedica debritnih i turbiditnih tokova. Ova jedinica predstavlja transgresivne i bazenske facijese (PAVELIĆ et al., 1995).

2.5 Deformacijske faze Medvednice

Medvednica je kroz svoju geološku prošlost zabilježila nekoliko različitih deformacijskih faza. Na slici 2.3 faze su prikazane u uzdužnom i poprečnom profilu, a prema TOMLJENović (2002) i VAN GELDER et al. (2015) to su:

D1 najstarija je faza deformacije (135 - 110 mil. god, rana kreda) asocirana izoklinalnim boranjem, koaksijalnim ravnanjem (eng. *coaxial flattening*) i metamorfizmom u uvjetima facijesa zelenih škriljavaca. Okarakterizirana je folijacijom paralelnom sa slojnim plohama i osnim ravninama bora.

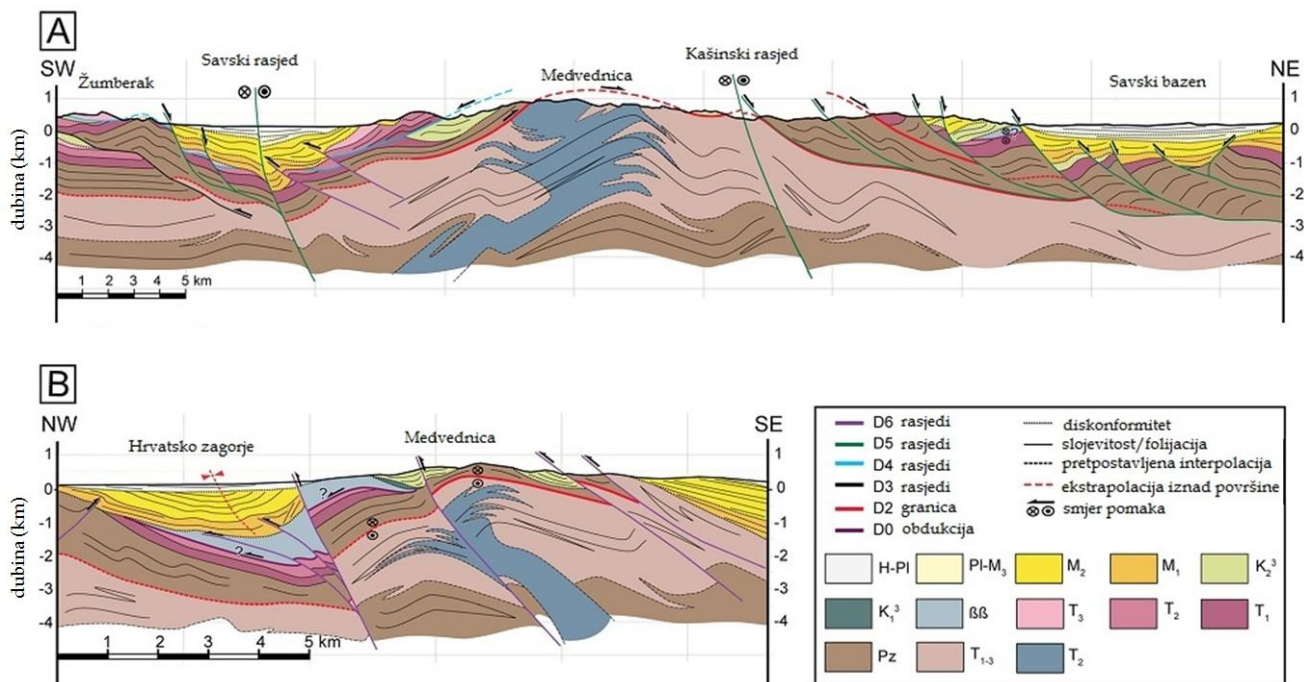
D2 deformacijska faza kasnokredne starosti zabilježena je u stijenama facijesa zelenih škriljavaca i utisnuta je (eng. *overprint*) na deformaciju D1. Karakterizira je lineacija izduženja dominantnog smjera pružanja sjeveroistok-jugozapad. U ovom stadiju stijene facijesa zelenih škriljavaca retrogradno su metamorfozirane.

D3 deformacijska faza zabilježena je unutar metamorfozirane jezgre, ali i nemetamorfoziranih mezozojsko-paleogenskih sedimenata koji je okružuju. Karakteriziraju je reversni rasjedi i bore sjeverozapadnog smjera vergencije koji su nastali kao posljedica ekstenzije za vrijeme kasne krede, popraćene skraćivanjem Dinarida za vrijeme kasnokredne do eocenske kolizije Europe s Adrijom.

D4 deformacija obilježena je skraćivanjem duž pravca sjeveroistok-jugozapad. Ovu deformaciju dominantno markira smještanje navlake sa Žumberka na jugozapadni dio Medvednice, gdje su plitkovodni klastiti i karbonati navučeni na paleozojske parametamorfite.

D5 deformacijsku fazu obilježavaju setovi normalnih rasjeda vezani uz ekstenziju u području Panonskog bazena koja počinje početkom miocena (~20 mil. god.). Normalno rasjedanje pod blagim je kutevima i listričke geometrije te često popraćeno sintektonskim taloženjem miocenskih sedimenata.

D6 posljednja faza deformacije započinje krajem miocena (~7 mil. god.) i obilježena je reversnim rasjedima kao posljedicom konvergencije i rotacije Adrije u odnosu na Europu suprotno od smjera kazaljke na satu. Reversni su rasjedi popraćeni brojnim lokalnim uzdužnim (*strike-slip*) rasjedima.



Slika 2.3: Profili kroz Medvednicu. **(A)** Uzdužni profil, smjerom jugozapad-sjeveroistok. **(B)** Poprečni profil, smjerom sjeverozapad-jugoistok. Kratice: Pz – gornji paleozoik; T₁ – donji trijas; T₂ – srednji trijas; T₃ – gornji trijas; T₁₋₃ – metamorfozirani trijas; ββ – ofioliti i melanž; K₁³ – donja kreda (apt-cenoman); K₂³ – gornja kreda (senon); M₁ – donji miocen; M₂ – srednji miocen; Pl-M₃ – pliocen do gornji miocen; Q – kvartar. Preuzeto i prilagođeno iz VAN GELDER et al., 2015.

3 MATERIJAL I METODE

3.1 Područje istraživanja

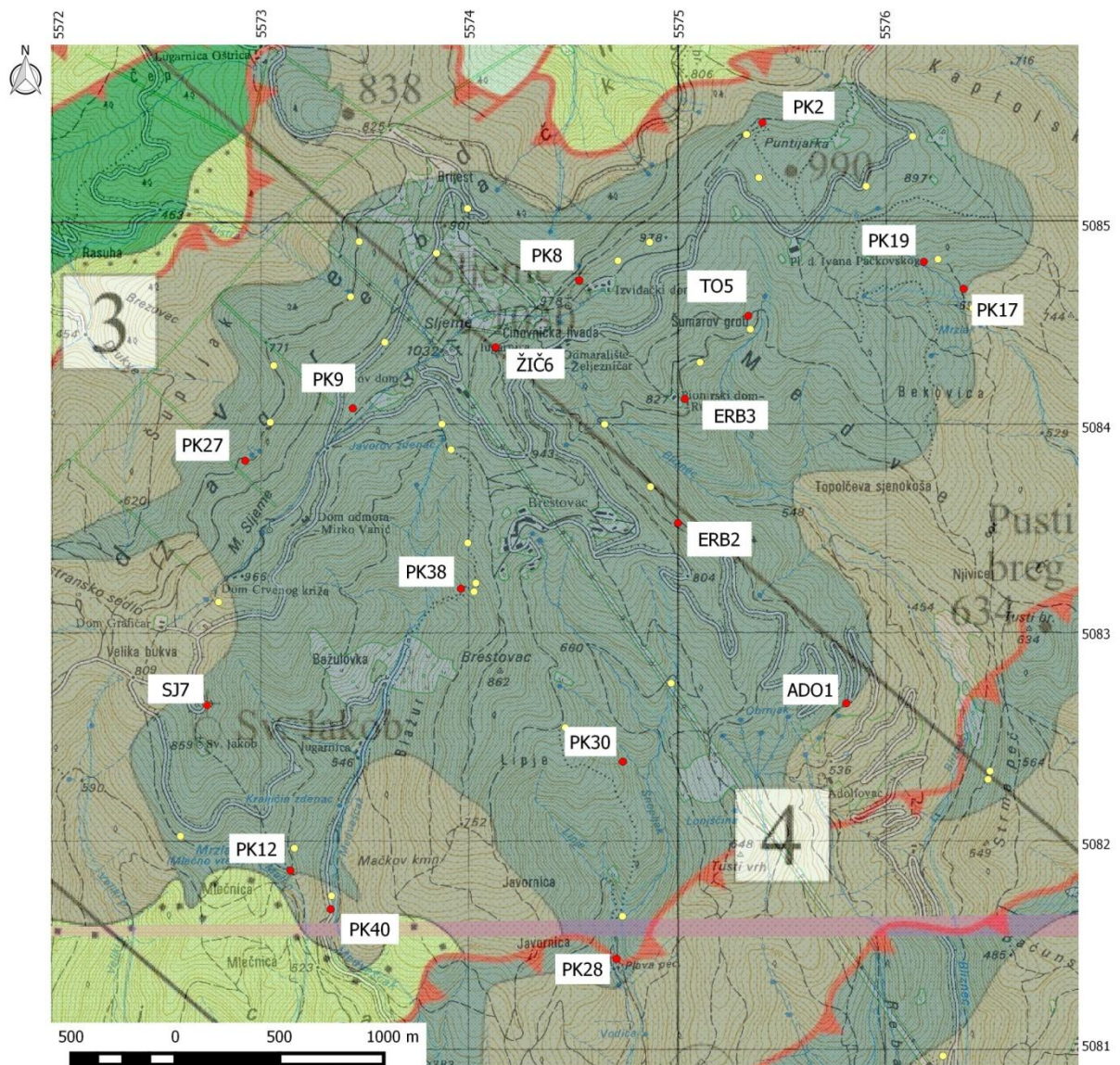
Područje istraživanja nalazi se na središnjem dijelu Medvednice i iznosi oko 10 km².

U sklopu Samostalnog terenskog rada 2016. g. prikupljeno je 40 uzoraka (PK1-PK40), od kojih je za ovo istraživanje odabrano 11 za analizu petrografskim polarizacijskim mikroskopom. Iz zbirke Mineraloško-petrografskog zavoda uzeto je 7 uzoraka prikupljenih u sklopu Terenskog praktikuma MP 2016. g. (ADO1, ERB2, ERB3, T4, TO5, ZIC6 i SJ7) od kojih je 6 također odabrano za analizu. Iz zbirke su uzeta i 3 uzorka prikupljena u sklopu Terenskog praktikuma MP 2013. g. (29A, 29B i 29C) te 1 korišten u izradi diplomskog rada Andree Gruić Jukić 2015. g. (uzet s istog lokaliteta kao i uzorak SJ7). Popis koordinata svih prikupljenih uzoraka nalazi se u tablici 1, a smještaj na karti prikazan je na slici 3.1. Uzorci odabrani za analizu petrografskim polarizacijskim mikroskopom (njih ukupno 17) su sljedeći: PK2, PK8, PK9, PK12, PK17, PK19, PK27, PK28, PK30, PK38, PK40, ADO1, ERB2, ERB3, TO5, ŽIČ6 i SJ7.

Tablica 1: Popis prikupljenih uzoraka i njihove koordinate (Gauss-Krüger, zona 5). Uzorci odabrani za analize petrografskim mikroskopom označeni su plavom bojom.

BROJ	IME UZORKA	KOORDINATE (E)	KOORDINATE (N)	FOLIJACIJA
1	PK1	5575331	5085393	254/18
2	PK2	5575407	5085450	
3	PK3	5576128	5085383	
4	PK4	5575905	5085144	210/15
5	PK5	5575390	5085185	
6	PK6	5574866	5084875	
7	PK7	5574714	5084786	
8	PK8	5574528	5084692	
9	PK9	5573441	5084077	
10	PK10	5572797	5083146	
11	PK11	5572614	5082021	
12	PK12	5573142	5081856	
13	PK13	5573161	5081963	180/40
14	PK14	5576274	5080965	
15	PK15	5576490	5082294	

16	PK16	5576417	5084559	
17	PK17	5576373	5084651	
18	PK18	5576250	5084793	
19	PK19	5576182	5084781	
20	PK20	5573595	5084394	246/42
21	PK21	5573843	5084822	
22	PK22	5573992	5085037	
23	PK23	5573472	5084878	
24	PK24	5573431	5084613	
25	PK25	5573062	5084282	120/38
26	PK26	5573045	5084010	230/40
27	PK27	5572925	5083825	200/10
28	PK28	5574707	5081432	180/40
29	PK29	5574736	5081636	
30	PK30	5574737	5082379	
31	PK31	5574461	5082543	
32	PK32	5574969	5082756	210/55
33	PK33	5573869	5084001	
34	PK34	5573913	5083878	
35	PK35	5573993	5083430	
36	PK36	5574032	5083237	
37	PK37	5574023	5083196	200/45
38	PK38	5573960	5083210	210/45
39	PK39	5573339	5081734	
40	PK40	5573335	5081670	
41	ADO1	5575810	5082659	275/20
42	ERB2	5575002	5083526	230/40
43	ERB3	5575035	5084122	220/40
44	T4	5575108	5084298	
45	TO5	5575339	5084521	200/40
46	ZIC6	5574127	5084370	245/50
47	SJ7	5572742	5082650	200/24
48	29A	5574870	5083700	
49	29B	5574650	5084000	
50	29C	5575349	5084457	



Slika 3.1: Karta prikupljenih uzoraka (Gauss-Krüger, zona 5). Plavo područje označava prostiranje ortometamorfiti (zelenih škriljavaca) na području Medvednice; sivo – parametamorfiti; zeleno – kredne sedimentne stijene. Crvene točke označavaju uzorke odabrane za mikroskopsku analizu. Topografska podloga je topografska karta RH mjerila 1:25 000, geološka podloga preuzeta iz TOMLJENVIĆ (2002).

3.2 Opis izdanaka

Tipičan izgled izdanaka zelenih škriljavaca prikazan je na slici 3.2. Stijene na površini uglavnom su smeđe ili smeđe-sive boje, na svježem prijelomu sivo-zelene. Škriljavost je uglavnom dobro izražena. Debljina stijenske mase između dvije plohe folijacije centimetarskih je do decimetarskih dimenzija, a folijacije uglavnom padaju na jugozapad pod više ili manje blagim kutom (vrijednosti izmjerenih folijacija prikazane su u tablici 1). Primjer izdanaka s dobro vidljivom folijacijom vidljiv je na slici 3.3.



Slika 3.2: Izdanak zelenih škriljavaca na kojem je prikupljen uzorak PK25.



Slika 3.3: Izdanak na kojem je prikupljen uzorak PK28. Primjer izdanaka s izraženom folijacijom.

Neki su izdanci masivni, bez vidljivih strukturnih elemenata ili na mjestima nepristupačnima za mjerenje (slika 3.4). Na takvim izdancima stijene su žilave i teško se lome, primjerice uzorci PK23, PK29, PK39 i PK40.



Slika 3.4: Izdanak na kojem je prikupljen uzorak PK40. Primjer masivnog izdanka bez mjerljivih strukturnih elemenata.

Duž hrpta i na sjeverozapadnim padinama česti su manji kameneolomi (pozajmišta) dijelom obrasli vegetacijom na kojima su jasno vidljivi strukturni elementi (primjer jednog pozajmišta prikazan je na slici 3.5). Na takvim mjestima uzeti su uzorci PK2, PK8, PK9 i PK22.



Slika 3.5: Pozajmište na kojem je prikupljen uzorak PK8.

Neki izdanci pokazuju izrazitu trošenost i tektoniziranost stijena koje su na površini smeđe-narančaste boje (vjerojatno posljedica trošenja željezom bogatih minerala). Stijene su na takvim izdancima rastrošene što otežava njihovo uzorkovanje, primjerice ADO1, PK12, PK13, PK14 i PK27.

Ostali izdanci javljaju se kao neugledni izdanci na planinarskim stazama i bez vidljivih strukturnih elemenata, primjerice uzorci PK15, PK17, PK19, PK20, PK26, PK27, PK33, PK34, PK35.

Na izdanku s kojeg je uzet uzorak PK28, koji se proteže u dužini od nekoliko desetaka metara, vidljiv je rasjedni kontakt stijena gotovo iste litologije. Prema geološkoj karti (slika 3.1) opaženi diskontinuitet odgovara navlaci. Izmjereni položaj rasjedne plohe je 122/74.

Iznimno, izdanak na kojem je uzet uzorak PK30 pokazuje strukturu jastučastog bazalta (slika 3.6).



Slika 3.6: Izdanak na kojem je prikupljen uzorak PK30.

3.3 Izrada mikroskopskih preparata

17 odabranih uzoraka pripremljeno je za mikroskopsku analizu klasičnom metodom izbrusaka u laboratoriju Mineraloško-petrografskog zavoda.

Iz uzorka se rotirajućom dijamantnom pilom okomito na folijaciju stijene reže pločica debljine oko 0,4 cm. Iz pločice se zatim reže pločica veličine predmetnog stakalca. Površine pločica koje se lijepu na stakalca treba brusiti abrazivnim prahovima raznih granulacija (240, a zatim 500) dok se ne uklone tragovi pile i postigne dovoljno ravna i glatka površina, koja fino prijanja uz predmetno stakalce. Za lijepljenje je korišten kanada-balzam. Preparat se zatim brusi rotirajućom pločom na prahu 90 dok se ne stanji na debljinu oko 1 mm, a nakon toga ručno na ravnoj staklenoj ploči, redom na prahovima 240, 500 i 800 dok se ne dostigne optimalna debljina preparata od oko 20 do 30 μm . Preparat se dalje pokriva pomoću kanada-balzama i pokrovnog stakalca.

3.4 Geokemijska analiza

Za uzorak s lokaliteta Sveti Jakob (SJ7) napravljena je cijelostijenska kemijska analiza u laboratoriju AcmeLabs u Vancouveru (Kanada) sa ciljem utvrđivanja kvantitativnih vrijednosti paleotlakova i paleotemperatura istraživanih stijena. Za određivanje kemijskog sastava koristila metoda atomske emisijske spektrometrije induktivno spregnute plazme (ICP-AES, od eng. *inductively coupled plasma – atomic emission spectrometry*) koja daje informacije o glavnim elementima u uzorku. Za potrebe analize 100 g uzorka trebalo je mehanički usitniti te prosijavati kroz set sita kako bi se izdvojila frakcija manja od 125 μm .

Induktivno spregnuta plazma (ICP) vruć je i djelomice ionizirani plin koji služi kao izvor iona, a generira se prolaskom kroz radiofrekventno magnetno polje. Najčešće se za ionizaciju uzorka (koji se u ICP-sučelje uvodi u obliku aerosola) koristi argon zbog svoje kemijske inercije i vrlo visoke energije ionizacije. Pobuđivanje iona rezultira emisijom elektromagnetskog zračenja, karakteristične valne duljine za različite elemente. Intenzitet emisije ovisi o koncentraciji elemenata u uzorku, a točna koncentracija određuje se usporedbom s kalibracijskim standardima.

3.5 Geotermobarometrija

Geotermobarometrija postupak je određivanja tlakova i temperatura pri kojima su magmatske ili metamorfne stijene postigle kemijsku ravnotežu. Za neke stijene moguće je rekonstruirati i njihov P-T put što dominantno ovisi o karakteristikama minerala prisutnima u stijeni (primjerice inkluzije i zonalna građa – tako su granati jedni od najzahvalnijih minerala za geotermobarimetrijsko modeliranje). Za magmatske stijene izračunati P-T uvjeti najvjerojatnije odgovaraju kristalizacijskim uvjetima (posebice za brzo hladene stijene), dok metamorfne stijene imaju nešto složeniju P-T povijest. Uobičajeno se izračunati P-T uvjeti za metamorfne stijene interpretiraju kao termalni maksimum. Tipičan raspon greške dobiven geotermobarimetrijskim modeliranjima je $\pm 50^{\circ}\text{C}$ i ± 1 kbar (SPEAR, 1993).

Najbolji način za određivanje P-T uvjeta je pomoću izračunatih faznih dijagrama od kojih su najpraktičniji pseudopresjeci (eng. *pseudosection*). Pseudopresjeci čine zasebna polja koja prikazuju varijacije unutar mineralne zajednice s promjenom tlaka i temperature, odnosno svako polje predstavlja skup stabilnih minerala u paragenezi kroz raspon P-T uvjeta, za stijenu točno poznatog kemijskog sastava. Linije koje razdvajaju polja predstavljaju nastanak (nestanak) pojedinog minerala. Na pseudopresjecima također se može prikazati kako se mijenja kemijski sastav i/ili udio nekog minerala s promjenom P-T uvjeta.

Perple_X računalni je paket koji omogućava provedbu geotermobarimetrijskog (termodinamičkog) modeliranja kroz niz izračuna. Paket se sastoji od nekoliko specijaliziranih potprograma: (1) BUILD (kojim se zadaju osnovne termodinamske varijable kao što su: komponente sustava, raspon tlakova i temperatura, cijelokupni sastav stijene i faze); (2) VERTEX (koji na temelju izlazne datoteke BUILD-a radi detaljne izračune za uvjete odgovarajućih faznih ravnoteža); (3) PSSECT (zadnji u nizu potprograma za izradu P-T pseudopresjeka, kreira pseudopresjek u PostScript datoteci kao temelj za daljnju obradu pomoću nekog od grafičkih softwera); (4) WERAMI (u kojem se odabire mineralna faza za koju se želi izračunati promjena kemijskog sastava u ovisnosti o promjeni P-T uvjeta); (5) PSTABLE (na temelju izlazne datoteke WERAMI-a kreira PostScript datoteku s prikazom izopleta za odabrani mineral, tj. linija koje odgovaraju određenom kemijskom sastavu mineralne faze).

4 REZULTATI

4.1 Makroskopska obilježja odabranih uzoraka

Prema makroskopskim obilježjima svi uzorci generalno odgovaraju zelenim škriljvcima, uz više ili manje izraženu škriljavost (slika 4.1). Škriljavost je jače izražena na uzorcima PK17, PK27, ERB2, TO5 vrlo slaba na uzorcima PK30 i PK40, dok se na uzorcima PK2, PK12, PK19 i PK28 nazire znata struktura vjerojatno nasljeđena od protolita. Uzorci PK27, PK30 i PK40 značajnije su raspucani. Lineacije na slojnim plohamo vidljive na uzorcima: PK17, PK27, PK28, PK40, ADO1, ERB2, TO5. Vanjske površine trošenja uglavnom su smeđe-narančaste boje, kao posljedica tošenja željezom bogatih minerala. Veći stupanj trošenja vidljiv je na uzorcima PK12 i PK28, dok su najsvježiji uzorci PK17, ERB2 i ERB3 (tj. trošenje je na njima najslabije izraženo). Iznimno su na uzorku PK30 vidljiva površinska trošenja u ljubičasto-plavoj boji, uglavnom karakteristična za trošenje manganskih minerala. Na svježem presjeku uzorci su sivo zelene boje, a iznimno se na svježem presjeku uzorka TO5 vide izmjene proslojaka svijetlije i tamnije nijanse.



ADO1



PK2



PK8



PK9



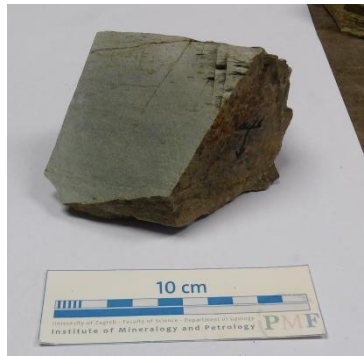
PK12



PK17



PK19



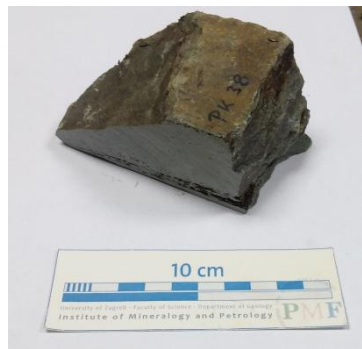
PK27



PK28



PK30



PK38



PK40



ERB2



ERB3



TO5



ŽIČ6



SJ7

Slika 4.1: Fotografije uzoraka odabranih za mikroskopske analize.

4.2 Mikroskopska analiza odabranih uzoraka

Za mikrostrukturnu analizu korišten je mikroskop Zeiss Axiolab s povećanjima 25x i 100x, snimano kamerom Canon EOS 500D i obrađivano u računalnim programima EOS Utility i AxioVision 4.8.2.

Uz strukturne i teksturne karakteristike stijene, promatrana su uobičajena mikroskopska svojstva minerala kao što su vlastita boja, pleokroizam, reljef, interferencijske boje, karakter i kutevi potamnjenja. Pritom su kutevi kosog potamnjenja kod amfibola i kutevi simetrijskog potamnjenja kod plagioklasa, (anomalne) interferencijske boje u kombinaciji s pleokroizmom kod klorita te pleokroizam kod epidota korišteni za determinaciju njihovih kemijskih sastava. Posebna je pozornost posvećena promatranju mikrotektonskih karakteristika na zrnima plagioklasa i kvarca koja upućuju na različite stadije dinamičke rekristalizacije karakteristične za različite raspone temperatura.

4.2.1 PK2

Stijena granonematoblastične strukture, krupnozrnata (slika 4.2). Mineralni sastav uzorka je sljedeći: plagioklasi (40-45 vol.%), klorit (25 vol.%), amfiboli (15 vol.%), epidot i zoisit (10 vol.%, približno podjednako zastupljeni) i opaki minerali (5-7 vol.%).

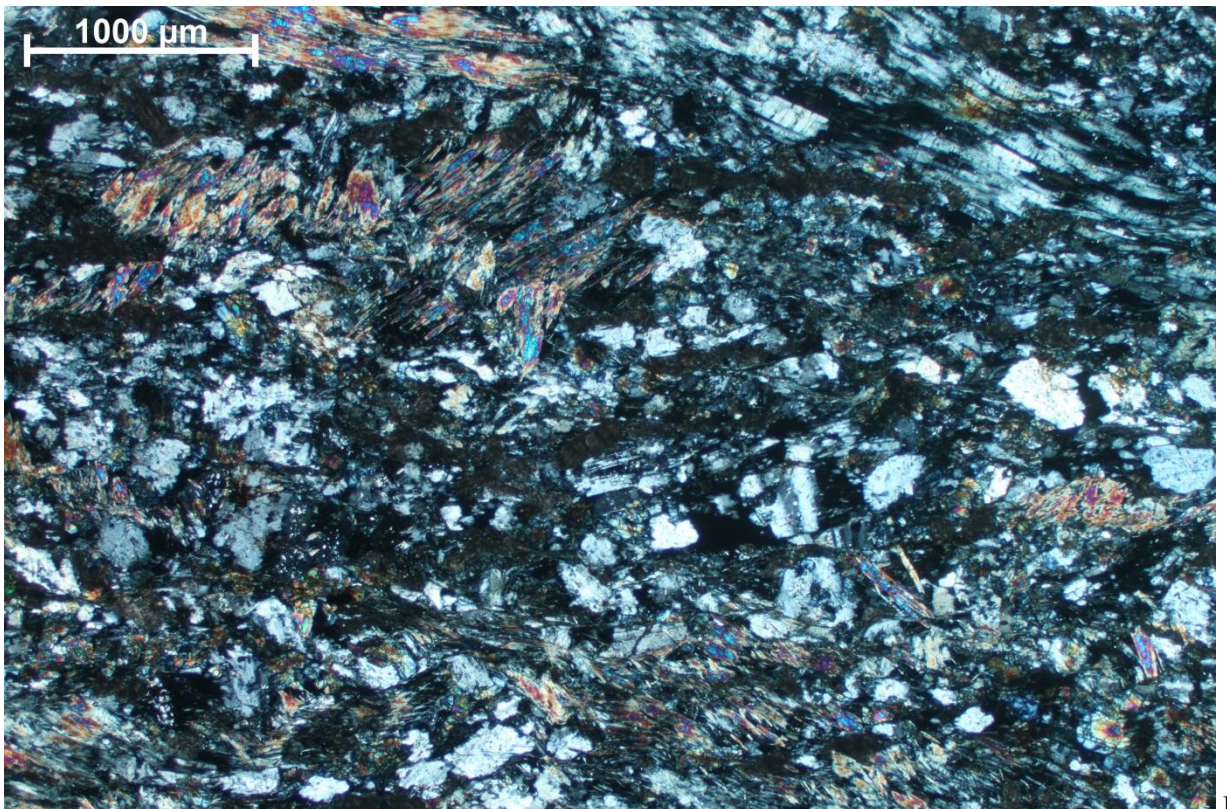
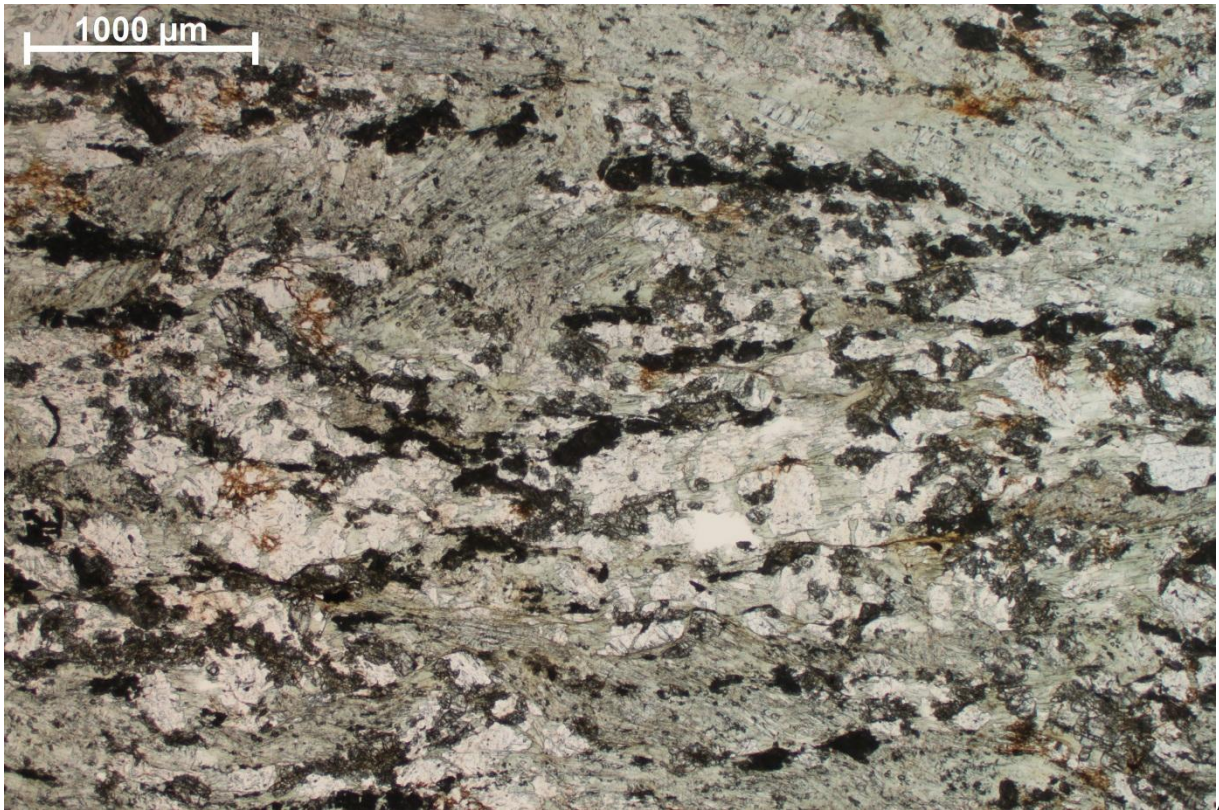
Plagioklasi su razvijeni u hipidiomorfnim do idiomorfnim krupnim zrnima (veličina zrna 400-1000 μm). Vidljivi polisintetski sraslaci i sraslaci dvojci. Na presjecima iz zone simetrijskog potamnjenja izmjereni su kutevi potamnjenja koji iznose oko 8° , što prema RITTMANN (1929) odgovara sastavu plagioklasa s 26% anortitne komponente, odnosno oligoklasu. Zrna su blago kaolinitizirana, puna brojnih uklopaka opakih minerala (uglavnom duž pukotina kalavosti), klorita, epidota. Pokazuju undulozno potamnjenje i razvoj podzrna uz rubove. Mjestimično su vidljive pertitne lamele (*flame-perthite*). Ove karakteristike ukazuju na srednji stadij dinamičke rekristalizacije plagioklasa, koji odgovara temperaturama oko 450-600°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

Klorit je razvijen u hipidiomorfnim zrnima. Pleokroizam je vrlo slabo izražen. Interferencijske boje sive su prvog reda. Ova mikroskopska svojstva odgovaraju kloritima bogatima Mg-komponentom (75-100 at.% Mg, prema EHLERS, 1987).

Amfiboli su dominantno igličastog habitusa. Bezbojni su i ne pokazuju pleokroizam. Interferencijske boje žive su drugog reda, uglavnom žute. Maksimalni kutevi kosog potamnjenja iznose $10-17^\circ$. Navedene mikroskopske karakteristike odgovaraju tremolitu (EHLERS, 1987; DEER et al., 2013).

Epidot i zoisit razvijeni u hipidiomorfnim zrnima, veličine zrna 50-600 μm . Često su u nakupinama, a veća zrna su raspucana. Epidot ima umjereno izražen pleokroizam (X, Z = bezbojno, Y = blago žuto) što je posljedica supstitucije Fe^{3+} i Al, i odgovara epidotima bogatijima na Fe (prema DEER et al., 2013). Zoisit je bezbojan i anomalne plave interferencijske boje po kojoj se razlikuje od epidota.

Opaki minerali razvijeni su u sitnozrnatim agregatima, uglavnom uz epidot.



Slika 4.2: (A) Mikrofotografija uzorka PK2. Granonematoblastična struktura. Gore lijevo agregat amfibola, gore desno agregat klorita. N-. (B) N+.

4.2.2 PK8

Stijena granolepidoblastične strukture. Folijacija definirana orijentacijom klorita i amfibola (slika 4.3). Mineralni sastav uzorka je sljedeći: leukokratski minerali (plagioklasi i kvarc, 50 vol.%, približno podjednako zastupljeni), klorit (25 vol.%), amfiboli (10 vol.%), epidot (10 vol.%) i opaki minerali (5 vol.%).

Plagioklasi su razvijeni u hipidiomorfnim do alotriomorfnim zrnima. Zrna su puna brojnih uklopaka epidota, klorita, mjestimično sericitizirana. Često pokazuju undulozno potamnjenje i nastanak podzrna uz rubove, a neka zrna su potpuno zamijenjena sitnozrnatim rekristaliziranim materijalom. Ove karakteristike ukazuju na srednji stadij dinamičke rekristalizacije zrna plagioklasa, koja odgovaraju temperaturama oko 500-600°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

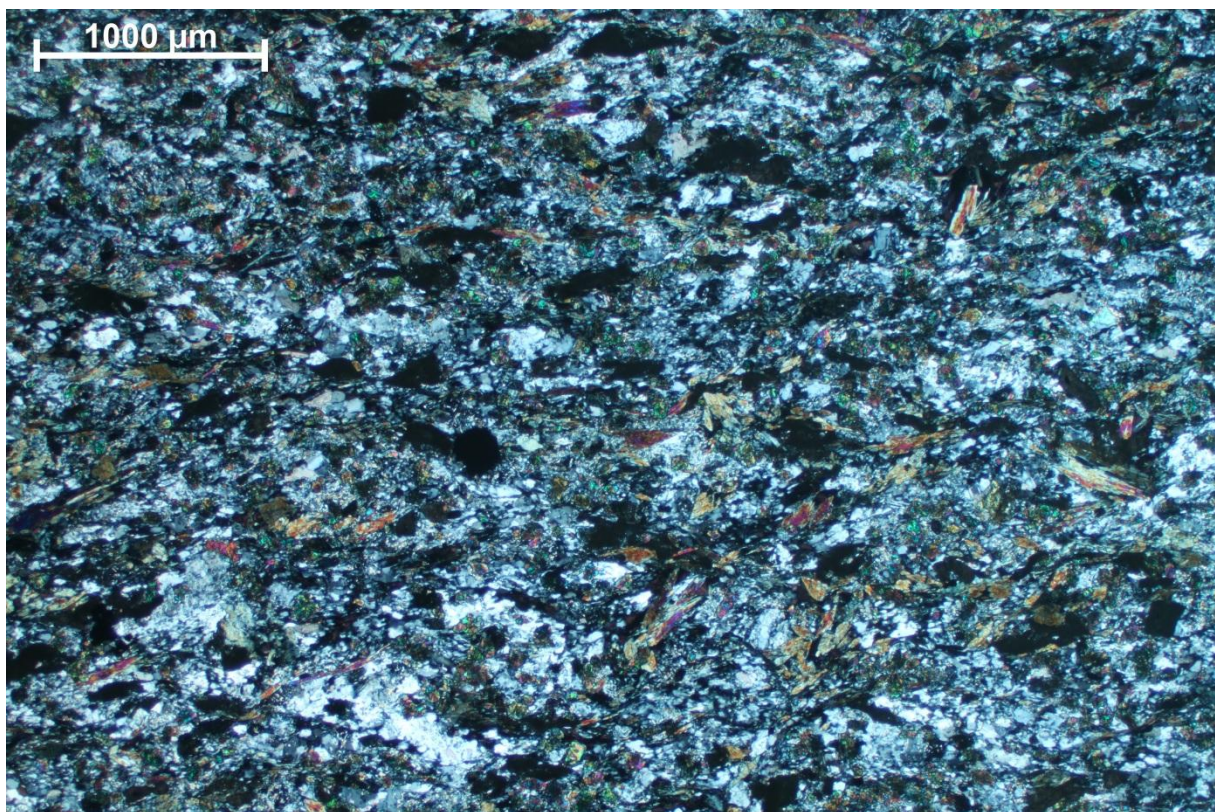
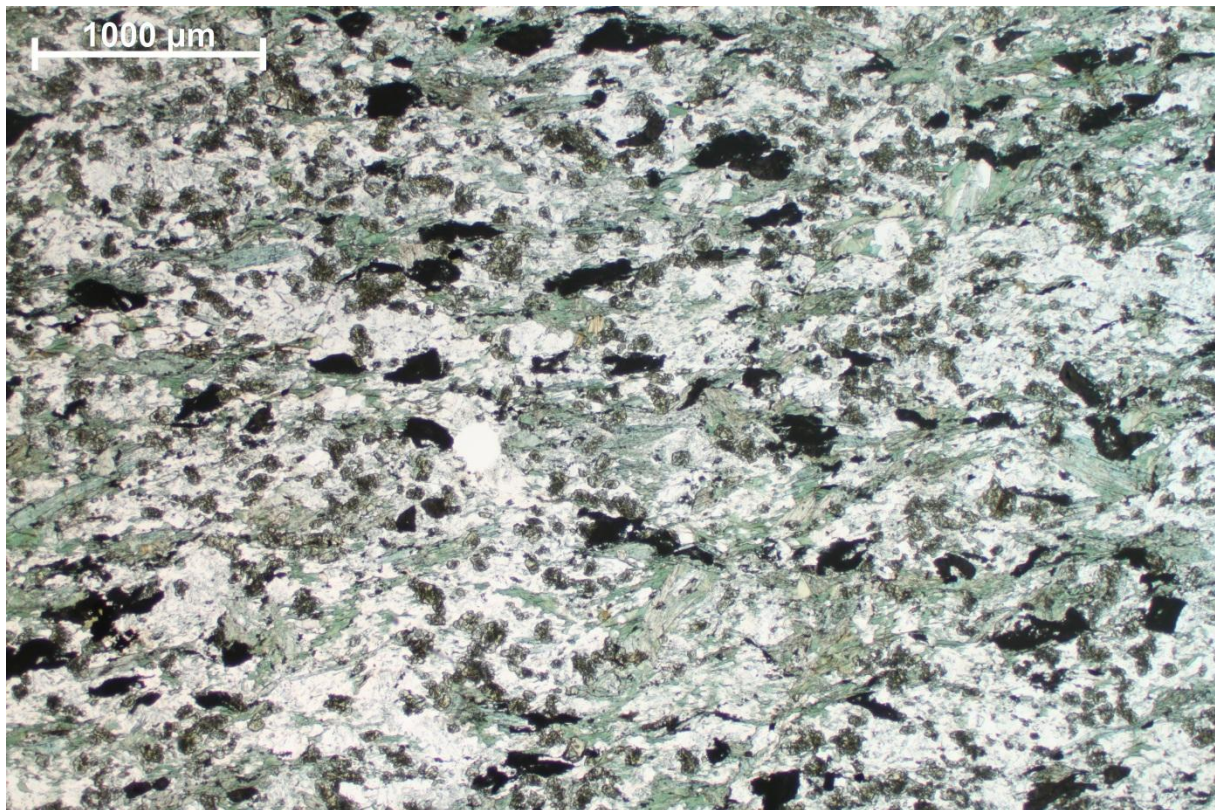
Kvarc je razvijen u sitnozrnatim nakupinama. Zrna su hipidiomorfna, mjestimično ameboidalna, granice među zrnima nisu oštre. Ovakva obilježja karakteristična su za srednji do gornji stadij dinamičke rekristalizacije, što za kvarc odgovara temperaturama oko 500-700°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

Klorit je razvijen u hipidiomorfnim zrnima. Izraženog je pleokroizma, anomalnih ljubičastih i plavih interferencijskih boja koje prema EHLERS (1987) odgovaraju kloritima bogatijima Fe-komponentom, tj. 50-75 at.% Fe-komponente.

Amfiboli su razvijeni u hipidiomorfnim zrnima. Izraženog su pleokroizma (X = bezbojno, Y = blago zeleno, Z = blago plavo-zeleno). Maksimalni kutevi kosog potamnjenja iznose 15-30° što odgovara hornblendi (EHLERS, 1987). Iako hornblenda često ima izraženu vlastitu boju, može imati i ovakvo blago obojenje (DEER et al., 2013). Zrna amfibola uglavnom su orijentirana paralelno s folijacijom, mjestimično su izvan folijacije.

Epidot je razvijen u hipidiomorfnim zrnima, uglavnom sitnozrnat (30-60 µm). Umjereno je izraženog pleokroizma (X, Z = gotovo bezbojno, Y = žuto) što je posljedica supstitucije Fe³⁺ i Al, i odgovara epidotima bogatijima na Fe (prema DEER et al., 2013).

Opaki minerali razvijeni u agregatima koji generalno prate folijaciju, mjestimično vidljivi idiomorfni presjeci.



Slika 4.3: (A) Mikrofotografija uzorka PK8. Granolepidoblastična struktura. N+. (B) Zrna amfibola mjestimično odstupaju od folijacije. N-.

4.2.3 PK9

Stijena granoblastične strukture, krupnozrnata, mikroskopski je škriljavost vrlo slabo izražena (slika 4.4), uglavnom definirana nakupinama opakih minerala i unutar agregata rekristaliziranog kvarcnog materijala. Mineralni sastav uzorka je sljedeći: leukokratski minerali (kvarc i plagioklasi, 55-60 vol.%, približno podjednako zastupljeni), klorit (20-25 vol.%), opaki minerali (10 vol.%), amfiboli (5 vol.%), epidot (5 vol.%).

Kvarc je pretežito sitnozrnat, razvijen u hipidiomorfim zrnima (veličina zrna oko 30 μm) i nalazi se u *matriksu*. Raspored zrna teži prema poligonalnoj strukturi, ali granice među zrnima nisu oštre. Mjestimično je vidljivo undulozno potamnjenje. Ovakva obilježja karakteristična su za srednji do gornji stadij dinamičke rekristalizacije. Za kvarc to odgovara temperaturama oko 500°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

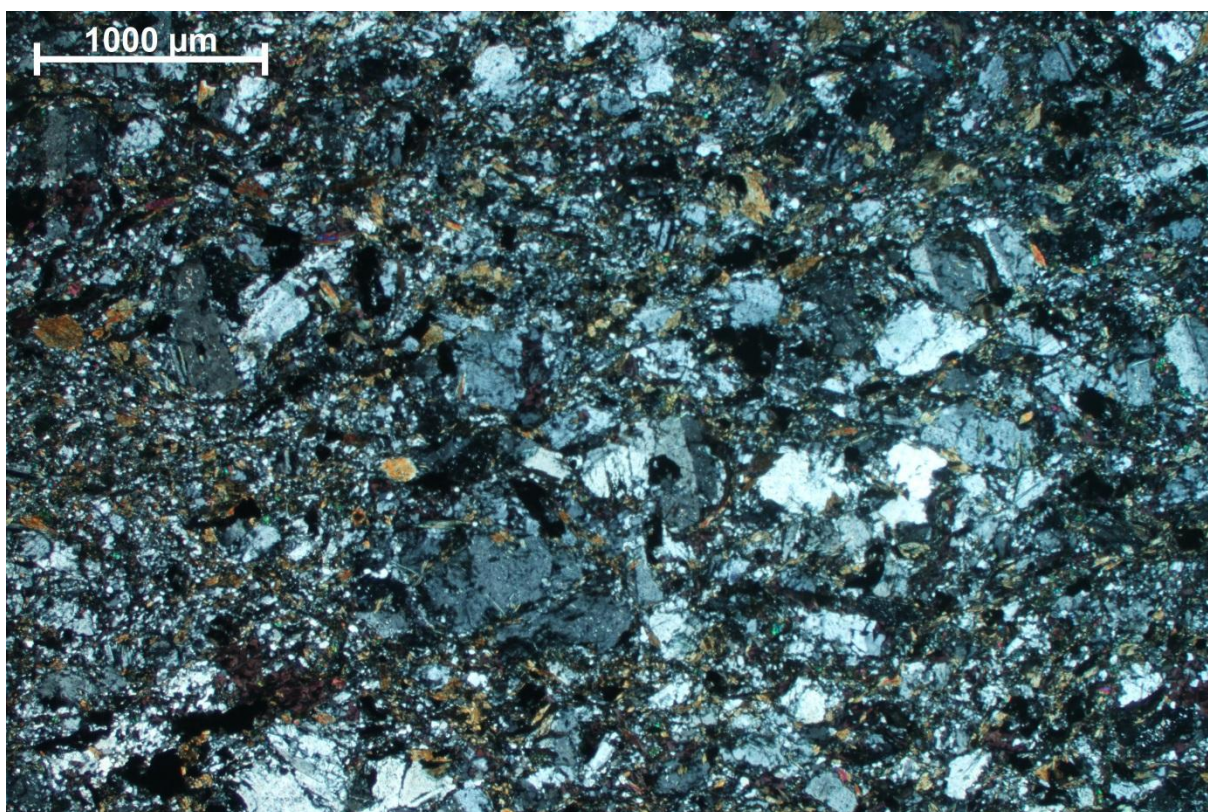
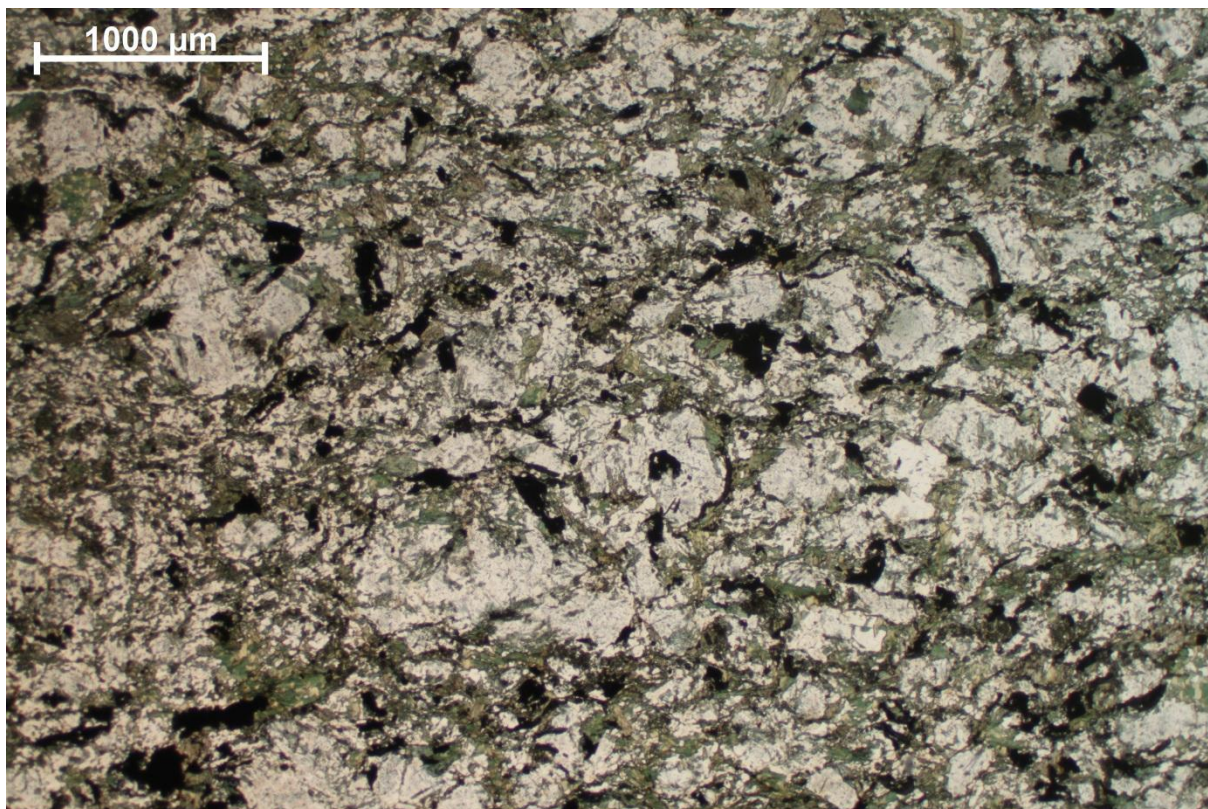
Plagioklasi su razvijeni u krupnijim hipidiomorfim zrnima veličine 400-600 μm s razvijenim polisintetskim sraslačkim lamelama. Na presjecima iz zone simetrijskog potamnjenja izmjereni su kutevi potamnjenja koji iznose 11-14°, što prema RITTMANN (1929) odgovara sastavu plagioklasa s 28-30% anortitne komponente, odnosno oligoklasu. Zrna su puna brojnih sitnih uklopaka, često su mehanički deformirana, mjestimično pokazuju undulozno potamnjenje, a uz rub nastanak podzrna. Ove karakteristike vezane su za početni do srednji stadij dinamičke rekristalizacije i temperature oko 450-500°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

Klorit razvijen u alotriomorfim zrnima, generalno preferirane orijentacije. Izraženog je pleokroizma uz anomalne ljubičaste interferencijske boje, koje prema EHLERS (1987) odgovaraju kloritima bogatijima Fe-komponentom, tj. 50-75% Fe-komponente.

Amfiboli su razvijeni u hipidiomorfim zrnima, izraženog pleokroizma (X, Y = blijedozeleno, Z = plavo-zeleno). Interferencijske boje drugog su reda (uglavnom žute), a kutevi kosog potamnjenja variraju u rasponu 10-20°, što odgovara aktinolitu i hornblendi (prema TRÖGER, 1982; DEER et al., 2013).

Opaki minerali razvijeni su u nakupinama, mjestimično vidljivi idiomorfni presjeci zrna.

Epidot je razvijen u hipidiomorfim, ponegdje idiomorfim zrnima, sitnozrnat (veličine zrna 30-60 μm).



Slika 4.4: (A) Mikrofotografija uzorka PK9. Granoblastična struktura. Krupna zrna su plagioklasi, kvarc je sitnozrnat, u matriksu. N+. (B) N-.

4.2.4 PK12

Stijena granoblastične strukture, krupnozrnata. Iako je škriljavost vidljiva makroskopski, u mikroskopskim preparatima gotovo uopće nije izražena (slika 4.5). Mineralni sastav uzorka je sljedeći: plagioklasi (40 vol.%), klorit (25 vol.%), amfiboli (20 vol.%), epidot i zoisit (10 vol.%, epidot dominantno zastupljen) i opaki minerali (5 vol.%).

Plagioklasi su razvijeni u hipidiomorfim do alotriomorfim zrnima, s razvijenim polisintetskim sraslačim lamelama. Na presjecima iz zone simetrijskog potamnjenja izmjereni su kutevi potamnjenja koji iznose 10-12°, što prema RITTMANN (1929) odgovara sastavu plagioklasa s 27-28% anortitne komponente, tj. oligoklasu. Zrna su blago do umjereno kaolinitizirana, puna brojnih uklopaka, primjerice: klorita, epidota i opakih minerala. Mehanički su trošena: razvijene koljениčaste deformacije i mikrorasjedi po plohama kalavosti. Mjestimično vidljivo undulozno potamnjenje i stvaranje podzrna uz rubove porfiroklasta. Ove karakteristike vezane su uz početak dinamičke rekristalizacije plagioklasa, što odgovara temperaturama oko 400-450°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

Klorit je razvijen u agregatima. Vrlo je slabog pleokroizma, svijetlozelene vlastite boje. Interferencijske boje su anomalne smeđe što odgovara kloritima bogatima Mg-komponentom (50-75 at.% Mg), uz prosljoke anomalne plave što odgovara kloritima bogatima Fe-komponentom (50-75 at.% Fe, prema EHLERS, 1987; DEER et al., 2013).

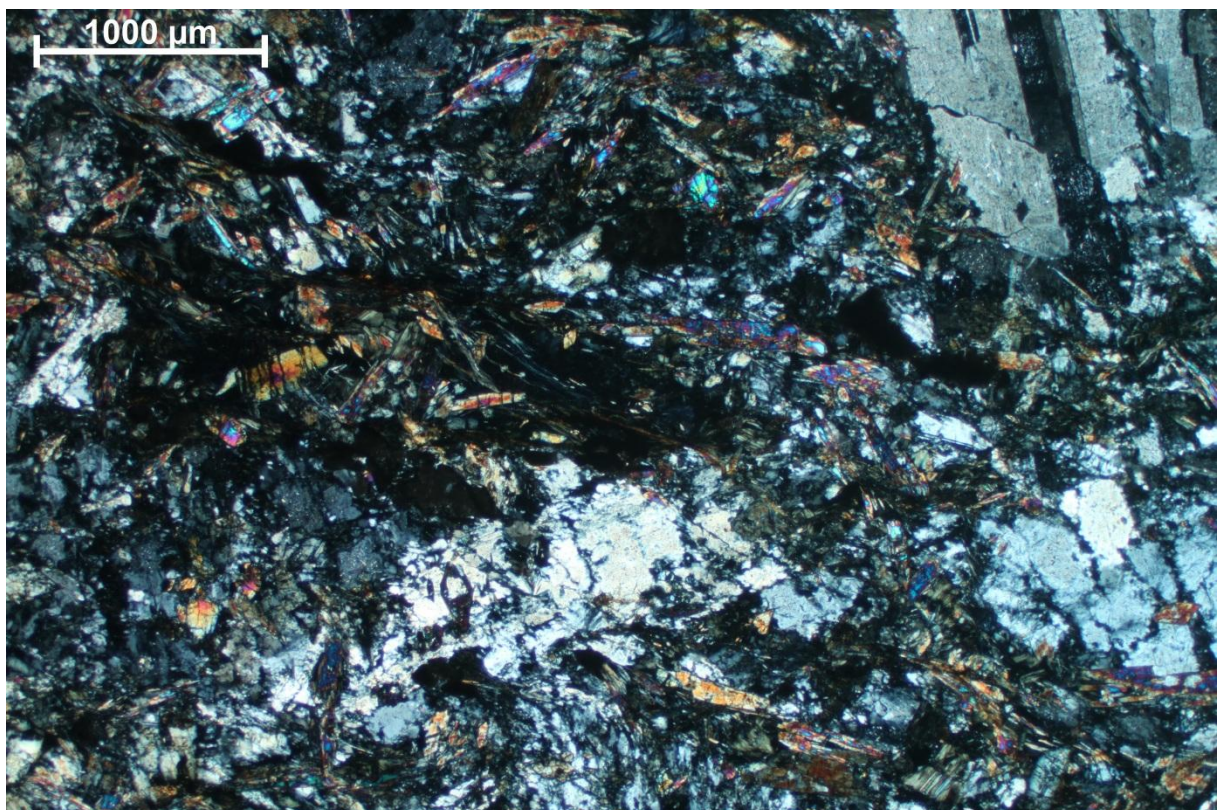
Amfiboli su razvijeni u idiomorfim do hipidiomorfim zrnima, mjestimično igličasti. Pleokroizam je vrlo slab (X, Y=bezbojno i Z=blago plavo-zeleno). Interferencijske boje drugog su reda (uglavnom žute). Maksimalni kutevi kosog potamnjenja iznose oko 14°, što prema TRÖGER (1982) odgovara aktinolitu.

Epidot i zoisit razvijeni u hipidiomorfim do idiomorfim zrnima. Gotovo su bezbojni, a međusobno se razlikuju samo po interferencijskim bojama.

Opaki minerali javljaju se u agregatima, uglavnom uz agregate klorita.



A



B

Slika 4.5: (A) Mikrofotografija uzorka PK12. Gornji desni kut: kaolinitizirano zrno plagioklasa, vidljive mehaničke deformacije. U sredini agregat klorita i epidota. N+. (B) N-.

4.2.5 PK17

Stijena granolepidoblastične strukture, sitnozrnata. Izražena folijacija definirana dominantno trakastim agregatima opakih minerala i nakupinama klorita (slika 4.6). Mineralni sastav uzorka je sljedeći: leukokratski minerali (plagioklasi i kvarc, 40-45 vol.%, približno podjednako zastupljeni), klorit (35-40 vol.%), opaki minerali (15 vol.%), epidot (5 vol.%) i amfiboli (<1 vol.%).

Plagioklasi su razvijeni u hipidiomorfnim zrnima. Mjestimično su vidljivi polisintetski sraslaci. Na presjecima iz zone simetrijskog potamnjenja izmjereni su kutevi potamnjenja koji iznose oko 12°, što prema RITTMANN (1929) odgovara sastavu plagioklasa s 28% anortitne komponente, tj. oligoklasu. Zrna pokazuju undulozno potamnjenje uz formiranje podzrna uz rubove. Ova obilježja karakteristična su za srednji stadij dinamičke rekristalizacije, za plagioklase pri temperaturama oko 450-500°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

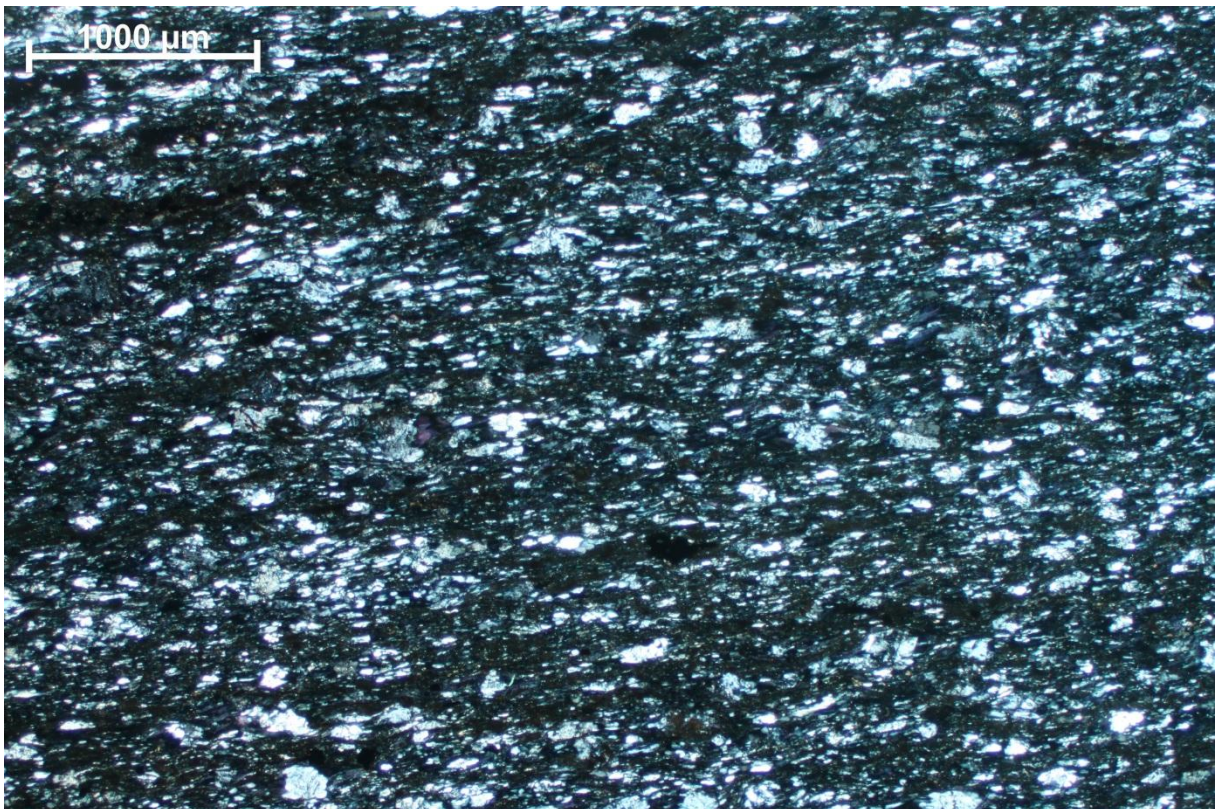
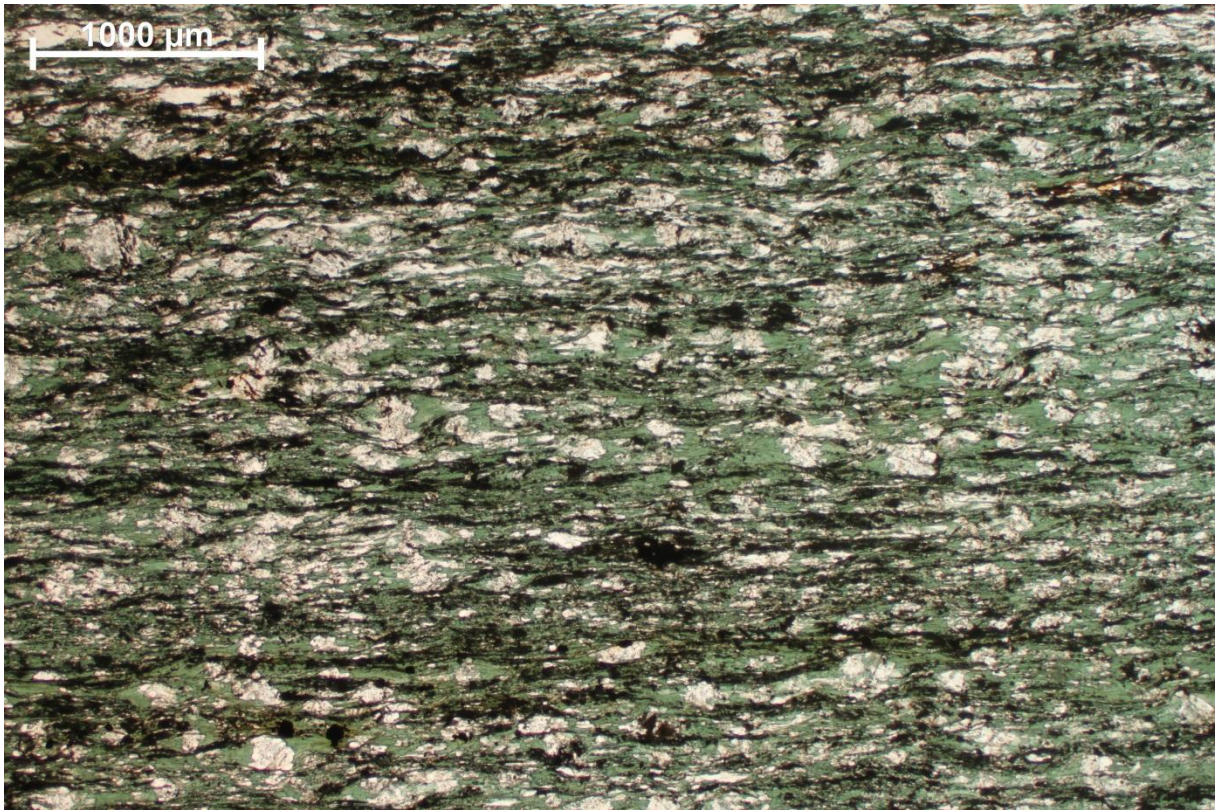
Kvarc se javlja u trakastim sitnozrnatim nakupinama. Zrna su izdužena paralelno sa folijacijom, a granice među zrnima nisu potpuno oštre. Ova obilježja karakteristična su za srednji do gornji stadij dinamičke rekristalizacije, za kvarc pri temperaturama oko 400-500°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

Klorit je razvijen u hipidiomorfnim do alotriomorfnim zrnima. Izraženog je pleokroizma i anomalnih ljubičastih i plavih interferencijskih boja, što odgovara kloritima bogatima Fe-komponentom (50-75 at.% Fe, prema EHLERS, 1987).

Opaki minerali javljaju se u trakastim nakupinama, definiraju folijaciju. Mjestimično se uz nakupine javlja narančasto-smeđe obojenje kao moguća posljedica trošenja opakih minerala.

Epidot je sitnozrnat (veličina zrna oko 30 µm), javlja se uz opake minerale.

Amfiboli se javljaju akcesorno, igličastog su habitusa. Interferencijske boje žive su drugog reda.



Slika 4.6: (A) Mikrofotografija uzorka PK17. Granolepidoblastična struktura, krupnija zrna su porfiroblasti plagioklasa N-. (B) N+.

4.2.6 PK19

Stijena granolepidoblastične strukture, krupnozrnata. Folijacija je definirana orijentacijom i povijanjem agregata klorita i vrpčastim nakupinama opakih minerala (slika 4.7). Mineralni sastav uzorka je sljedeći: plagioklasi (50 vol.%), klorit (25-30 vol.%), amfiboli (10-15 vol.%), opaki minerali (5 vol.%) i epidot (5 vol.%).

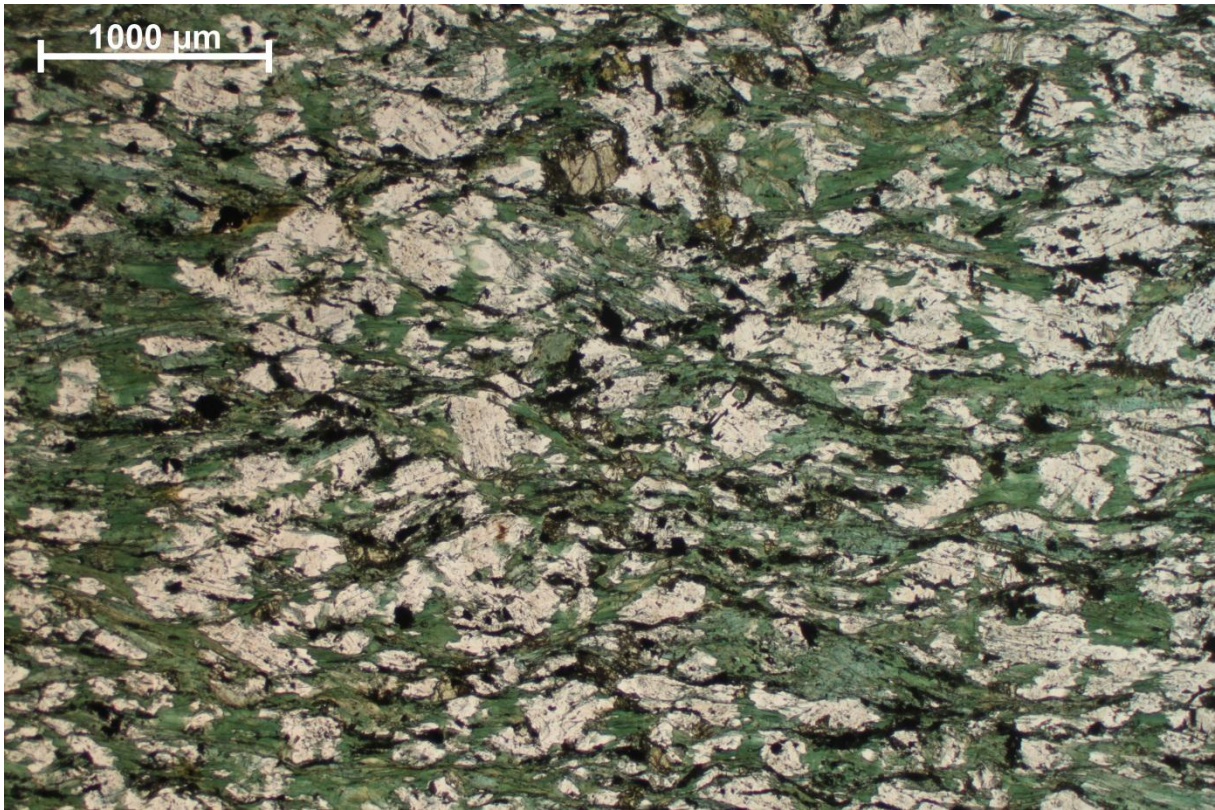
Plagioklasi su razvijeni u hipidiomorfim zrnima. Veličina zrna je oko 500 μm . Razvijene su polisintetske sraslačke lamele. Na presjecima iz zone simetrijskog potamnjenja izmjereni su kutevi potamnjenja koji iznose 10-14°, što prema RITTMANN (1929) odgovara sastavu plagioklasa s 27-30% anortitne komponente, tj. oligoklasu. Zrna su vrlo blago kaolinitizirana. Česti su uklopci klorita, iglica amfibola i opakih minerala. Zrna često pokazuju undulozno potamnjenje i razvoj podzrna uz rubove. Mjestimično su vidljiva peritna proraštanja (*flame perthite*). Navedene karakteristike vezane su uz početni do srednji stadij dinamičke kristalizacije, što za plagioklase odgovara temperaturama oko 450-500°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

Klorit je razvijen u agregatima. Izraženog je pleokroizma i anomalne ljubičaste interferencijske boje što odgovara kloritima bogatima Fe-komponentom (50-75 at.% Fe, prema EHLERS, 1987).

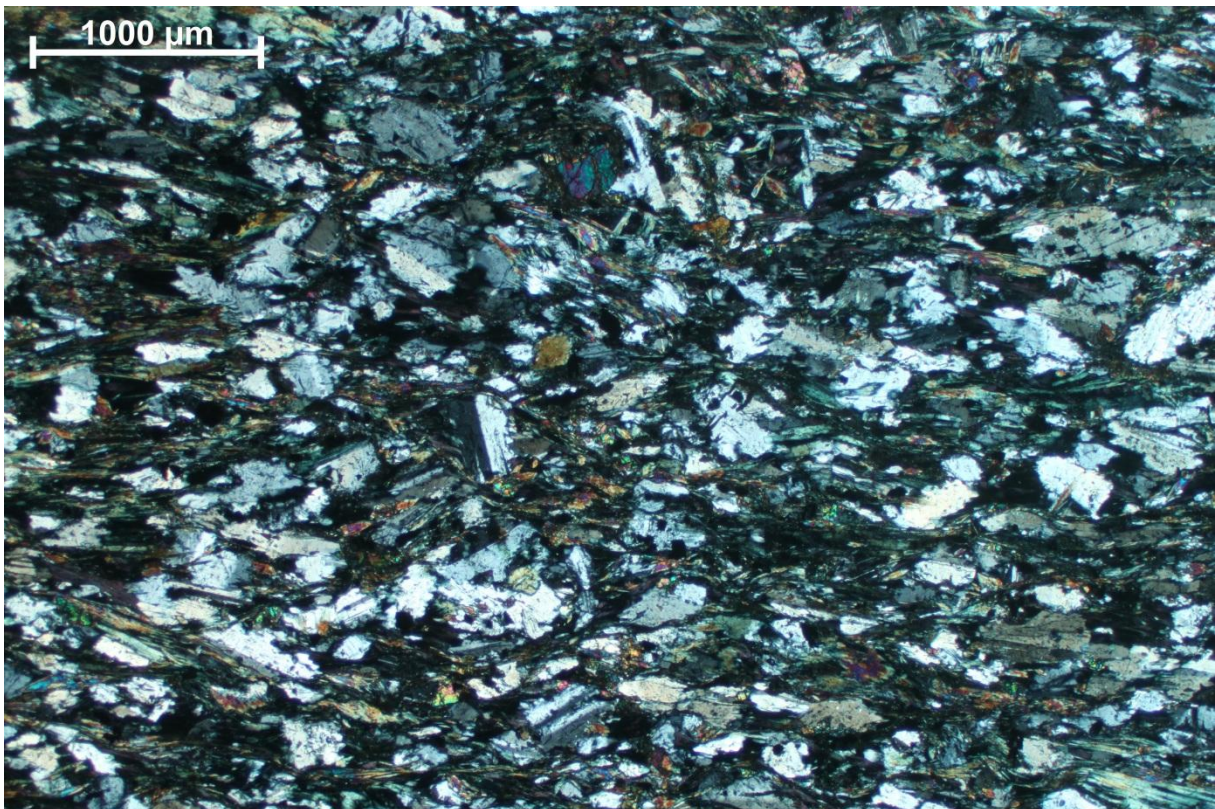
Amfiboli su razvijeni u hipidiomorfim zrnima, uglavnom uz agregate klorita. Izraženog su pleokroizma (X = zeleno, Y = blago zeleno, Z = plavo-zeleno). Maksimalni kutevi kosog potamnjenja iznose 16-20° što odgovara hornblendi (TRÖGER, 1982). Orijehtacija amfibola uglavnom je paralelna s folijacijom.

Opaki minerali razvijeni u nakupinama, mjestimično vrpčastim. Javljaju se uglavnom uz agregate klorita.

Epidot je razvijen u hipidiomorfim do alotriomorfim zrnima, uglavnom uz nakupine opakih minerala. Umjereno je izraženog pleokroizma (zelenkasto-žuta do gotovo bezbojno u međusobno okomitim položajima) što je posljedica supstitucije Fe^{3+} i Al, i odgovara epidotima bogatijima na Fe (prema DEER et al., 2013).



A



B

Slika 4.7: (A) Mikrofotografija uzorka PK19. Granolepidoblastična struktura. Krupnija zrna su plagioklasi, žuto obojena epidot. N-. (B) N+.

4.2.7 PK27

Stijena nematoblastične strukture, sitnozrnata. Škriljavost definirana trakastim agregatima opakih minerala, orijentacijom igličastih amfibola i listića klorita (slika 4.8). Mineralni sastav uzorka je sljedeći: amfiboli (35-40 vol.%), leukokratski minerali (plagioklasi i kvarc, 20-25 vol.%, plagioklasi su dominantno zastupljeni), klorit (20 vol.%), epidot (10 vol.%) i opaki minerali (10 vol.%).

Amfiboli su igličastog habitusa. Interferencijske boje žive su drugog reda. Maksimalni kutevi kosog potamnjenja iznose 12-15° što prema TRÖGER (1982) odgovara aktinolitu.

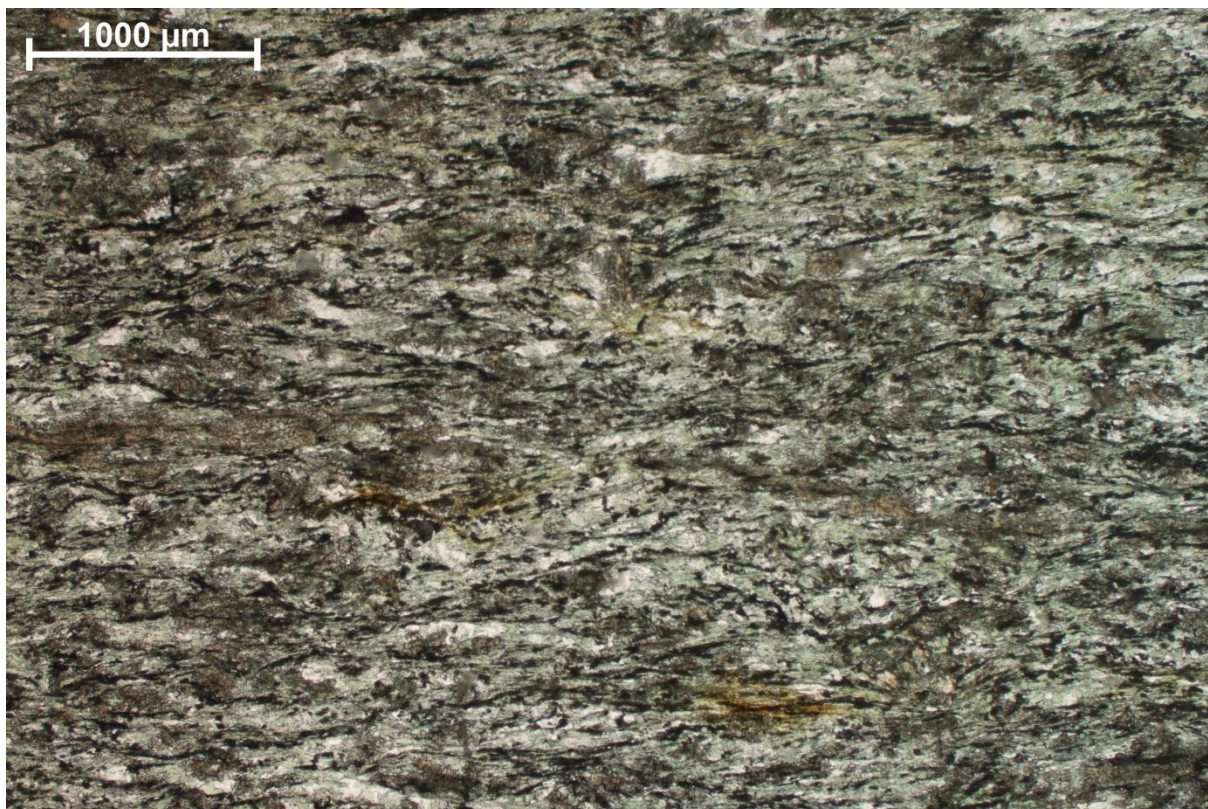
Plagioklasi su razvijeni u hipidiomorfim zrnima. Naziru se polisintetski sraslaci. Vidljivi su brojni uklopci opakih minerala, klorita i iglica aktinolita. Zrna pokazuju undulozno potamnjenje, uz rubove razvoj manjih podzrna. Mjestimično su potpuno zamijenjena sitnozrnatim rekristaliziranim materijalom. Ove karakteristike ukazuju na srednji stadij dinamičke rekristalizacije plagioklasa koje odgovaraju temperaturama oko 500-600°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

Kvarc je razvijen u sitnozrnatim vrpčastim nakupinama, uglavnom uz amfibole. Zrna su hipidiomorfna, mjestimično ameboidalna. Granice nisu oštre. Ovakva obilježja karakteristična su za srednji do gornji stadij dinamičke rekristalizacije, što za kvarc odgovara temperaturama oko 500-700°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

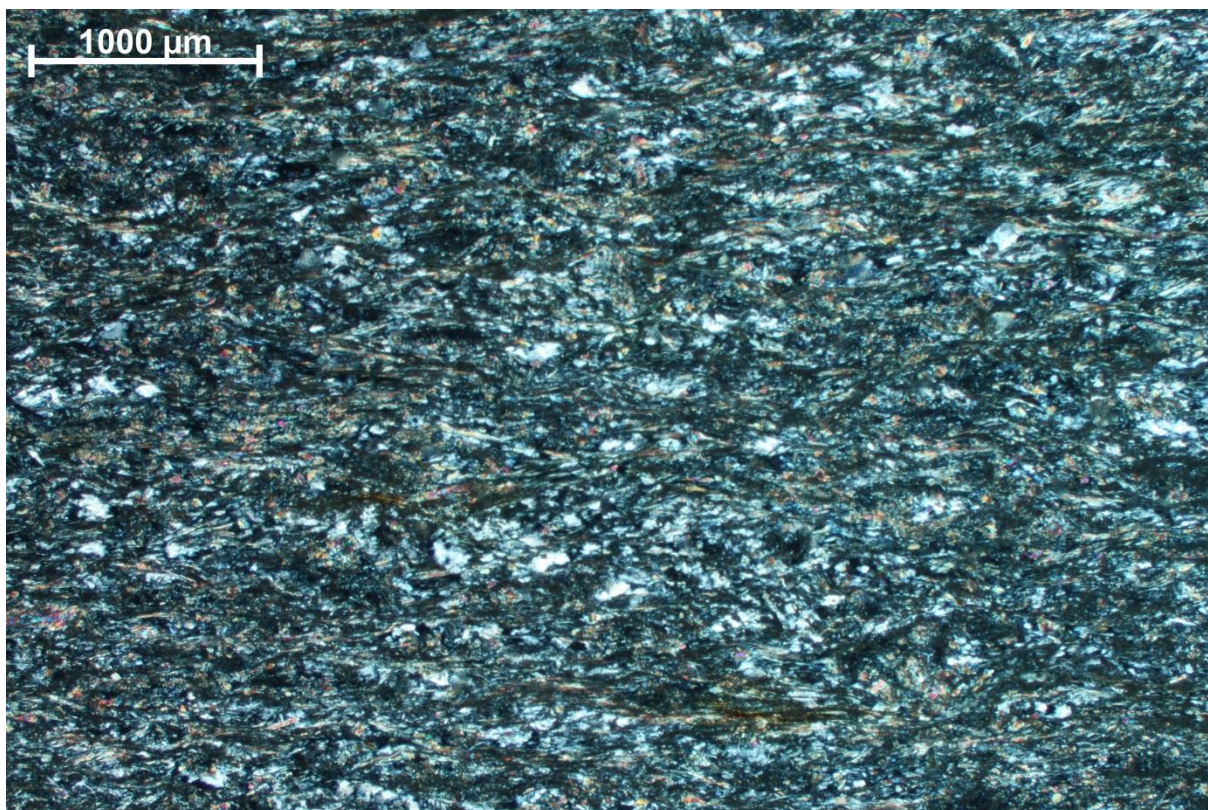
Klorit je razvijen u hipidiomorfim zrnima. Vlastita boja blago zelena, pleokroizam je vrlo slabo izražen. Interferencijske boje sive su prvog reda. Ovakva optička svojstva odgovaraju kloritima bogatima Mg-komponentom (75-100 at.% Mg-komponente, prema EHLERS, 1987; DEER et al., 2013).

Epidot je sitnozrnat, veličine zrna do 40 µm. Javlja se u nakupinama uglavnom uz opake minerale. Bezbojan je do blago žut, ne pokazuje pleokroizam.

Opaki minerali razvijeni u sitnozrnatim trakastim nakupinama. Uz njih su mjestimično sitnozrnate crvene nakupine hematita i žuto-smeđe nakupine, vjerojatno kao posljedica trošenja željezovitih minerala.



A



B

Slika 4.8: (A) Mikrofotografija uzorka PK27. Nematoblastična struktura, sitnozrnato. Žuto-smeđe mrlje vjerojatno su posljedica trošenja opakih (željezovitih) minerala. N-. (B) N+.

4.2.8 PK28

Stijena granolepidoblastične strukture, krupnozrnata (slika 4.9). Mineralni sastav uzorka je sljedeći: klorit (40 vol.%), plagioklasi (25 vol.%), epidot (25 vol.%), opaki minerali (5 vol.%), kalcit (5 vol.%) i kvarc (<1 vol.%).

Klorit je razvijen u nakupinama hipidiomorfnih zrna. Izraženog je pleokroizma, a mjestimično je smeđe obojen (vjerojatno od fino raspršenih opakih minerala). Interferencijske boje anomalne su smeđe koje odgovaraju kloritima bogatima Mg-komponentom (50-75 at.% Mg), uz proslojke anomalne ljubičaste što odgovara kloritima bogatima Fe-komponentom (50-75 at.% Fe, prema EHLERS, 1987).

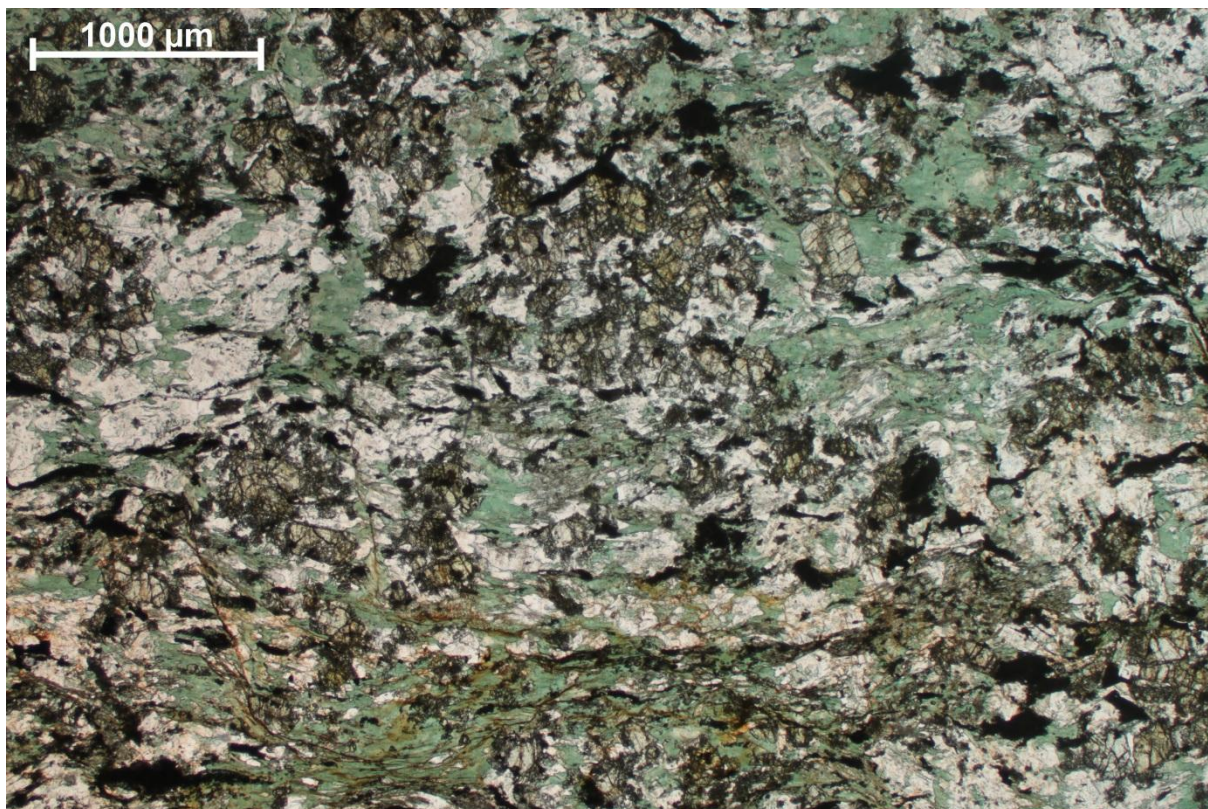
Plagioklasi su razvijeni u hipidiomorfni i alotriomorfni zrnima. Mjestimično se naziru polisintetski sraslaci i sraslaci dvojci. Vidljivo undulozno potamnjenje, uz rub zrna nastanak podzrna, mjestimično su zrna potpuno zamijenjena rekristaliziranim sitnozrnatim materijalom. Ovakve karakteristike odgovaraju srednjem stadiju dinamičke rekristalizacije plagioklasa i temperaturama 500-600°C prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

Epidot je razvijen u hipidiomorfni zrnima (veličina zrna 250-400 µm). Bezbojan je do žut, mjestimično s vrlo slabim pleokroizmom što odgovara epidotima siromašnijima na Fe (prema DEER et al., 2013). Zrna su ispucana, često i fragmentirana.

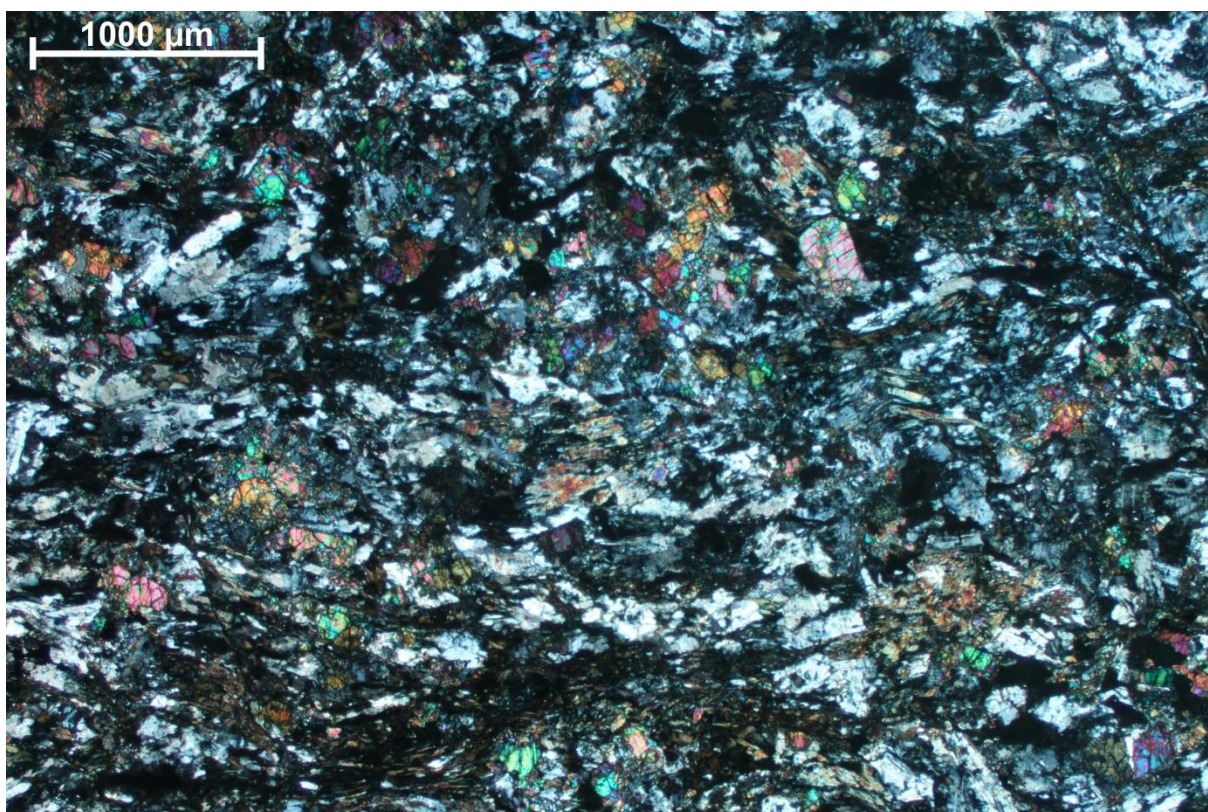
Opaki minerali razvijeni su u agregatima i vrpčama koje prate folijaciju.

Kalcit je razvijen u hipidiomorfni do idiomorfni zrnima unutar žilica i kao hipidiomorfna zrna unutar stijene. Vidljivi deformacijski sraslaci tipa II i tipa III, karakteristični za raspon temperatura 200-300°C (PASSCHIER & TROUW, 2005).

Kvarc je razvijen u alotriomorfni ameboidalnim zrnima, u vrlo malim nakupinama. Ovakav oblik zrna karakterističan je za gornji stadij dinamičke rekristalizacije kvarca i temperature 500-700°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).



A



B

Slika 4.9: (A) Mikrofotografija uzorka PK28. Granolepidoblastična struktura. Zrna epidota su fragmetirana, plagioklasi u stadiju dinamičke rekristalizacije. N-. (B) N+.

4.2.9 PK30

Stijena nematoblastične strukture, sitnozrnata uz krupnije porfiroblaste epidota (slika 4.10). Mineralni sastav uzorka je sljedeći: amfiboli (45-50 vol.%), epidot (10 vol.%), zoisit (10 vol.%), leukokratski minerali (plagioklasi i kvarc, 10-15 vol.%), opaki minerali (10-15 vol.%) i klorit (10 vol%).

Amfiboli su razvijeni u igličastim zrnima koja generalno definiraju škriljavost. Maksimalni kutevi kosog potamnjenja iznose 10-15° što prema TRÖGER (1982) odgovara aktinolitu.

Plagioklasi su ravijeni u hipidiomorfim zrnima, s brojnim uklopcima klorita, epidota, zoisita i aktinolita. Mjestimično su sericitizirani. Nejasno su vidljivi polisintetski sraslaci. Zrna pokazuju undulozno potamnjenje, a granice među njima nisu jasno definirane zbog sitnih podzrna nastalih na rubovima većih zrna. Takva obilježja karakteristična su za srednji stadij dinamičke rekristalizacije, za plagioklase se javljaju pri temperaturama oko 500-600°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

Kvarc je sitnozrnat, razvijeni u alotriomorfim zrnima, najčešće u nakupinama (*džepovima*). Nejasno je definiranih granica zrna (razvoj podzrna), a zrna su mjestimično ameboidna. Ova obilježja karakteristična su za srednji do gornji stadij dinamičke rekristalizacije kvarca, tj. temperature oko 500°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

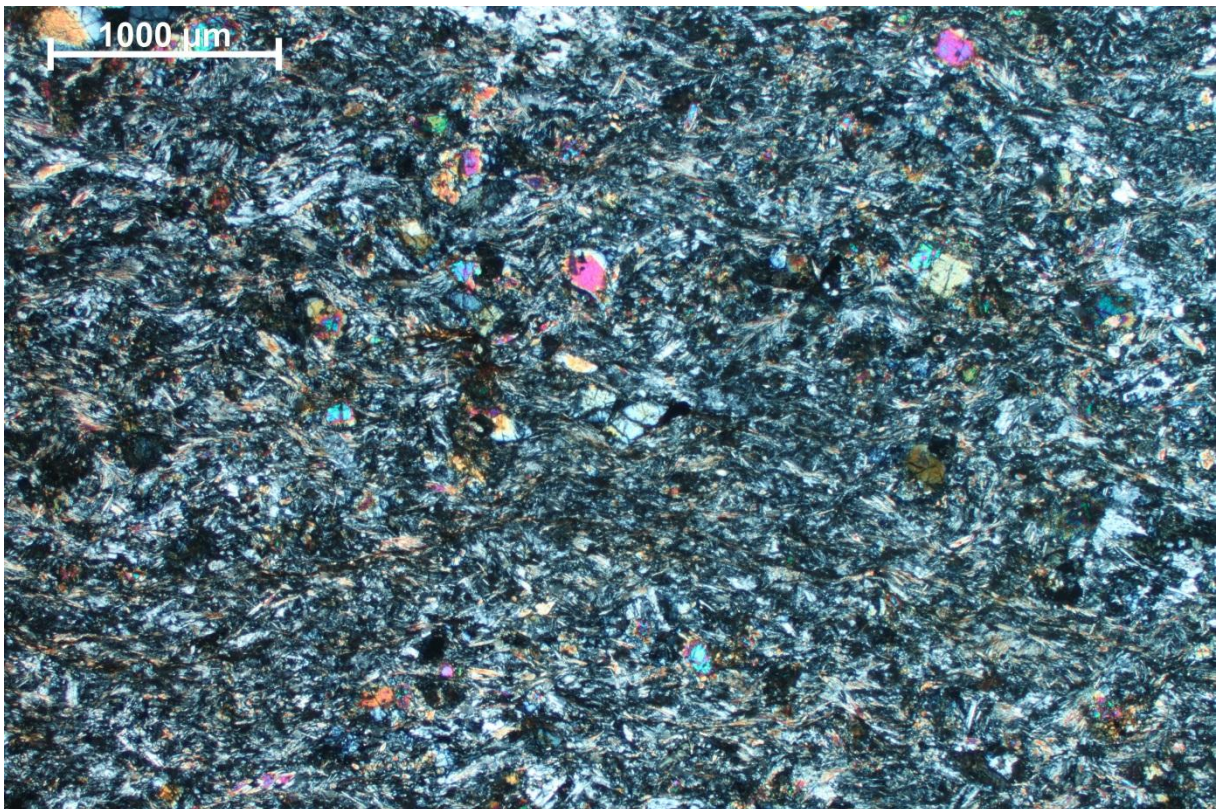
Epidot je krupnozrnat (veličina zrna oko 300 µm) razvijeni u hipidiomorfim blastima koji su izvan folijacije. Vlastita boja je blago žuta. Zoisit je razvijeni u hipidiomorfim i idiomorfim zrnima. Od epidota se razlikuje vlastitom bojom (bezbojan je) i anomalnom indigo-plavom interferencijskom bojom.

Opaki minerali ravijeni su u nakupinama, generalno prate folijaciju.

Klorit je razvijeni u alotriomorfim zrnima. Vlastita boja blijedozelena, vrlo je slabo izraženog pleokroizma, a interferencijske boje sive su prvog reda. Takve mikroskopske značajke odgovaraju kloritima bogatima Mg-komponentom (75-100 at.% Mg, prema EHLERS, 1987; DEER et al., 2013).



A



B

Slika 4.10: (A) Mikrofotografija uzorka PK30. Nematoblastična struktura, razaznaje se i reliktna ofitska sa slabo izraženim krenulacijskim klivažem. Sitnozrnati matriks od aktinolita, klorita i kvarca. Porfiroblasti plagioklasa, epidota i zoisita. N-. (B) N+.

4.2.10 PK38

Stijena granolepidoblastične strukture, izražena folijacija definirana dominantno vrpčastim agregatima opakih minerala i agregatima klorita (slika 4.11). Mineralni sastav uzorka je sljedeći: klorit (50 vol%), leukokraski minerali (plagioklasi i kvarc, 30 vol.%, plagioklasi su dominantno zastupljeni), epidot (10 vol.%), opaki minerali (7-10 vol.%), akcesorno se javljaju amfiboli (aktinolit, ~2 vol.%) i granati (~1 vol.%).

Klorit se javlja u agregatima alotriomorfih zrna, definira folijaciju stijene. Izraženog je pleokroizma i anomalne smeđe interferencijske boje, karakteristične za klorite bogatije Mg-komponentom, tj. 50-75 at.% Mg (prema EHLERS, 1987).

Plagioklasi su razvijeni u hipidiomorfim zrnima, mjestimično u idiomorfim zrnima. Porfiroblasti su veličine i do 1,5 mm, pokazuju undulozno potamnjenje, a uz rubove su razvijena manja podzrna. Ova obilježja ukazuju na srednji stadij dinamičke rekristalizacije, za plagioklase pri temperaturama oko 450-600°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005). Na presjecima iz zone simetrijskog potamnjenja izmjereni su kutevi potamnjenja koji iznose 5-12°, što prema RITTMANN (1929) odgovara sastavu plagioklasa s 23-28% anortitne komponente, tj. oligoklasu.

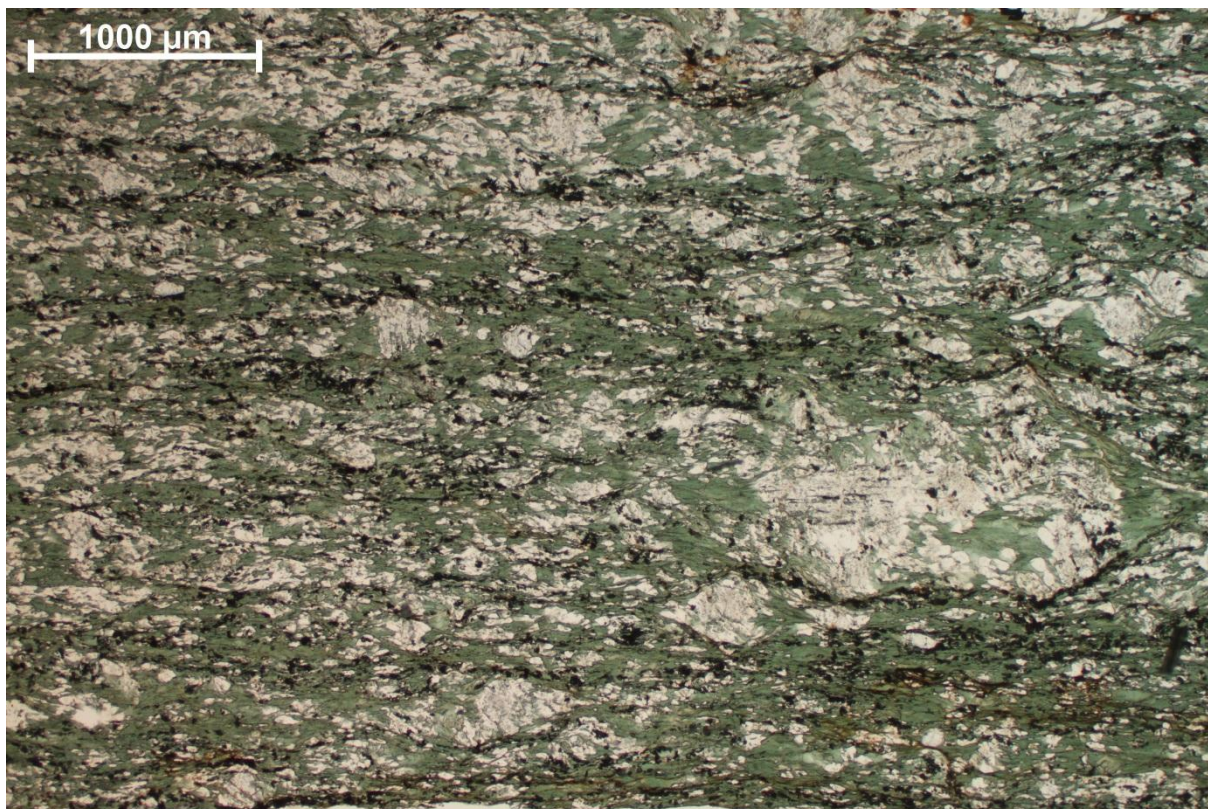
Kvarc je sitnozrnat, razvijen u nakupinama hipidiomorfih zrna. Pokazuje znakove srednjeg stadija dinamičke kristalizacije (razvoj podzrna i njihova rotacija, undulozno potamnjenje većih zrna), karakteristično za temperature od 400 do 500°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005). Mjestimično se nalaze džepovi koji pokazuju obilježja nedovršene statičke rekristalizacije.

Epidot je vrlo sitnozrnat (veličine zrna oko 30 µm), razvijen u idiomorfim i hipidiomorfim zrnima.

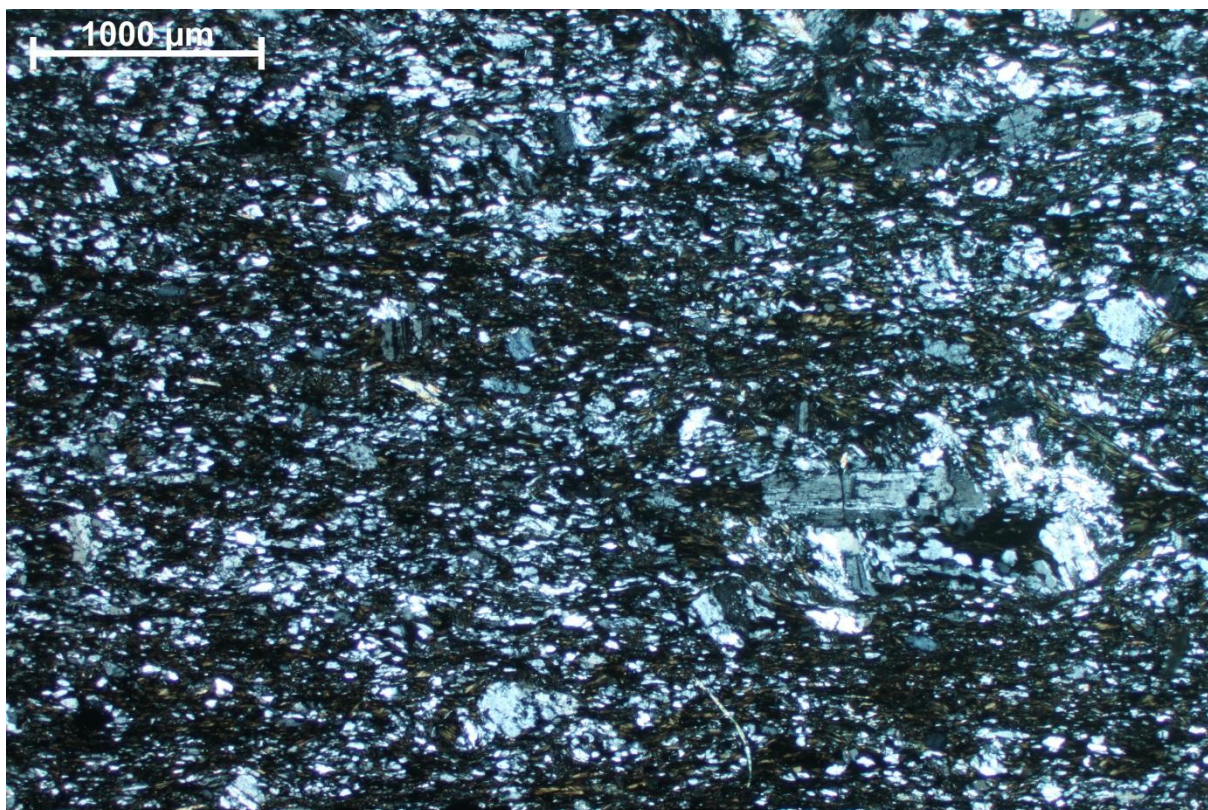
Opaki minerali grupiraju se u vrpce koje, uz klorit, definiraju folijaciju. Uglavnom se javljaju uz nakupine epidota.

Amfiboli su razvijeni u igličastim zrnima, pokazuju blagi pleokroizam (X, Y = bezbojno, Z = blago plavo-zeleno), a maksimalni kutevi kosog potamnjenja iznose 8-15°, što odgovara sastavu aktinolita (TRÖGER, 1982.)

Granati su razvijeni u hipidiomorfim do idiomorfim zrnima (slika 4.12). Bezbojni su i blago anizotropni što upućuje na spessartinski sastav (prema DEER et al., 2013).

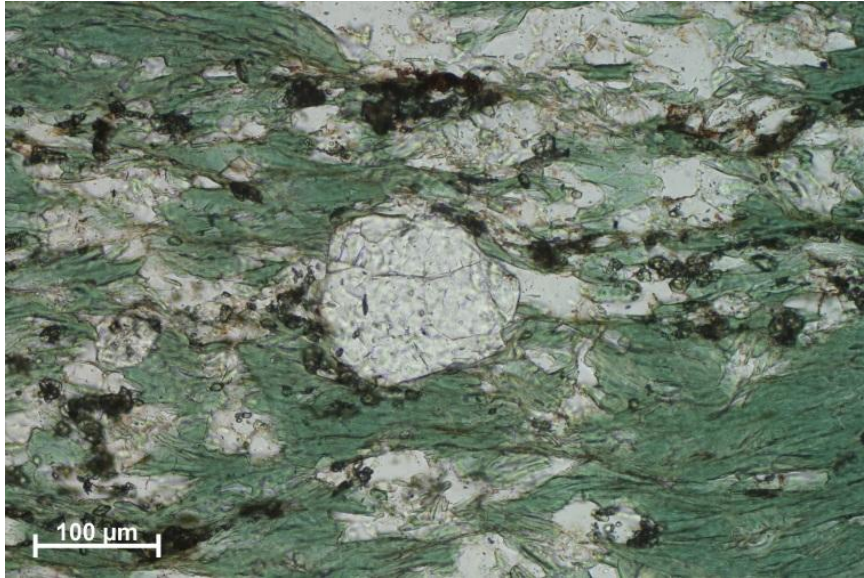


A



B

Slika 4.11: (A) Mikrofotografija uzorka PK38. Granolepidoblastična struktura. Folijacija definirana trakastim agregatima opakih minerala i agregatima klorita. Porfiroblasti plagioklasa zahvaćeni procesima dinamičke rekristalizacije. N-. (B) N+.



Slika 4.12: Idiomorfno zrno granata. Sitna zrna uz opake minerale su epidoti. N-

4.2.11 PK40

Stijena granoblastične strukture, mikroskopski vrlo slabo izražene škrljavosti. Krupnozrnata, s prosječnom veličinom zrna oko 500 μm . Granice zrna jasno su definirane i markirane nakupinama opakih minerala (slika 4.13). Mineralni sastav uzorka je sljedeći: klorit (30 vol.%), plagioklasi (25 vol.%), kalcit (20 vol.%), opaki minerali (15 vol.%), kvarc (5 vol.%) i epidot (5 vol.%).

Klorit je razvijen u nakupinama hipidiomorfnih zrna. Izraženog je pleokroizma i anomalne smeđe interferencijske boje koje prema EHLERS (1987) odgovaraju kloritima bogatijima Mg-komponentom, tj. 50-75 at.% Mg.

Plagioklasi su razvijeni u hipidiomorfnim zrnima, vidljivi polisintetski sraslaci i sraslaci dvojci. Na presjecima iz zone simetrijskog potamnjenja izmjereni su kutevi potamnjenja koji iznose 13-15°, što prema RITTMANN (1929) odgovara sastavu plagioklasa s 29-31% anortitne komponente, tj. oligoklas/andezin. Zrna plagioklasa puna su brojnih uklopaka epidota i klorita. Uglavnom su svježja, bez izmjena i oštih su granica, mjestimično pokazuju undulozno potamnjenje i nastanak podzrna uz rubove kao početak dinamičke rekristalizacije (za plagioklase je ta pojava karakteristična za temperature oko 450°C, prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

Kalcit je razvijen u hipidiomorfnim krupnim zrnima veličine čak i do 800 μm , bilo u žilicama ili kao neovisni agregati unutar stijene. Jasno se uočavaju deformacijski sraslaci tipa II karakteristični za temperature oko 200°C (maksimalno do 300°C, prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

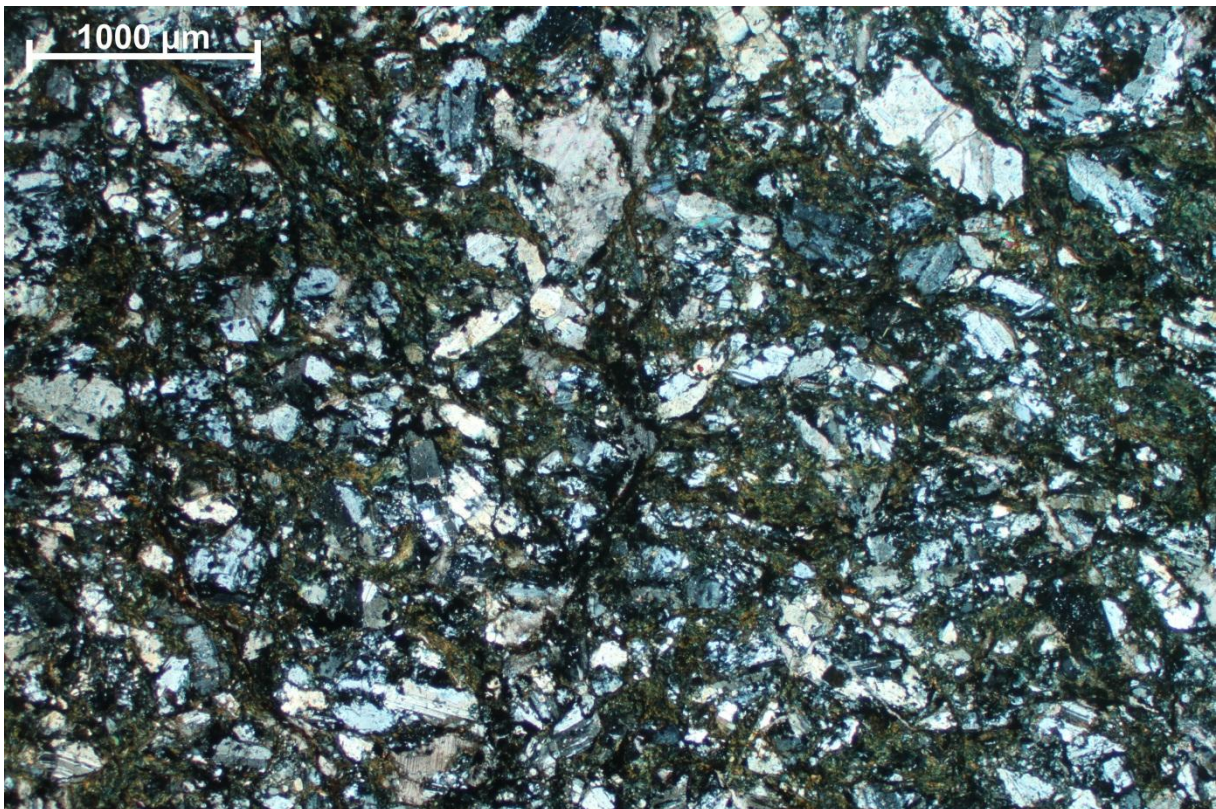
Opaki minerali razvijeni su u trakastim nakupinama, mjestimično crvene boje od sitnozrnatog hematita.

Kvarc je sitnozrnat, razvijen u alotriomorfnim zrnima, uglavnom u matriksu uz nakupine kalcita. Često je nejasno definiranih granica, kao posljedica plastične deformacije (srednji stadij, temperature oko 400°C, prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

Epidot je sitnozrnat, razvijen u hipidiomorfnim zrnima uz uobičajene žive interferencijske boje.



A



B

Slika 4.13: (A) Mikrofotografija uzorka PK40. Granoblastična struktura. N-. (B) N+.

4.2.12 ADO1

Stijena granolepidoblastične strukture, krupnozrnata. Mikroskopski je folijacija umjereno do slabo izražena, definirana nakupinama opakih minerala i povijanjem listića klorita (slika 4.14). Mineralni sastav uzorka je sljedeći: plagioklasi (55 vol.%), kalcit (20 vol.%), klorit (15 vol.%), opaki minerali (7 vol.%) i epidot (3 vol.%).

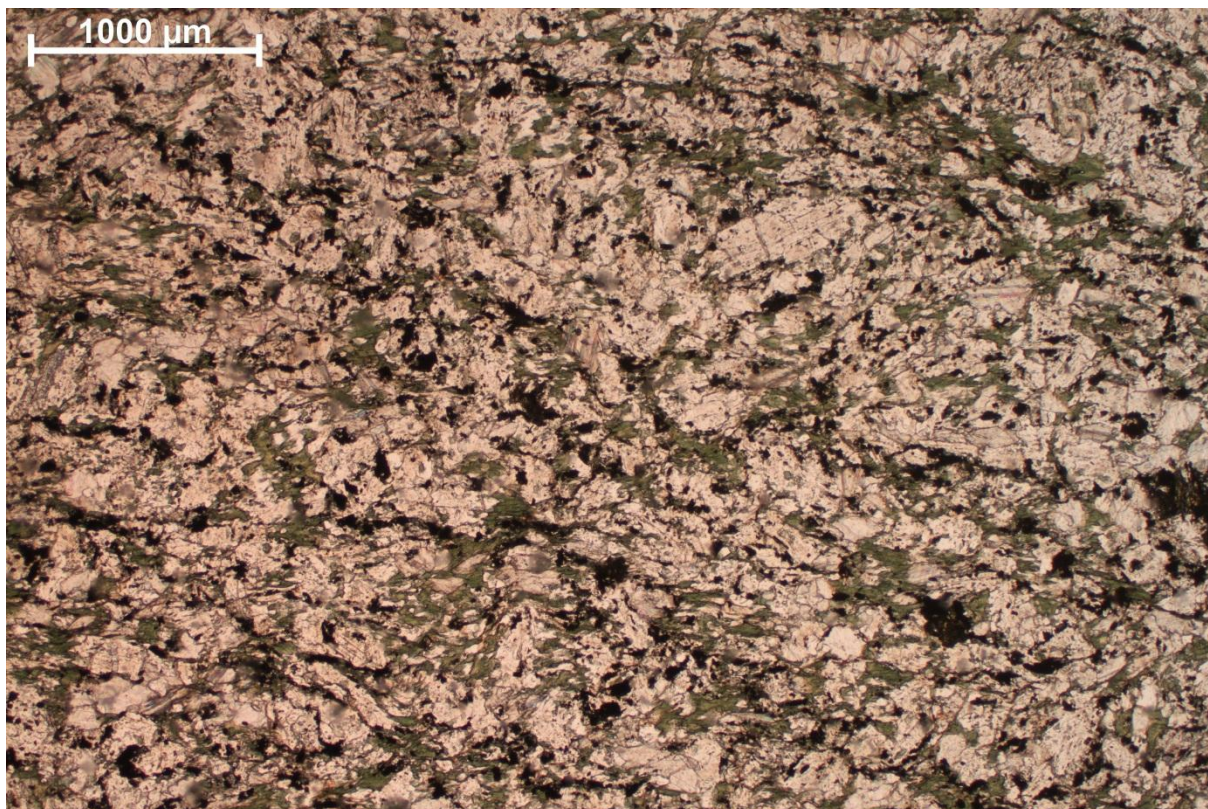
Plagioklasi su razvijeni u hipidiomorfnim zrnima, vidljivi polisintetski sraslaci. Na presjecima iz zone simetrijskog potamnjenja izmjereni su kutevi potamnjenja koji iznose 6-12°, što prema RITTMANN (1929) odgovara sastavu plagioklasa s 24-28% anortitne komponente, odnosno oligoklasu. Brojni su uklopci klorita, opakih minerala i epidota. Zrna su mjestimično blago kaolinitizirana, češće sericitizirana duž pukotina kalavosti. Pokazuju undulozno potamnjenje, a uz rubove vidljiv je nastanak podzrna. Mjestimično se uočavaju perlitne lamele (*flame-perthite*) i koljeničaste deformacije. Ove karakteristike vezane su za početni do srednji stadij dinamičke rekristalizacije plagioklasa i temperature oko 450-500°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

Kalcit je razvijen u hipidiomorfnim do idiomorfnim zrnima. Nalazi se u žilama orijentiranim paralelno sa škriljavošću i kao nezavisna zrna ili manje nakupine zrna u stijeni. Vidljivi su deformacijski sraslaci tipa II karakteristični za temperature oko 200°C (maksimalno do 300°C, prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

Klorit je razvijen u hipidiomorfnim zrnima. Izraženog je pleokroizma, anomalnih ljubičastih interferencijskih boja koje odgovaraju kloritima bogatima Fe-komponentom (50-75 at.% Fe, prema EHLERS, 1987).

Opaki minerali razvijeni su u nakupinama, mjestimično definiraju folijaciju.

Epidot je razvijen u hipidiomorfnim zrnima, uglavnom uz nakupine opakih minerala.



A



B

Slika 4.14: (A) Mikrofotografija uzorka ADO1. Granolepidoblastična struktura, folijacija definirana agregatima klorita. Krupnija bezbojna zrna su plagioklasi i kalcit. Plagioklasi mjestimično kaolinitizirani, kalcit s razvijenim deformacijskim sraslacima. N- (B) N+.

4.2.13 ERB2

Stijena lepidoblastične strukture, izražene škriljave teksture. Folijacija je definirana paralelnim slaganjem zrna klorita, trakastim nakupinama opakih minerala, izduženim zrnima i nakupinama kalcita (slika 4.15). Mineralni sastav uzorka je sljedeći: leukokratski minerali (plagioklasi i kvarc, 50 vol.%, plagioklasi dominantno zastupljeni), klorit (15 vol.%), amfiboli (10 vol.%), kalcit (10 vol.%), epidot (5 vol.%), opaki minerali (5 vol.%) i biotit (5 vol.%).

Plagioklasi su razvijeni u hipidiomorfim zrnima često s vidljivim unduloznim potamnjenjem. Zrna su mjestimično uz rubove zamijenjena sitnozrnatim rekristaliziranim materijalom. Navedene karakteristike vezane su uz početni do srednji stadij dinamičke kristalizacije, što za plagioklase odgovara temperaturama oko 450-500°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

Klorit je razvijen u hipidiomorfim zrnima. Umjereno je izraženog pleokroizma. Interferencijske boje anomalne su ljubičaste koje prema EHLERS (1987) odgovaraju kloritima bogatijima Fe-komponentom (50-75 at.% Fe) uz mjestimične proslojke anomalne smeđe koje odgovaraju kloritima bogatijima Mg-komponentom (50-75 at.% Mg).

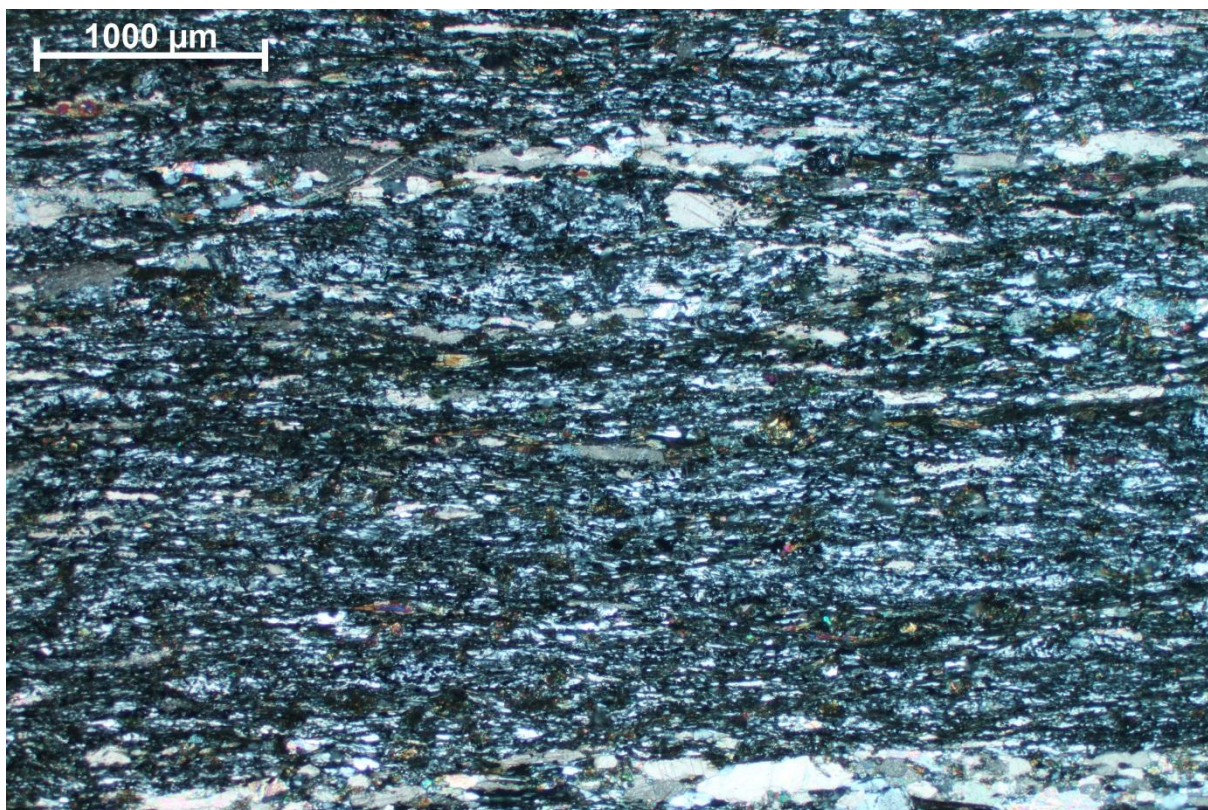
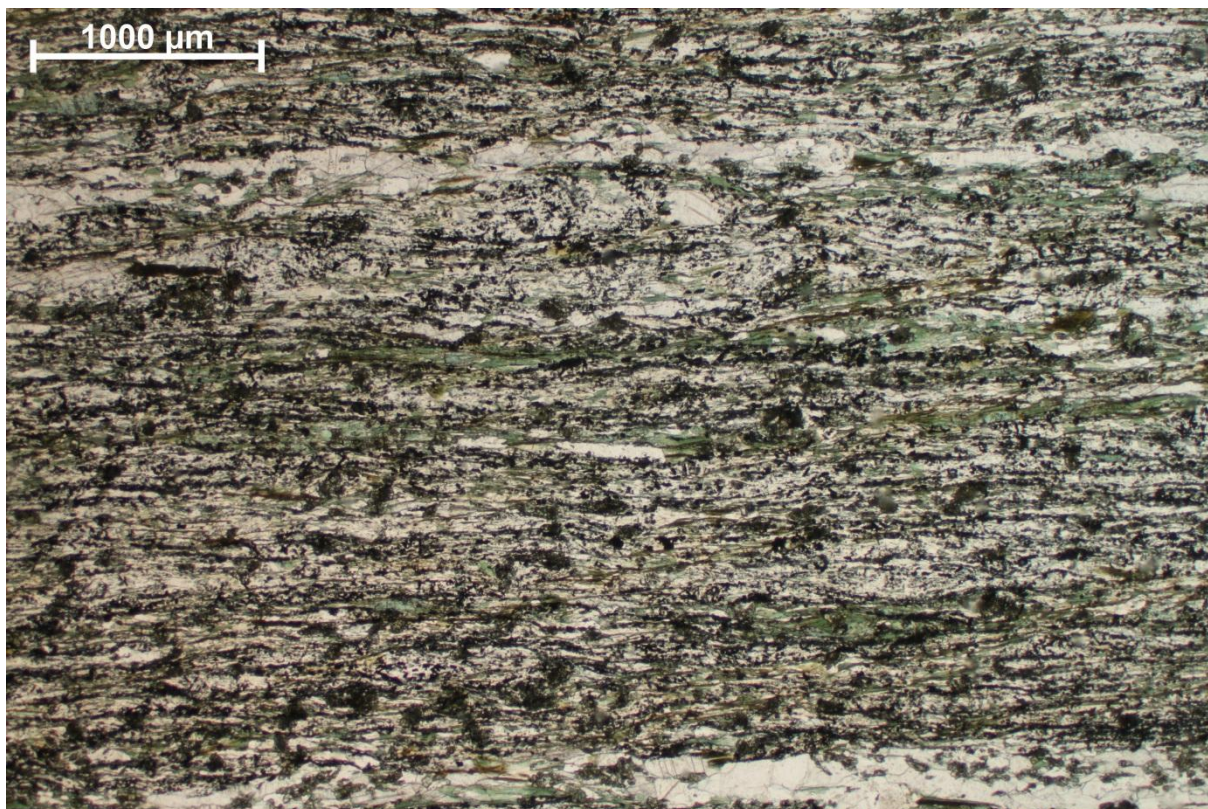
Amfiboli su igličastog habitusa, umjerenog pleokroizma (X = bezbojno, Y = svijetlozeleno, Z = plavozeleno), a maksimalni kutevi kosog potamnjenja iznose 9-15°. Navedena optička svojstva odgovaraju aktinolitu (prema TRÖGER, 1982; DEER et al., 2013).

Kalcit se javlja u žilama razvijen u hipidiomorfim i idiomorfim zrnima, ili kao hipidiomorfna zrna izdužena paralelno s folijacijom. Vidljivi su deformacijski sraslaci tipa II i III, karakteristični za raspon temperatura 200-300°C (PASSCHIER & TROUW, 2005).

Epidot je sitnozrnat (veličina zrna oko 100 µm). Blago je žute vlastite boje sa slabo izraženim pleokroizmom, što je posljedica supstitucije Fe³⁺ i Al, i odgovara epidotima siromašnjima na Fe (prema DEER et al., 2013).

Opaki minerali javljaju se u trakastim sitnozrnatim nakupinama.

Biotit je razvijen u hipidiomorfim zrnima. Izraženog je pleokoroizma (X = svijetlosmeđe; Y, Z = tamnosmeđe), i prikrivenih interferencijskih boja karakterističnih za željezom bogatije biotite (prema DEER et al., 2013).



Slika 4.15: (A) Mikrofotografija uzorka ERB2. Lepidoblastična struktura. Deblje bezbojne trakaste nakupine su žilice kalcita. N-. (B) N+.

4.2.14 ERB3

Stijena granolepidoblastične strukture, krupnozrnata. Folijacija definirana slaganjem zrna klorita i vrpčastim nakupinama opakih minerala (slika 4.16). Mineralni sastav uzorka je sljedeći: muskovit (40 vol.%), leukokraski minerali (pretežito plagioklasi 30 vol.%), klorit (15 vol.%), opaki minerali (10 vol.%) i epidot (5 vol.%).

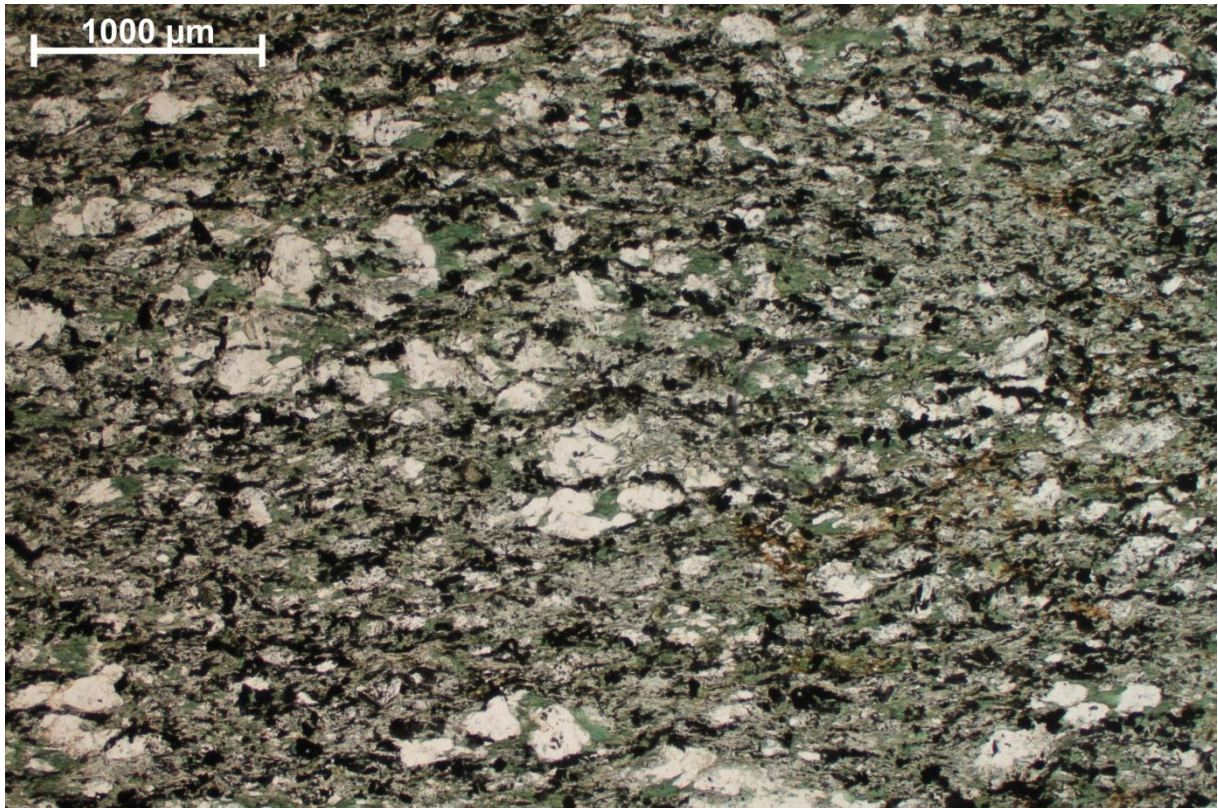
Muskovit se javlja u sitnozrnatim nakupinama kao matriks.

Klorit je razvijen u hipidiomorfnim zrnima i nakupinama. Izraženog je pleokroizma. Interferencijske boje anomalne su smeđe koje odgovaraju kloritima bogatima Mg-komponentom (50-75 at.% Mg, prema EHLERS, 1987), rijetko s proslojcima anomalne ljubičaste (karaktersitične za klorite koji sadrže 50-75 at.% Fe, prema EHLERS, 1987).

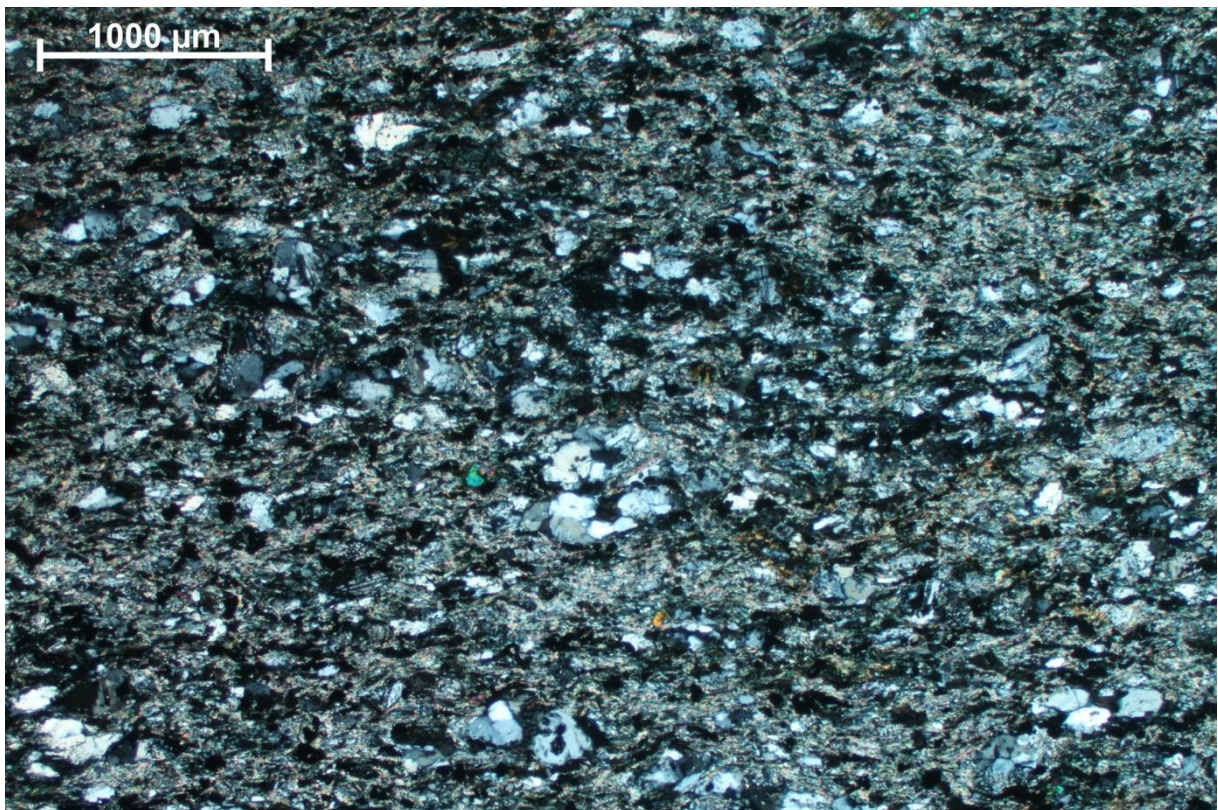
Plagioklasi su razvijeni u hipidiomorfnim do idiomorfnim zrnima. Zrna su svježa i uglavnom oštih granica, bez vidljivih produkata trošenja. Razvijeni su sraslaci dvojci i polisintetski sraslaci. Na presjecima iz zone simetrijskog potamnjenja izmjereni su kutevi potamnjenja koji iznose 12-15°, što prema RITTMANN (1929) odgovara sastavu plagioklasa s 28-31% anortitne komponente, tj. oligoklas/andezin. Zrna mjestimično pokazuju undulozno potamnjenje i/ili koljeničaste deformacije. Ove karakteristike vezane su za početni do srednji stadij dinamičke rekristalizacije plagioklasa i temperature oko 450-500°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

Opaki minerali razvijeni su u idiomorfnim zrnima i manjim agregatima.

Epidot je sitnozrant, razvijen u hipidiomorfnim do idiomorfnim zrnima. Umjerenog je pleokoizma (Y, Z = bezbojno; X = blago žuto) što je posljedica supstitucije Fe³⁺ i Al, i odgovara epidotima bogatijima na Fe (prema DEER et al., 2013).



A



B

Slika 4.16: (A) Mikrografija uzorka ERB3. Granolepidoblastična struktura, porfiroblasti plagioklasa, slabo izražen krenulacijski klivaž. N-. (B) N+.

4.2.15 T05

Stijena granolepidoblastične strukture, izražene folijacije definirne paralelnom orijentacijom muskovita i agregata klorita, vrpčama opakih minerala i izduženim džepovima leukokraskih minerala. Mineralni sastav uzorka je sljedeći: muskovit (35 vol.%), klorit (25 vol.%), epidot (15 vol.%), leukokraski minerali (kvarc i plagioklasi, 15 vol.%, približno podjednako zastupljeni) i opaki minerali (10 vol.%). Izdvajaju se domene gotovo potpuno građene od muskovita i domene bogate kloritom i epidotom (slika 4.17).

Muskovit je razvijen u agregatima, definira folijaciju stijene.

Klorit je nakupljen u agregatima, izraženog pleokroizma. Interferencijske boje sive su prvog reda. Navedena mikroskopska svojstva karakteristična su za klorite bogate željezom, tj. 75-100 at.% Fe (DEER et al., 2013; EHLERS, 1987).

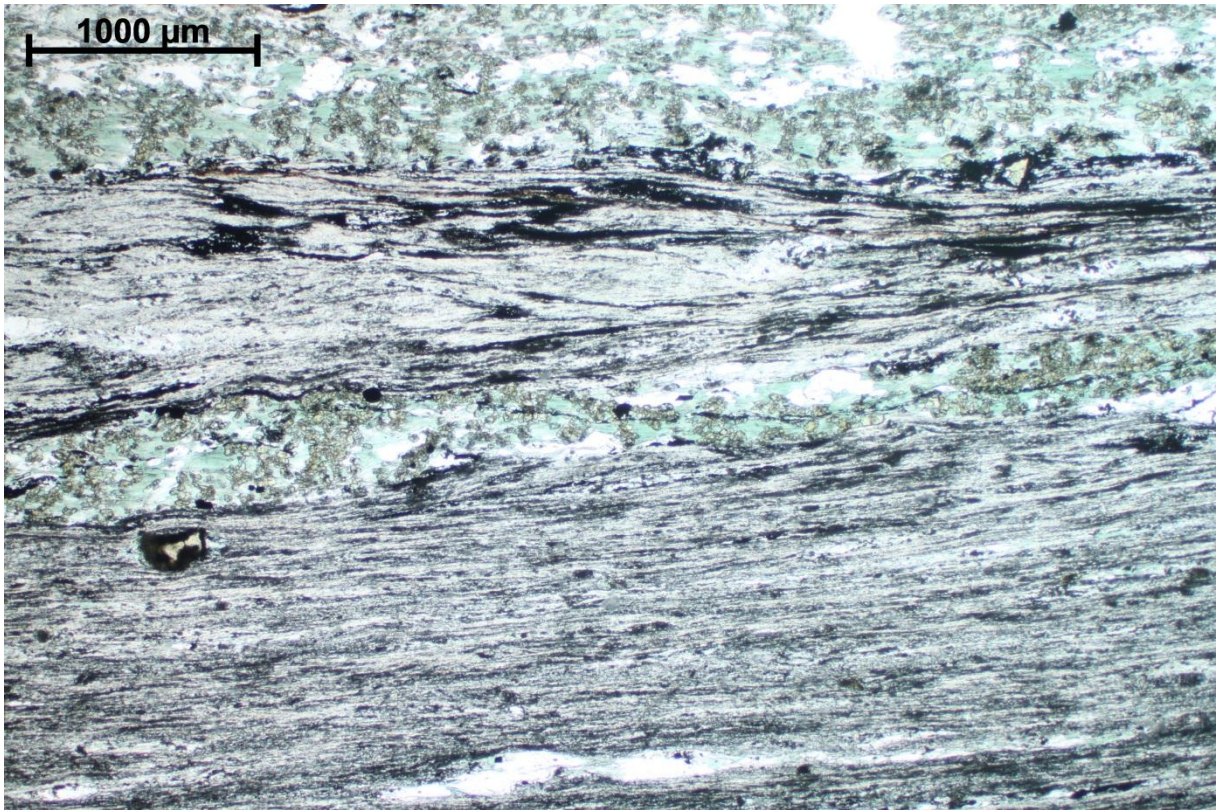
Epidot je razvijen u hipidiomorfnim zrnima, prepoznatljiv po svojim živim interferencijskim bojama. Vlastita boja blago žuta do bezbojna, bez pleokroizma, a ovakva svojstva prema DEER et al. (2013) odgovaraju epidotima siromašnijima Fe-komponentom. Zrna su, u odnosu na druge minerale u ovom uzorku, vrlo mala, dimenzija u prosjeku oko 50 μm .

Kvarc se javlja u nakupinama, kao proslojci tj. džepovi veličine do nekoliko milimetara. Zrna su alotriomorfna, često nejasno definiranih granica, izdvojena vjerojatno kao podzrna od većih zrna kvarca, karakteristična za srednji stadij dinamičke rekristalizacije, što za kvarc odgovara temperaturama oko 400-500°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

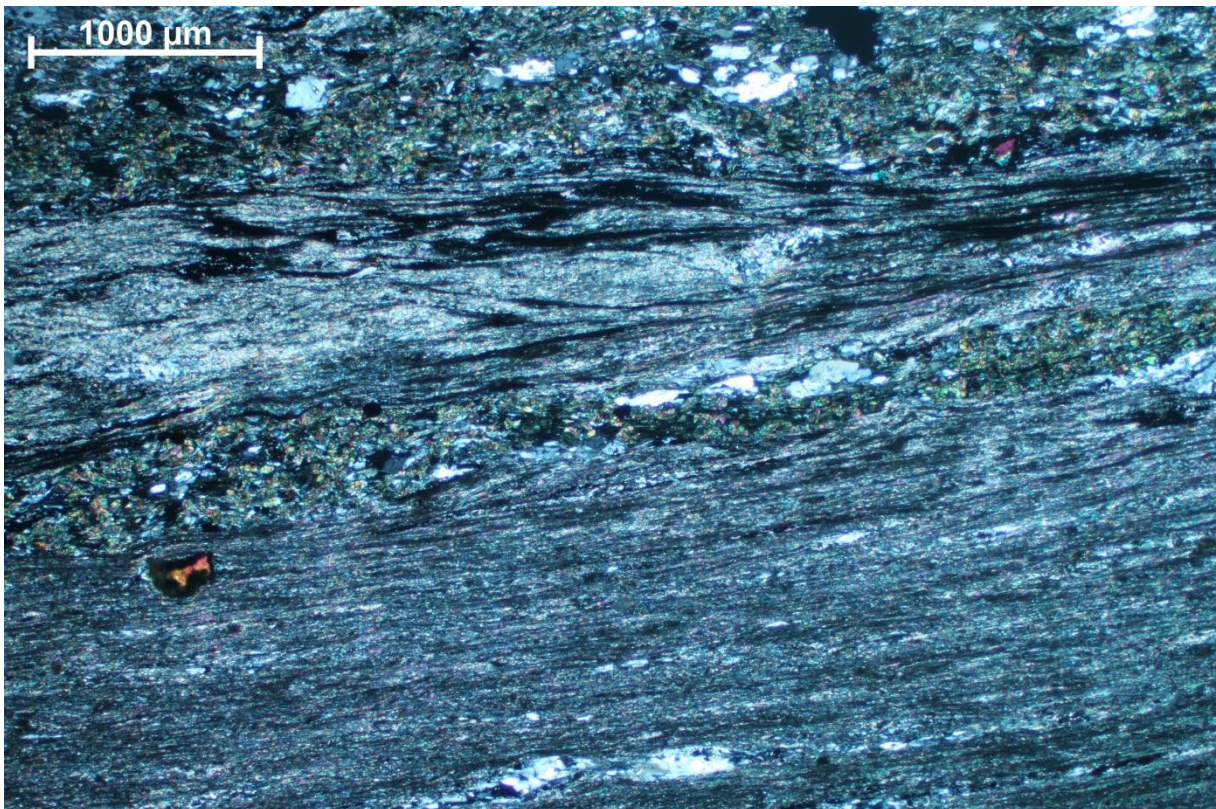
Plagioklasi se također javljaju u džepovima, zajedno s kvarcom, s razvijenim polisintetskim sraslačkim lamelama. Javljaju se i kao porfiroklasti, u promjeru do nekoliko milimetara. Unutrašnjost porfiroklasta djelomično je sericitizirana, uglavnom duž sustava kalavosti, a uz rub zrna nakupljaju se opaki minerali i zrna epidota. Alotriomorfna zrna unutar džepova su svježja, bez izmjena, uglavnom jasno definiranih granica, mjestimično uz znakove početka plastične deformacije, za plagioklase pri temperaturama oko 400-500°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005). Uz porfiroklaste su razvijene deformacijske sjene, unutar kojih kvarc također pokazuje znakove dinamičke rekristalizacije.

Opaki minerali javljaju se u nakupinama koje prate folijaciju. Mjestimično se vide idiomorfni presjeci pojedinih zrna.

Značajan je i nalaz porfiroblasta – idiomorfno zrno rompskog presjeka (slika 4.18). Boja, visoki reljef, šagren i potamnjenje odgovaraju granatu, spessartinskog sastava (DEER et al., 2013).

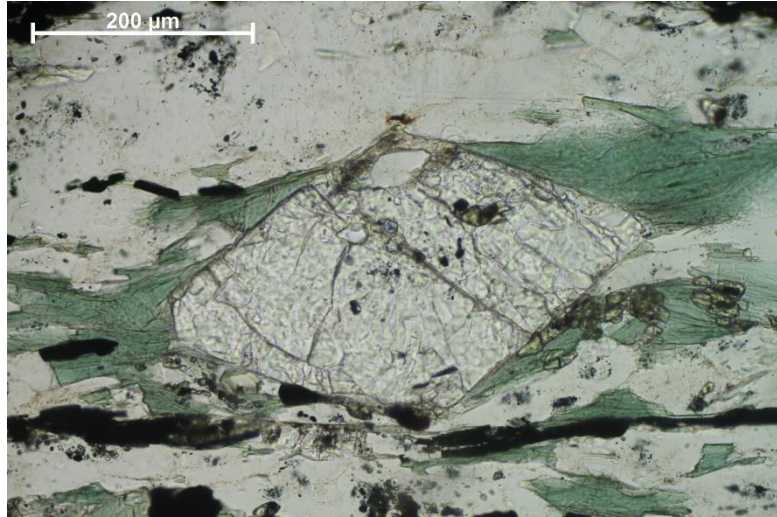


A



B

Slika 4.17: (A) Mikrofotografija uzorka TO5. Jasno definirana folijacija. Izdvajaju se muskovitne domene od kloritno-epidotskih domena. N-. (B) N+.



Slika 4.18: Porfiroblast granata. N-

4.2.16 ŽIČ6

Stijena granoblastične strukture (slika 4.19). Mineralni sastav uzorka je sljedeći: amfiboli (30 vol.%), klorit (25 vol.%), leukokratski minerali (plagioklasi i kvarc, 25 vol.%, dominantno zastupljen kvarc), epidot (15 vol.%) i opaki minerali (5 vol.%).

Amfiboli su razvijeni u krupnijim hipidiomorfim i idiomorfim zrnima (veličina zrna do 300 μm). Razlikuju se dvije vrste amfibola: žutih interferencijskih boja drugog reda s maksimalnim kutevima kosog potamnjenja 9-15°, što odgovara sastavu aktinolita (TRÖGER, 1982) i živih interferencijskih boja maksimalnim kutevima kosog potamnjenja 20-30°, što odgovara sastavu hornblende (TRÖGER, 1982).

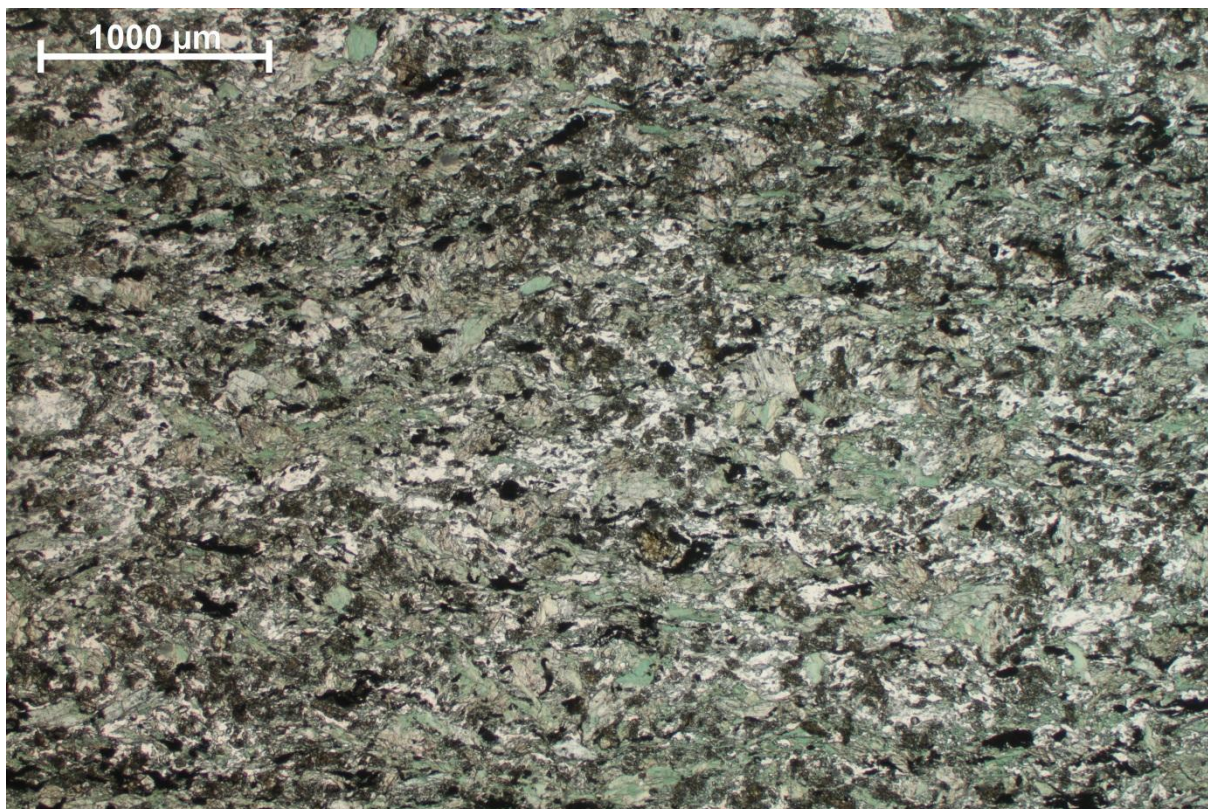
Klorit je razvijen u alotriomorfim do hipidiomorfim zrnima, umjereno izraženog pleokroizma. Interferencijske boje anomalne su smeđe koje odgovaraju kloritima bogatima Mg-komponentom (50-75 at.% Mg, prema EHLERS, 1987).

Plagioklasi su razvijeni u hipidiomorfim i alotriomorfim zrnima. Zrna su izmijenjena uglavnom duž sustava kalavosti u sitnozrnati agregat epidota i amfibola (sosiritizacija). Pokazuju undulozno potamnjenje, uz rubove zrna vidljiv nastanak manjih podzrna, a takve karakteristike vezane su za srednji stadij dinamičke rekristalizacije plagioklasa i temperature oko 450-500°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

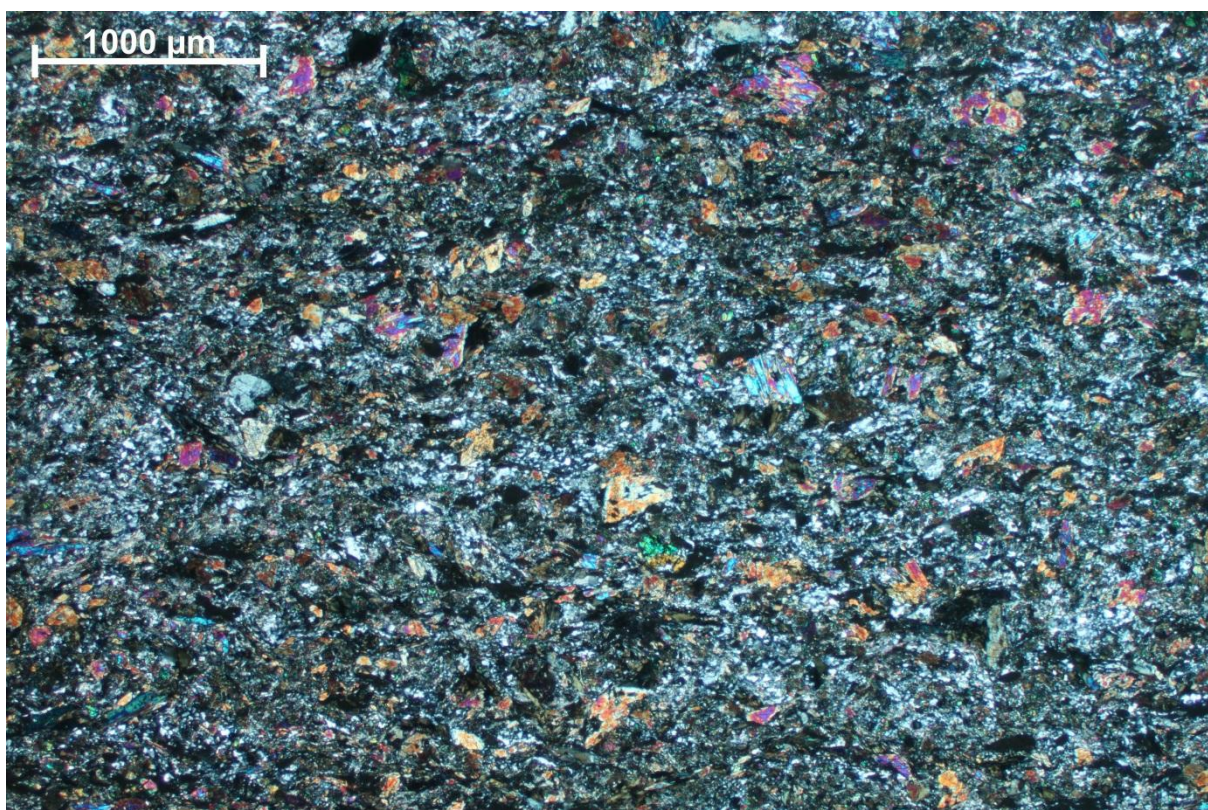
Kvarc je razvijen u hipidiomorfim zrnima, sitnozrnat (veličina zrna do 50 μm) i nalazi se u matriksu. Granice među zrnima su oštre, kutevi među njima teže prema 120°, a takve karakteristike vezane su za završni stadij dinamičke rekristalizacije kvarca i temperature oko 500°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005).

Epidot je razvijen u idiomorfim zrnima, sitnozrnat (veličina zrna u prosjeku 50 μm). Umjereno je izraženog pleokroizma (X, Z = bezbojno; Y = žućkasto) što je posljedica supstitucije Fe^{3+} i Al, i odgovara epidotima bogatijima na Fe (prema DEER et al., 2013).

Opaki minerali razvijeni su u trakastim nakupinama, mjestimično vidjivi idiomorfni presjeci.



A



B

Slika 4.19: (A) Mikrofotografija uzorka ŽIČ6. Granoblastična struktura, sitnozrnati kvarc kao matriks. Krupnija zrna su blasti amfibola, slabo izražen krenulacijski klivaž. N-. (B) N+.

4.2.17 SJ7

Stijena nematogranoblastične strukture, sitnozrnata uz krupnije porfiroblaste plagioklasa i amfibola (slika 4.20). Mineralni sastav uzorka je sljedeći: plagioklasi (35 vol.%), klorit (20 vol.%), amfiboli (15 vol.%), epidot (15 vol.%) zoisit (10 vol.%) i opaki minerali (10 vol.%).

Plagioklasi su razvijeni u hipidiomorfim zrnima. Porfiroblasti su mjestimično kaolinitizirani, pokazuju undulozno potamnjenje, a uz rub je vidljiv nastanak manjih podzrna. Ova obilježja ukazuju na srednji stadij dinamičke rekristalizacije zrna plagioklasa koji je karakterističan za temperature oko 450-500°C (prema PASSCHIER & TROUW, 2005). Na presjecima iz zone simetrijskog potamnjenja izmjereni su kutevi potamnjenja koji iznose 13-15°, što prema RITTMANN (1929) odgovara sastavu plagioklasa s 29-31% anortitne komponente, tj. oligoklas/andezin. Česti su uklopci klorita, epidota i iglice amfibola.

Klorit je razvijen u nakupinama hipidiomorfim zrna. Pleokroizam je vrlo slabo izražen, a interferencijske boje su uglavnom anomalne smeđe, iako su često vidljivi prosljoci plavih i/ili ljubičastih interferencijskih boja, pa čak i uobičajene sive prvog reda. Takva raznolikost u interferencijskim bojama ukazuje na raznolik kemijski sastav klorita, od čisto Mg do čisto Fe članova uz dominantno zastupljene klorite sa 50-75at.% Mg-komponente (prema EHLERS, 1987).

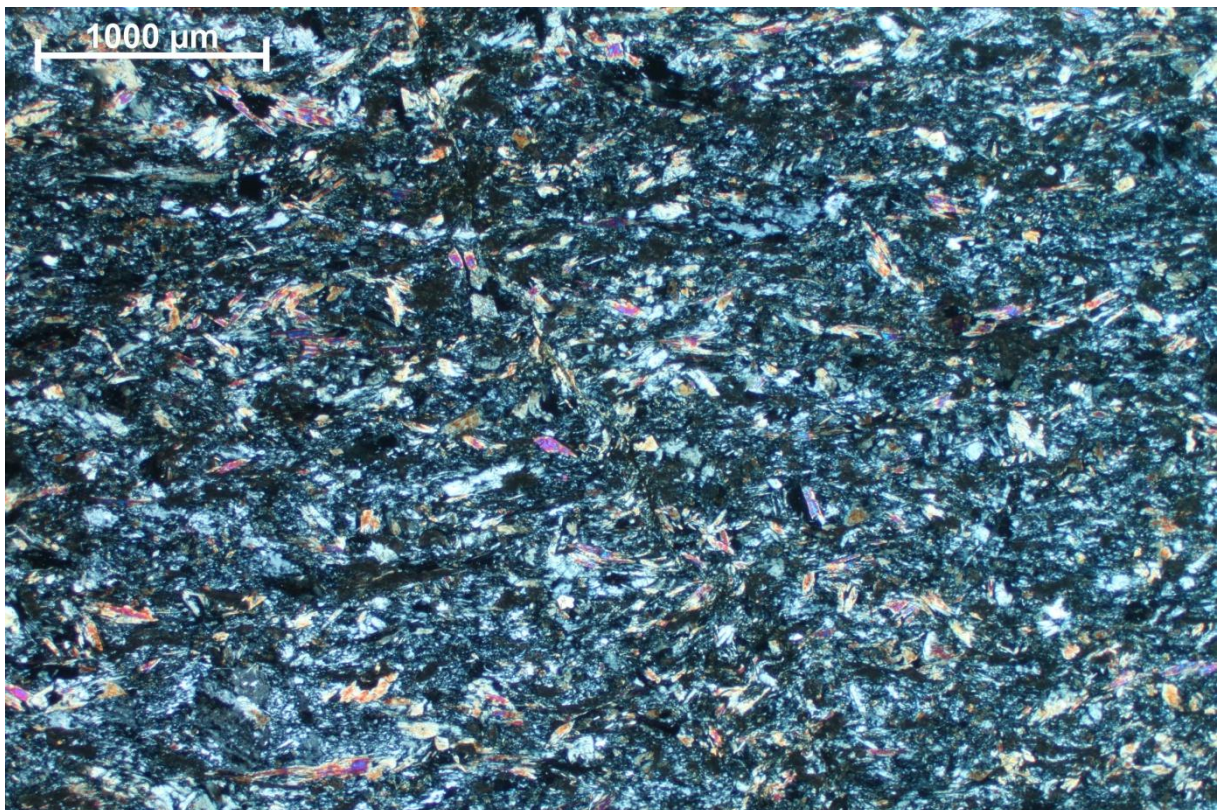
Amfiboli su razvijeni u hipidiomorfim do zrnima bez vidljivog pleokroizma. Maksimalni kutevi kosog potamnjenja iznose 12-16° što odgovara tremolitu (TRÖGER, 1982.).

Zoisit i epidot razvijeni su u hipidiomorfim do idiomorfim zrnima, sitnozrnati.

Opaki minerali javljaju se u nakupinama koje uglavnom prate folijaciju stijene.



A



B

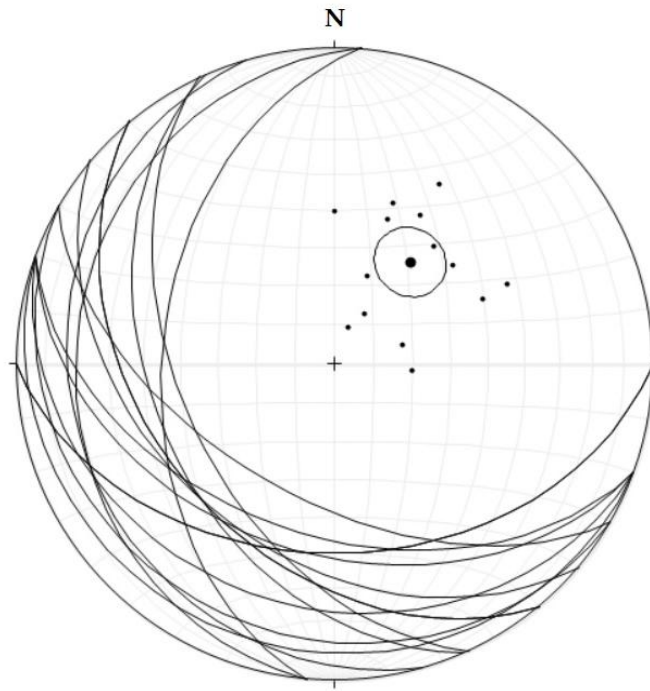
Slika 4.20: (A) Mikrofotografija uzorka SJ7. Granolepidoblastična struktura, vrlo slabo izraženi krenulacijski klivaž. N-. (B) N+.

4.3 Strukturno-geološka analiza

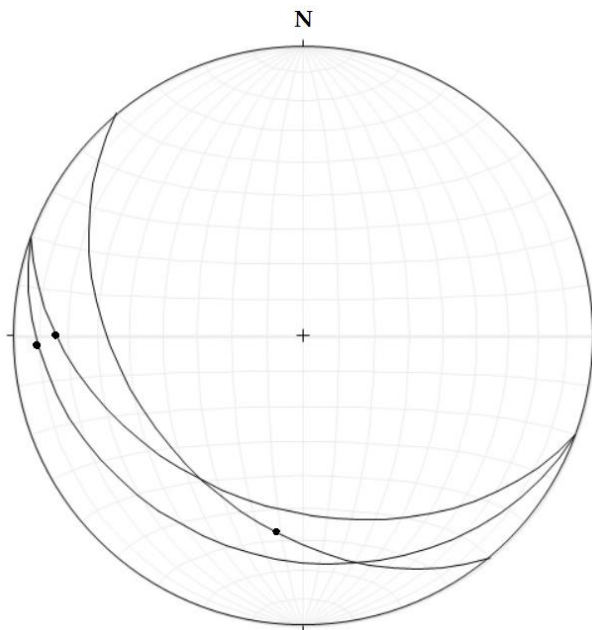
Na 16 uzoraka bilo je moguće izmjeriti folijaciju, a na 3 uzorka i lineaciju izduženja (tablica 2). Na slici 4.21 prikazan je stereogram s ucrtanim folijacijama, na kojem je vidljivo da folijacije padaju pod više ili manje blagim kutom, generalno na jugozapad (tj. u rasponu od juga do zapada), s prosječnim polom folijacije 37/57 (tj. prosječna ravnina folijacije je 217/33). Lineacije izmjerene na tri uzorka prosječnog su smjera pružanja sjeveroistok-jugozapad (slika 4.22).

Tablica 2: Uzorci s izmjerenim folijacijama i lineacijama izduženja. Oznake: (-) bez vidljive lineacije izduženja; (+) vidljiva lineacija izduženja, ali nije izmjeren njezin položaj.

	IME UZORKA	FOLIJACIJA	LINEACIJA IZDUŽENJA
1	PK1	254/18	-
2	PK4	210/15	-
3	PK13	180/40	-
4	PK20	246/42	-
5	PK26	230/40	-
6	PK27	200/10	+
7	PK28	180/40	+
8	PK32	210/55	-
9	PK37	200/45	-
10	PK38	210/45	-
11	ADO1	275/20	+
12	ERB2	230/40	188/32
13	ERB3	220/40	-
14	TO5	200/40	270/16
15	ŽIČ6	245/50	-
16	SJ7	200/24	268/9



Slika 4.21: Stereogram prikazuje 16 folijacija prikupljenih uzoraka i njihove polove (normale). Prosječni vektor pola folijacije je 37/57. (Izrađeno u programu Stereonet 9.8.3, projekcija na mrežu jednakih površina, donja hemisfera.)



Slika 4.22: Stereogram prikazuje folijacije i polove lineacija uzoraka ERB2, TO5 i SJ7. (Izrađeno u programu Stereonet 9.8.3, projekcija na mrežu jednakih površina, donja hemisfera.)

4.4 Geokemijska analiza

Rezultati cijelostijenske kemijske analize za uzorak s lokaliteta Sveti Jakob (SJ7) prikazani su u tablici 3.

Tablica 3: Rezultati cijelostijenske kemijske analize za uzorak SJ7. Glavni elementi, izraženo u tež.%.

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Σ
48,13	1,97	14,19	11,61	6,44	9,59	0,17	3,46	0,21	0,20	3,00	98,97

4.5 Geotermobarometrijska analiza polja stabilnosti mineralnih parageniza pomoću računalnog paketa Perple_X

Pseudopresjek za zeleni škriljavac Sv. Jakoba na Medvednici (uzorak SJ7) konstruiran je pomoću programskog paketa Perple_X. Pregledom mikroskopskih preparata i utvrđivanjem mineralnog sastava stijene odabran je sustav komponenti MnO – Na₂O – CaO – K₂O – FeO – MgO – Al₂O₃ – SiO₂ – H₂O – TiO₂ – O₂ (MnNCKFMASHTO) s rasponom tlakova 1-10 kbara i temperatura 350-550°C. Pritom je originalni sastav stijene trebao biti prilagođen za ovaj 11-komponentni sustav (tablica 4).

Prilagodba sastava provodi se u 4 koraka: (1) smanjenje CaO komponente sukladno iznosu P₂O₅ komponente, uz pretpostavku da se P veže isključivo uz Ca formirajući mineral apatit (idealnog sastava); (2) povećanja udjela vode na 6 tež.% kako bi se omogućilo formiranje slobodne fluidne (vodene) faze na relativno niskim tlakovima i temperaturama, budući da takva faza nastaje pri progradnoj evoluciji reakcijama između minerala koji sadrže vodu te tako kasnije formiraju bezvodne granate; (3) preračunavanje FeO uz pretpostavku da je za vrijeme metamorfizma 10% ukupnog željeza trovalentno; (4) preračunavanje sastava stijene na 100%.

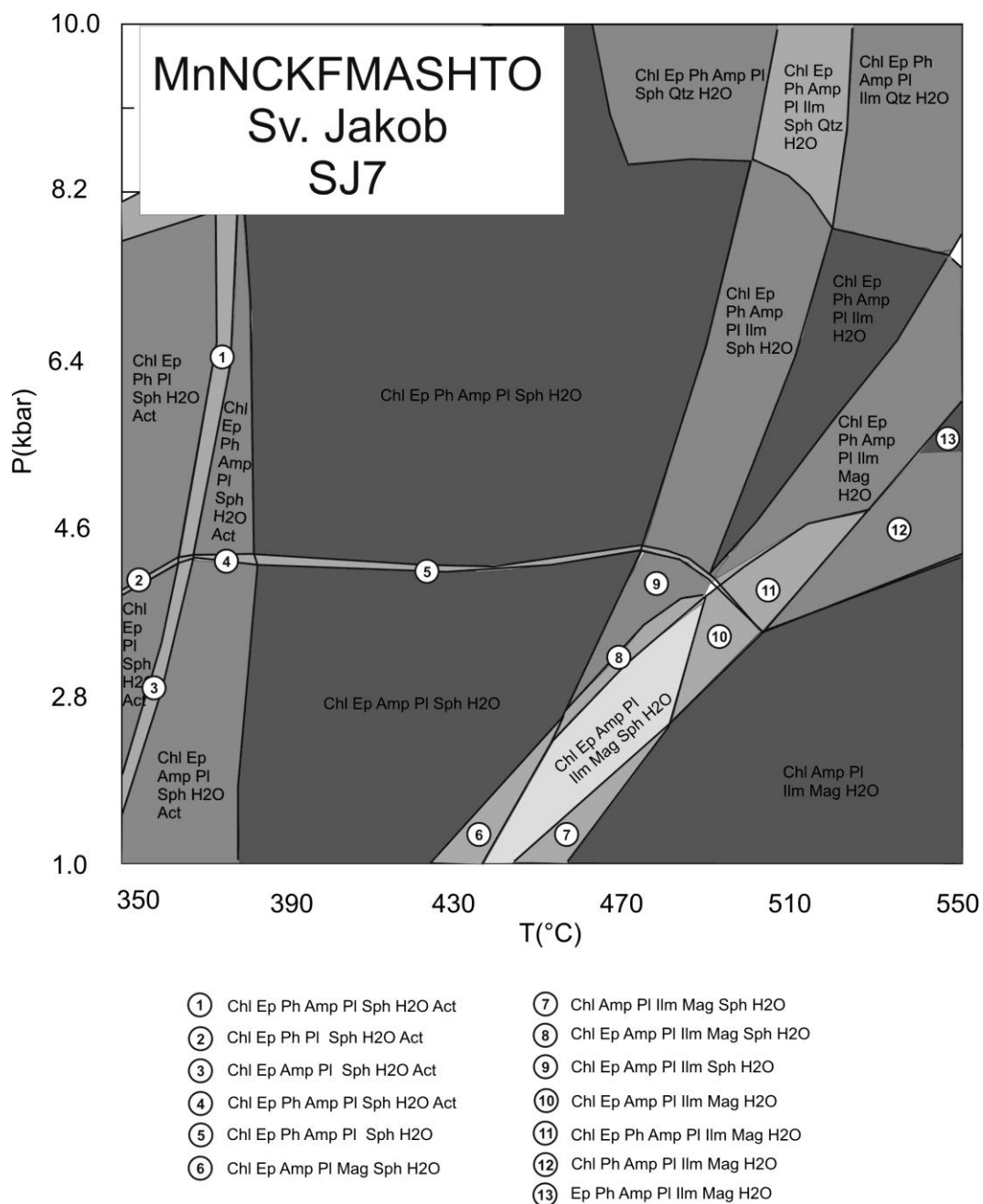
Tablica 4: Rezultati cijelostijenske kemijske analize za uzorak SJ7 korigirani za potrebe Perple_X izračuna. Izraženo u tež.%.

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	O ₂	H ₂ O	Σ
47,513	1,945	14,717	10,315	6,357	9,206	0,168	3,415	0,209	0,115	6,000	100,000

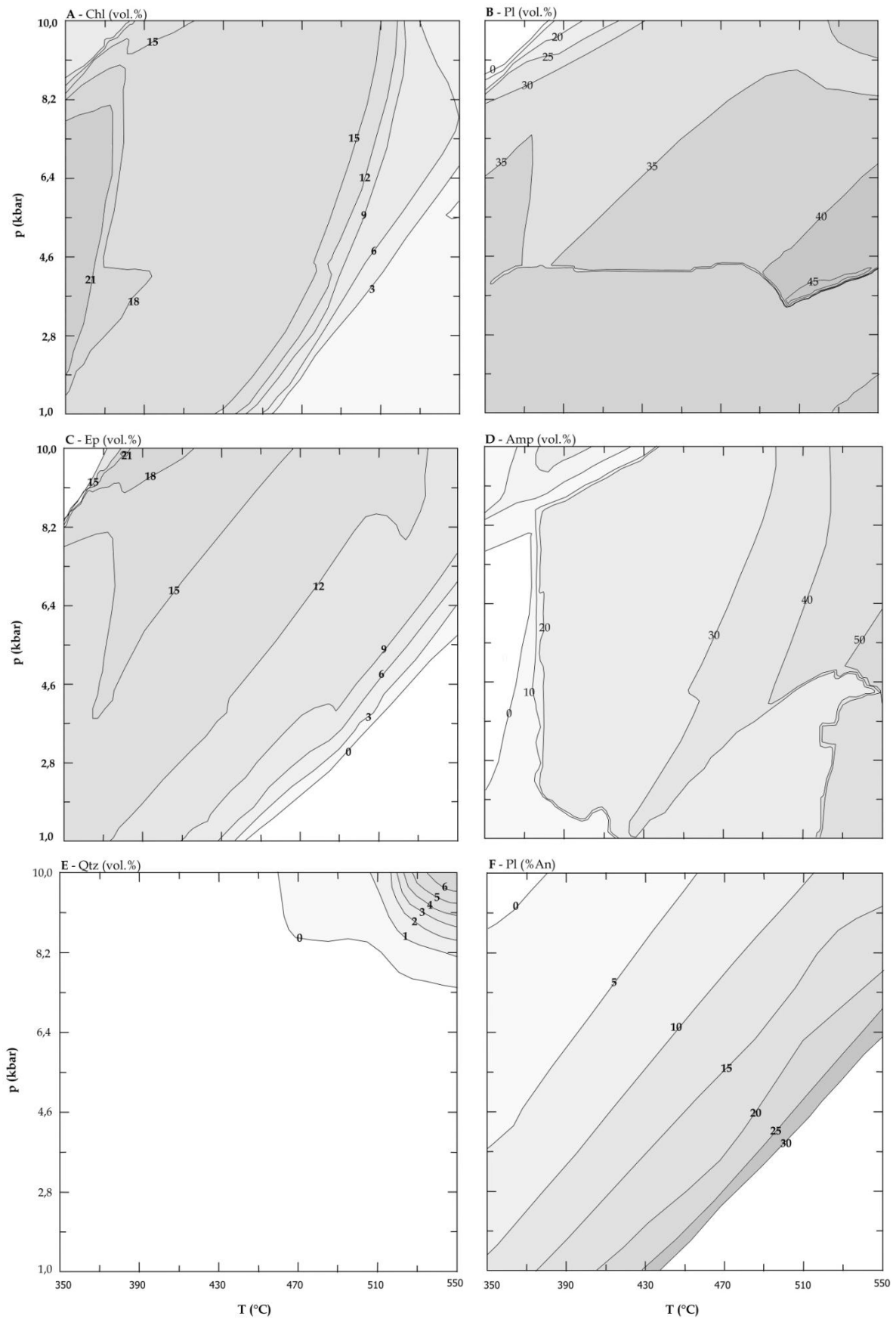
Pseudopresjek te dijagrami izomoda i izopleta dobiveni kao rezultat računalnog modeliranja naknadno su uređeni zaglađivanjem krivulja, kako je demonstrirano u CONNOLLY (2005).

Faze koje se pojavljuju u pseudopresjeku (slika 4.23) su sljedeće: klorit, epidot, fengit, titanit, plagioklas, magnetit, ilmenit, kvarc te dva amfibola (hornblenda i aktinolit).

Za mikroskopski uočene mineralne faze (plagioklasi, klorit, amfiboli i epidot) u Perple_X-u su napravljeni i dijagrami krivulja odgovarajućeg volumnog udjela pojedinih minerala (izomoda, eng. *isomodes*) te dijagram krivulja odgovarajućeg kemijskog sastava pojedinih minerala (izopleta, eng. *isopleths*) za plagioklase (slika 4.24).

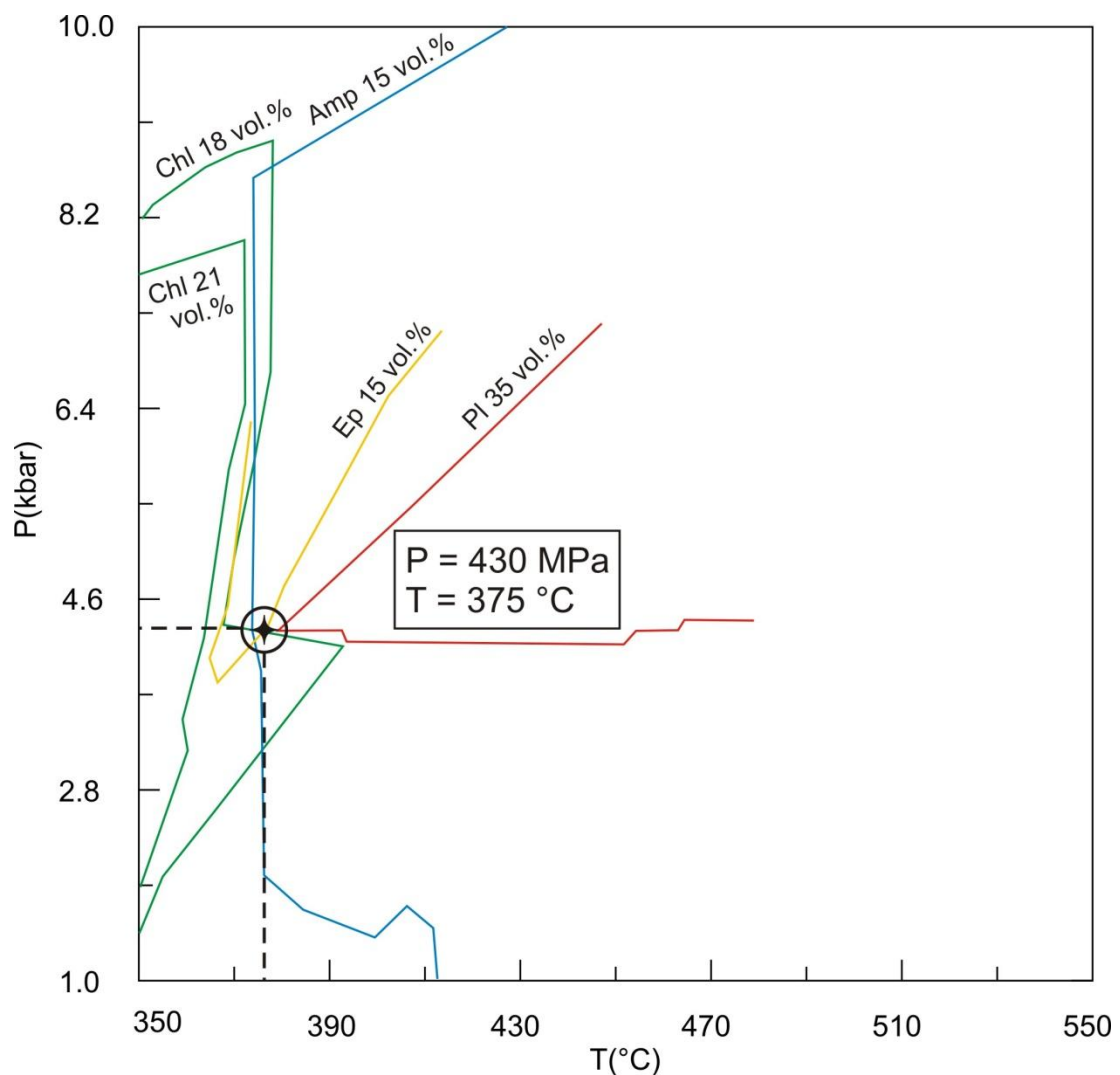


Slika 4.23: Pseudopresjek za uzorak SJ7. Nijanse sive boje označavaju varijancu sustava s određenim odstupanjima u poljima koje sadrže minerale s ograničenim mješanjem za P-T uvjete facijesa zelenih škriljavaca poput amfibola (aktinolit i hornblenda) i feldspata (albit i plagioklas). Tamnija boja označava veću varijancu. Mala P-T polja ispuštena su iz faznog dijagrama. Kratice mineralnih faza: Act – aktinolit; Amp – hornblenda; Chl – klorit; Ep – epidot; Ilm – ilmenit; Mag – magnetit; Ph – fengit; Pl – plagioklas; Qtz – kvarc; Sph – titanit.



Slika 4.24: Dijagrami izomoda za uzorak SJ7 konstruirani u Perple_X-u prikazuju: **(A)** udio klorita u uzorku (vol.%); **(B)** udio plagioklasa u uzorku (vol.%); **(C)** udio epidota u uzorku (vol.%); **(D)** udio amfibola u uzorku (vol.%); **(E)** udio kvarca u uzorku (vol.%). **(F)** Dijagram izopleta prikazuje sastav plagioklasa kroz udio anoritne komponente.

Preklapanjem dijagrama s opaženim vrijednostima volumnih omjera pojedinih mineralnih faza (plagioklasa, klorita, epidota i amfibola) u uzorku SJ7 prikazanih na slici 4.24 (A-D) dobivene su približne vrijednosti za metamorfni događaj kojemu odgovaraju temperatura od 375°C i tlak od 430 MPa (slika 4.25). Istom tlaku i temperaturi odgovara kemijska ravnoteža mineralnih faza klorita, epidota, fengita, hornblende, aktinolita, plagioklasa i titanita. Kvarc se u ovim uvjetima uopće ne pojavljuje – u ovom je sustavu i za ovaj sastav stijene stabilan tek pri višim tlakovima i temperaturama (slika 4.25 (E)). Očekivani sastav plagioklasa za ove P-T uvjete odgovara plagioklasu sa oko 7 % anortitne komponente (slika 4.25 (F)).



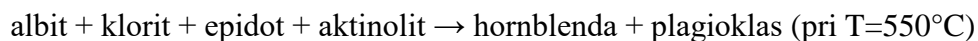
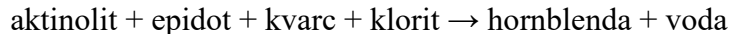
Slika 4.25: Okvirne vrijednosti za pritisak (P) i temperaturu (T) metamorfnog događaja dobiveni pomoću presječna izomoda u mineralnoj paragenezi zelenog škriljavca s lokaliteta Sveti Jakob (klorit, amfibol, plagioklas i epidot). Dobiveni rezultati podudaraju se s očekivanim vrijednostima prema literarnim podacima za opaženu mineralnu paragenezu (SPEAR, 1993).

5 DISKUSIJA

Stijene facijesa zelenih škriljavaca nastaju iz mafitnih stijena regionalnim metamorfizmom niskog stupnja u uvjetima tlakova 2-10 kilobara i temperaturama 350-550°C. Uobičajeni mineralni sastav zelenih škriljavaca čine klorit, aktinolit, epidot i albit, uz pojavu kvarca i titanita te eventualno biotita, kalcita i stilpnomelana.

Klorit je uobičajeni mineral za niski stupanj regionalnog metamorfizma, kao hidrotermalni alteracijski produkt feromagnezijskih minerala magmatskog podrijetla (primjerice piroksena, olivina, granata). S porastom stupnja smanjuje se njegova količina te se uz njega javlja epidot i/ili aktinolit (DEER et al., 2013).

Aktinolit i tremolit karakteristični su minerali niskog stupnja regionalnog metamorfizma bazičnih stijena, gdje se tremolit veže uz kontaktni metamorfizam, a aktinolit uz retrogradni metamorfizam bazičnih stijena. Asocijacija aktinolita i hornblende nalazi se u niskom i srednjem stupnju regionalnog metamorfizma, pritom hornblenda nastaje progresivnom metamorfozom pri višim uvjetima. Primjeri reakcija prema DEER et al. (2013) (gdje druga reakcija opisuje prijelaz iz facijesa zelenih škriljavaca u amfibolitni facijes):



Epidot se javlja u širokom rasponu metamorfnih parageneza, ali posebno je karakterističan za stijene facijesa zelenih škriljavaca i epidot-amfibolitnog facijesa. Nastaje retrogradnom metamorfozom iz kalcijsko-aluminijskih minerala, primjerice bazičnih plagioklasa (često zajedno sa zoisitom, klinozoisitom, kloritom i albitom, tzv. *sosirit*) ili amfibola.

Pojava granata vezana je uz gornji dio facijesa zelenih škriljavaca. Takvi granati koji se javljaju u nižem stupnju regionalnog metamorfizma sadrže više spessartinske komponente (DEER et al., 2013).

Na temelju mikroskopske analize svi uzorci stijena pripadaju facijesu zelenih škriljavaca uz manja ili veća odstupanja u sastavu (tablica 5). Primjerice, uzorak PK30 i PK27 amfibolski su škriljavci s gotovo 50 vol.% (PK30) i 40 vol.% aktinolita (PK27), ŽIČ6 albit-klorit-amfibolski škriljavac s 30 vol.% amfibola, dok su uzorci ADO1, PK17, PK28, PK38 i PK40 bez amfibola (ili se javlja akcesorno) uz dominantno zastupljene plagioklase i/ili klorit:

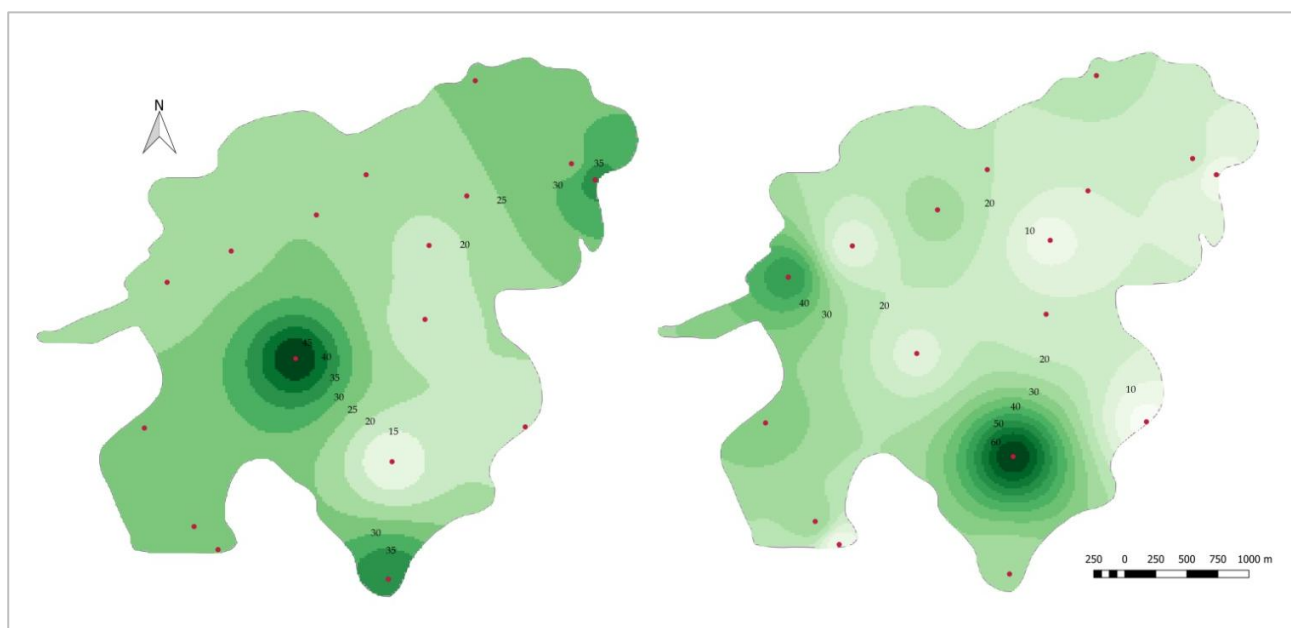
albitno-kloritni škriljavci (PK38 i PK40), albitno-epidotsko-kloritni škriljavac (PK28) i kloritno-albitni škriljavci (ADO1 i PK17). Ostali uzorci (PK2, PK8, PK9, PK12, PK19, ERB2 i SJ7) sadrže amfibole u manjoj mjeri (5-20 vol.%), uz dominantno zastupljene plagioklase i/ili klorit: kloritno-albitni škriljavci (PK2, PK12, PK19, ERB2, SJ7) i kloritno-kvarcno-albitni škriljavci (PK8 i PK9). Iznimku u sastavu pokazuju uzorci ERB3 i TO5 koji sadrže značajnu količinu svijetlog tinjca (35-40 vol.%): klorit-albit-muskovitni (ERB3) i albit-klorit-muskovitni škriljavac (TO5).

Tablica 5: Volumni udjeli pojedinih mineralnih faza u pojedinim uzorcima i temperatura nastanka stijene približno određena na temelju mikroskopskih svojstava plagioklasi i kvarca kao posljedica dinamičke rekristalizacije. Kratice: Trem – tremolit; Hbl – hornblend; Act – aktinolit; Qtz – kvarc, Pl – plagioklasi, Ms – muskovit, Bt – biotit. Uz klorite je navedeno jesu li dominantno Mg ili Fe sastava.

uzorak	klorit (vol.%)	amfibol (vol.%)	epidot (vol.%)	zoisit (vol.%)	plagioklasi + kvarc (vol.%)	opaki minerali (vol.%)	tinjci (vol.%)	granati (vol.%)	kalcit (vol.%)	T(°C)
PK2	25 Mg	15 Trem	5	5	40-45 (bez Qtz)	5-7	-	-	-	450-600
PK8	25 Fe	10 Hbl	10	-	50 (Pl ≈ Qtz)	5	-	-	-	500-600
PK9	20-25 Fe	5 Act, Hbl	5	-	55-60 (Pl ≈ Qtz)	10	-	-	-	450-500
PK12	25 Mg	20 Act	10	~1	40 (bez Qtz)	5	-	-	-	400-450
PK17	35-40 Fe	<1	5	-	40-45 (Pl ≈ Qtz)	15	-	-	-	450-500
PK19	25-30 Fe	10-15 Hbl	5	-	50 (bez Qtz)	5	-	-	-	450-500
PK27	20 Mg	35-40 Act	10	-	20-25 (~1% Qtz)	10	-	-	-	500-600
PK28	40 Mg+Fe	-	25	-	25 (~1% Qtz)	5	-	-	5	500-600
PK30	10 Mg	45-50 Act	10	10	10-15 (Pl >> Qtz)	10-15	-	-	-	500-600
PK38	50 Mg	~2 Act	10	-	30 (Pl >> Qtz)	7-10	-	~1	-	450-500
PK40	30 Mg	-	5	-	30 (Pl >> Qtz)	15	-	-	20	400-450
ADO1	15 Fe	-	3	-	55 (bez Qtz)	7	-	-	20	450-500

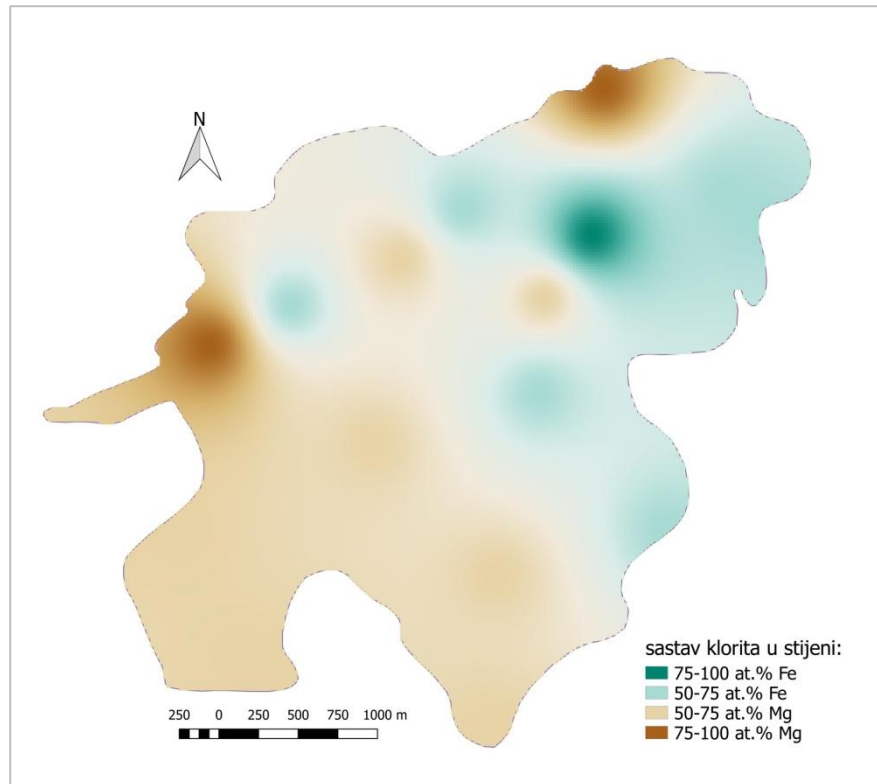
ERB2	15 Fe	10 Act	5	-	50 (Pl >> Qtz)	5	5 Bt	-	10	450-500
ERB3	15 Mg	-	5	-	30 (Pl >> Qtz)	10	40 Ms	-	-	450-500
TO5	25 Fe	-	15	-	15 (Pl ≈ Qtz)	10	35 Ms	~1	-	400-500
ŽIĆ 6	25 Mg	30 Act, Hbl	15	-	25 (Pl << Qtz)	5	-	-	-	450-500
SJ7	20 Mg	15 Trem	15	10	35 (bez Qtz)	5	-	-	-	450-500

Pojava amfibola i klorita te njihova zastupljenost u stijeni ovisi o porastu stupnja metamorfizma unutar facijesa zelenih škriljavaca (DEER et al., 2013), a sukladno tome uočava se i trend smanjenja udjela klorita u stijeni s porastom udjela amfibola i epidota (zoisita), prikazano na slici 5.1.



Slika 5.1: Interpolacijske karte područja zelenih škriljavaca prikazuju volumni udio (vol.%) klorita (**lijevo**) i amfibola+epidota+zoisita u uzorcima (**desno**). Crvene točkice označavaju mjesta uzorkovanja 17 odabranih uzoraka. (Izrađeno u programu QGIS 2.18.5 metodom Inverse distance to a power.)

Uočava se i prostorni raspored klorita ovisno o njihovom sastavu (Mg ili Fe bogati). Generalno su kloriti jugozapadnog dijela bogatiji Mg-komponentom, dok su kloriti sjeveroistočnog dijela bogatiji Fe-komponentom (slika 5.2).

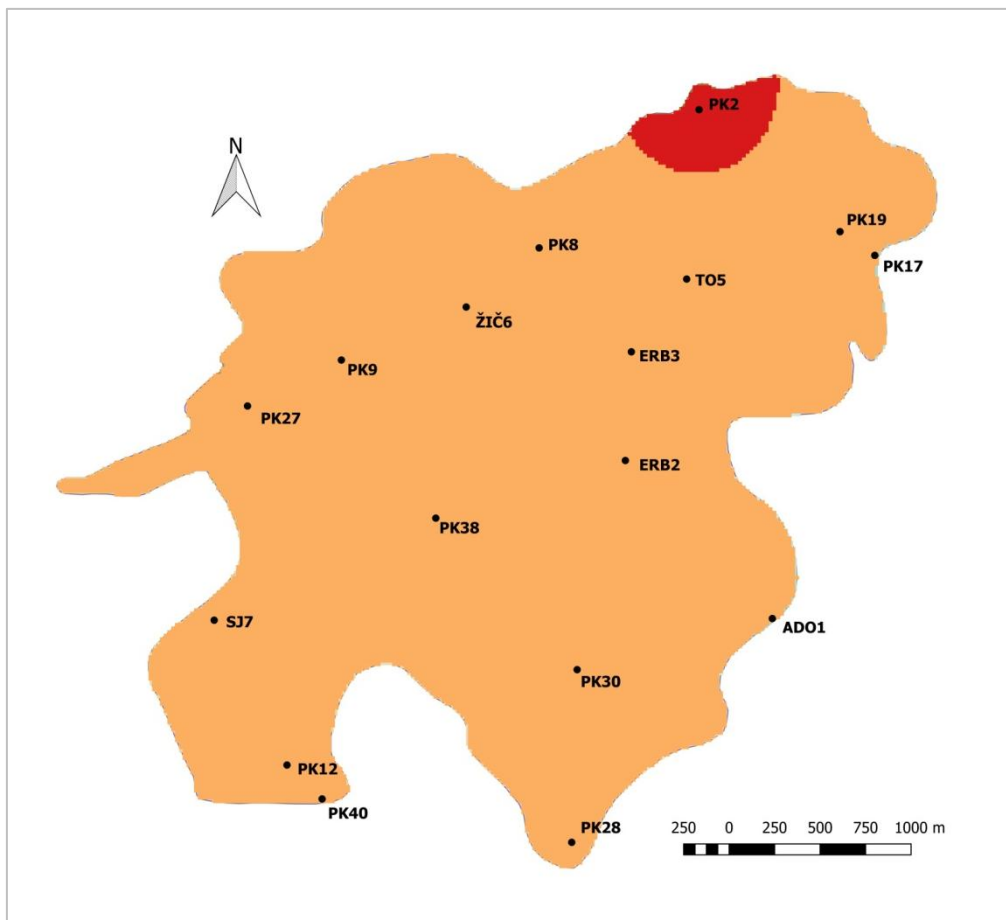


Slika 5.2: Interpolacijska karta područja zelenih škriljavaca za sastav klorita u uzorcima. (Izrađeno u programu QGIS 2.18.5 metodom Inverse distance to a power.)

Sastav klorita često se može koristiti kao geotermometar, a u zajednici s drugim mineralima poput granata, biotita i kloritoida i kao geobarometar (DEER et al., 2013). Mg-bogati kloriti generalno se povezuju uz veće temperature nego Fe-bogati (DEER et al., 2013) iako se pokazalo da omjer $Fe/(Fe+Mg)$ u kloritu ne ovisi isključivo o temperaturi. Bitni su parametri još i fugacitet kisika te pH fluida (CARITAT et al., 1993). Eksperimentalni podaci pokazuju da su $Fe/(Fe+Mg)$ omjeri u kloritima ovisni o fugacitetu kisika, ali neovisni o sastavu stijene (*bulk rock composition*) – sastav stijene će samo determinirati mineralnu zajednicu (DEER et al., 2013).

Na temelju udjela mineralnih faza koje ugrađuju željezo u svoju strukturu i oksidacijskog stanja tog željeza, ugrubo se mogu rekonstruirati granice između područja s različitim

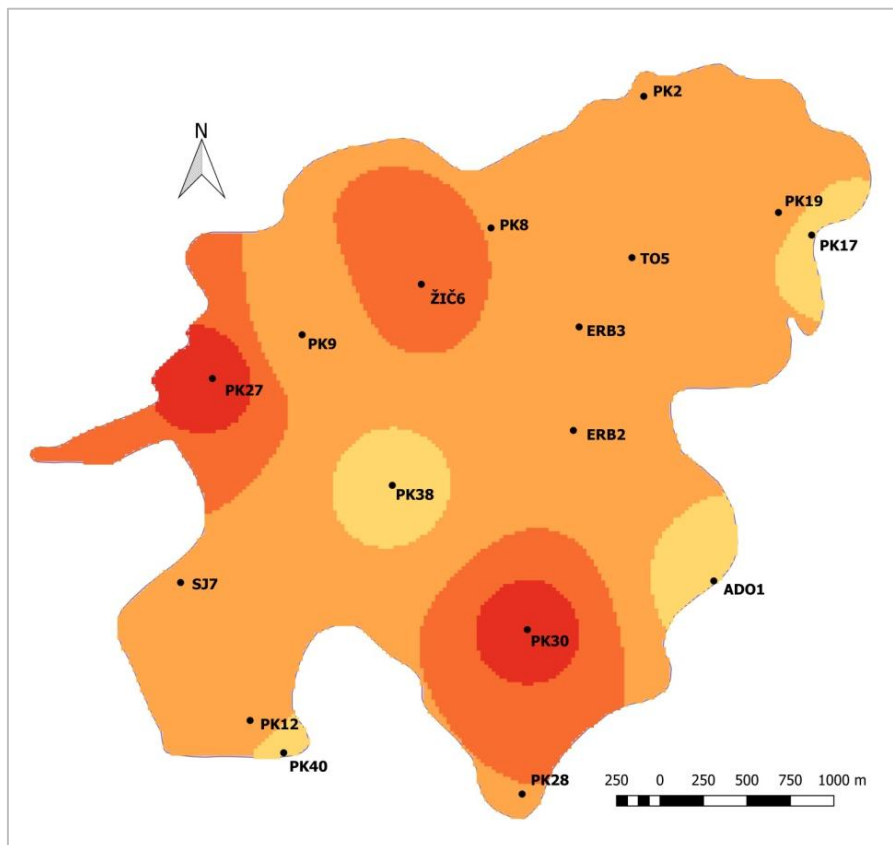
parametrima metamorfizma, među kojima uz tlak i temperaturu značajniju ulogu imaju kemijski sastav sustava i fugacitet kisika. Minerali korišteni pri interpolaciji su aktinolit (koji u strukturi sadrži dvovalentno željezo), epidot (koji sadrži trovalentno željezo) te kloriti i hornblenda (koji sadrže i dvovalentno i trovalentno željezo). Na slici 5.3 priložena je karta koja ukazuje da je tek manji dio područja na sjeveru prošao kroz metamorfizam koji je po svojim značajkama omogućio nastanak minerala s trovalentnim željezom u strukturi.



Slika 5.3: Interpolacijska karta područja zelenih škriljavaca prikazuje zastupljenost minerala koji sadrže Fe^{3+} ione u uzorcima. Crveno – značajnije zastupljen Fe^{3+} ion (epidot, hornblenda); narančasto – zastupljeni i Fe^{3+} i Fe^{2+} ioni. (Izrađeno u programu QGIS 2.18.5 metodom Inverse distance to a power.)

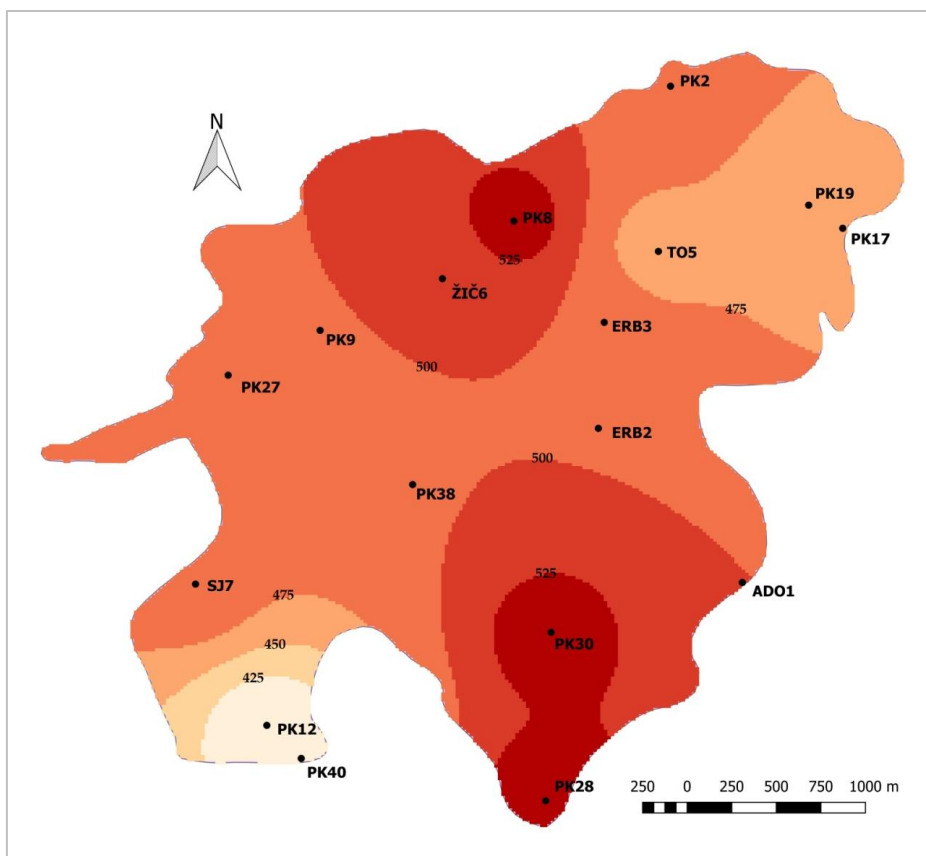
Na temelju udjela glavnih mineralnih faza (klorita, amfibola, epidota, plagioklasa) mogu se izdvojiti uzorci koji po svojim mikroskopskim obilježjima odgovaraju različitim dijelovima facijesa zelenih škriljavaca. Primjerice, uzorci PK17, PK38, PK40, ADO1, ERB3 i TO5 ne sadrže amfiboile (ili sadrže u vrlo maloj količini) što bi odgovaralo donjem dijelu facijesa.

Uzorak PK28 također ne sadrži amfibole, ali zato sadrži značajniju količinu epidota što ga ipak svrstava u više uvjete. Osim toga, uzorci ERB3 i TO5 sadrže značajniju količinu (35-40 vol.%) svijetlog tinjca. Uzorci PK27, PK30 i ŽIČ6 sadrže amfibole u značajnijoj mjeri (aktinolit i/ili hornblendu) što odgovara gornjem dijelu facijesa zelenih škriljavaca. Ostali uzorci (PK2, PK8, PK9, PK12, PK19, ERB2 i SJ7) pokazuju međuvrijednosti, odnosno prijelaz između donjeg i gornjeg dijela facijesa. Pritom treba izdvojiti uzorke PK38 i TO5 koji prema zastupljenosti minerala klorita i amfibola odgovaraju donjem dijelu facijesa zelenih škriljavaca, uz pojavu granata uobičajeno vezanih za gornji dio facijesa. Na slici 5.4. prikazane su prostorne razlike i relativan porast u stupnju metamorfizma temeljene na volumnim udjelima mineralnih faza.



Slika 5.4: Interpolacijska karta područja zelenih škriljavaca prikazuje relativni porast uvjeta metamorfizma za metamorfni i deformacijski događaj D2. Svijetlije nijanse označavaju relativno niže P-T uvjete, tamnije relativno više P-T uvjete, a kao srednja referentna vrijednost uzete su vrijednosti uzorka SJ7 dobivene geotermobarometrijskim modeliranjem ($T = 375^{\circ}\text{C}$, $P = 430 \text{ MPa}$). Relativna procjena uvjeta za svaki uzorak dobivena je na temelju relativnih volumnih omjera glavnih minerala zelenih škriljavaca (klorita, amfibola, epidota i plagioklasa). (Izrađeno u programu QGIS 2.18.5 metodom Inverse distance to a power.)

Prema rezultatima geotermobarometrijskog modeliranja u Perple_X programu za cijelostijenski kemijski sastav uzorka SJ7, dobivene vrijednosti paleotlakova i paleotemperatura iznose 430 MPa i 375°C. (slika 4.25). Prema istim modelima očekivani sastav plagioklasa u uzorku SJ7 trebao bi iznositi oko 7% anortitne komponente (tj. sastav albita). Međutim, sastav plagioklasa dobiven metodom mjerenja kuteva iz zone simetrijskog potamnjenja prema RITTMANN (1929) odgovara rasponu 29-31% anortitne komponente što prema dijagramu izopleta za plagioklas odgovara temperaturama 440-550°C (ovisno o iznosu tlaka u rasponu od 100 do 640 MPa; slika 4.24 (F)). Također i temperature dobivene promatranjem mikrotektonskih karakteristika na zrnima plagioklasa i kvarca vezane uz stadije dinamičke rekristalizacije poprimaju više vrijednosti od onih dobivenih geotermobarometrijskim modeliranjem (vrijednosti u rasponu 450-500°C). Stoga se daje naslutiti kako vrijednosti paleotlakova i paleotemperatura dobivene geotermobarometrijskim modeliranjima u Perple_X-u odgovaraju retrogradnom metamorfizmu i deformacijskoj fazi D2, dok sastav plagioklasa i temperature dobivene promatranjem optičkih karakteristika kao posljedica dinamičke rekristalizacije zrna plagioklasa ocrta progresivni metamorfizam i deformacijski događaj D1. P-T uvjeti za stariju fazu D1 prema tome bi odgovarali vršnim dijelovima facijesa zelenih škriljavaca. Na slici 5.5 prostorno su prikazane promjene u uvjetima metamorfizma (temperaturi) vezane uz metamorfni i deformacijski događaj D1.



Slika 5.5: Interpolacijska karta područja zelenih škriljavaca prikazuje porast uvjeta metamorfizma za metamorfni i deformacijski događaj D1 (temperature izražene u °C). Procjena temperature za svaki uzorak dobivena je na temelju mikroskopskih (mikrotektonskih) karakteristika zrna plagioklasa i kvarca. (Izrađeno u programu QGIS 2.18.5 metodom Inverse distance to a power.)

Značajan je nalaz granata u dva uzorka (PK38 i TO5), jer je u dosadašnjoj literaturi bio tek spomenut unutar filita Medevdnice (prvi nalaz KIŠPATIĆ, 1918), a zbog svojih bi svojstava (rastom u metamorfnim uvjetima bilježe sve eventualne promjene P-T uvjeta) bili izuzetno korisni pri budućim kemijskim analizama uzoraka i geotermobarimetrijskim modeliranjima.

Izmjerene folijacije dominantno padaju na jugozapad pod blagim kutom što se poklapa s literaturnim podacima i odgovara D1 deformacijskoj fazi. Orijehtacija lineacije izduženja prosječnog je smjera pružanja sjeveroistok-jugozapad, također se poklapa s podacima iz literature i odgovara D2 deformacijskoj fazi (prema TOMLJENović, 2002; VAN GELDER et al., 2015).

6 ZAKLJUČAK

Zeleni škriljavci stijene su koje nastaju u nižem stupnju regionalnog metamorfizma, pri tlakovima 3-10 kbar i temperaturama 350-550°C. Takvi uvjeti tlaka i temperatura odgovaraju uvjetima koji se najčešće vezuju uz subdukcijske zone. Protolit je uglavnom mafitna magmatska stijena. Zelena boja potječe od prisutnih minerala klorita, amfibola (aktinolita) i epidota.

Mikroskopskom analizom 17 odbranih uzoraka, prikupljenih na središnjem dijelu Medvednice, utvrđen je mineralni sastav i struktura uzoraka. Na odabranom referentnom uzorku s lokaliteta Sveti Jakob (uzorak SJ7) napravljena je cijelostijenska kemijska analiza kako bi se mogla provesti geotermobarometrijska modeliranja u računalnom programskom paketu Perple_X. Konstruiran je fazni dijagram (pseudopresjek) za uzorak SJ7 te dijagrami izomoda i izopleta za mineralne faze utvrđene mikroskopskim analizama. Rezultati modeliranja dali su okvirne P-T uvjete nastanka stijene i oni iznose 375°C i 430 MPa, što odgovara nižim dijelovima facijesa zelenih škriljavaca.

Na temelju relativnih omjera volumnih udjela glavnih mineralnih faza karakterističnih za stijene facijesa zelenih škriljavaca (klorit, amfibol, epidot i plagioklas) izrađene su interpolacijske karte koje prikazuju generalni trend u promjeni uvjeta metamorfizma na središnjem dijelu Medvednice, a vrijednosti za uzorak SJ7 prosječne su za to područje. Vrijednosti se također podudaraju s očekivanim vrijednostima prema literaturnim podacima za jugozapadni dio Medvednice, odgovaraju mlađoj deformacijskoj fazi D2 zabilježenoj na Medvednici te ocrtavaju uvjete retrogradnog metamorfizma.

Mikrotektonskom analizom obilježja dinamičke rekristalizacije na zrnima plagioklasa i kvarca približno su određeni rasponi temperatura koji odgovaraju vršnom dijelu facijesa zelenih škriljavaca (450-500°C za uzorak SJ7). Istom temperaturnom rasponu odgovara i sastav plagioklasa određen na temelju iznosa kuteva simetrijskog potmnjenja i konstrukcijom izopleta. Plagioklasi odražavaju uvjete starije deformacijske faze D1 i progradnog metamorfizma. Izrađena je i interpolacijska karta koja prikazuje generalni trend u promjeni uvjeta metamorfizma (temperature) za fazu D1.

Na temelju udjela minerala koji uklapaju željezo u svoju strukturu, a time i zastupljenosti feri i fero iona u odabranim uzorcima, konstruirana je karta koja prikazuje prostorni raspored minerala koji mogu značajnije ugraditi Fe^{3+} u svoju kristalnu rešetku (prvenstveno epidot i hornblenda). Njihov raspored markira granicu prema epidot-amfibolitnom metamorfnom

facijesu kao vršnom dijelu facijesa zelenih škriljavaca i područja s povišenim parametrima metamorfizma kao što su tlak, temperatura, fugacitet kisika.

Ipak, promjene unutar područja veličine oko 10 km² teško je u potpunosti definirati na temelju mikroskopske analize 17 uzoraka. Iako su uspješno razlučene dvije deformacijske faze, ovime se može dobiti samo površni uvid u potencijalni raspored zona unutar metamorfnog tijela i okvirni metamorfni uvjeti. Stoga će se u nastavku istraživanja na bazi od 50 uzorka moći provesti cijelostijenske i detaljne kemijske analize (primjerice elektronskom mikroskopom, pritom će od velikog značaja biti uzorci s nalazom granata) kojima bi se utočnili podaci i detaljno utvrdile prostorne varijacije petrografskih, mikrotektonskih, paragenetskih i geotermobarometrijskih značajki zelenih škriljavaca središnjeg dijela Medvednice.

7 DODATAK

Popis minerala i njihovih kemijskih formula:

Aktinolit	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Biotit	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
Epidot	$\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})\text{Al}_2 [\text{SiO}_4 \text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$
Fengit	$\text{K}(\text{AlMg})_2(\text{OH})_2(\text{SiAl})_4\text{O}_{10}$
Granat (spessartin)	$\text{Mn}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
Hornblenda	$(\text{Ca}, \text{Na})_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})_5\text{Si}_6(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Kalcit	CaCO_3
Klorit	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_{10}\text{Al}_2[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20}](\text{OH})_{16}$
Kvarc	SiO_2
Muskovit	$\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$
Plagioklas (albit)	$\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
Titanit	$\text{CaTi}[\text{O} \text{SiO}_4]$
Tremolit	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Zoisit	$\text{Ca}_2\text{Al}_3[\text{SiO}_4 \text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$

Korištene kratice:

N-	fotografija bez uključenog analizatora
N+	fotografija s uključenim analizatorom
X, Y, Z	glavni vibracijski smjerovi

8 ZAHVALE

prof. dr. sc. Draženu Balenu – na ponovnom mentorstvu i neodustajanju od mene, na pomoći pri odabiru literature, terenskom radu i utrošenom vremenu, strpljenju i strpljenju, pruženom znanju, savjetima, primjedbama, podršci i poticanju novih ideja, i na svemu što se čovjek čovjeku može zahvaliti;

doc. dr. sc. Zorici Petrincec – na pomoći pri prikupljanju literature, uvijek praktičnim savjetima, kritikama i sugestijama;

Deanu Vončini, tehničaru – na pomoći i ugodnom društvu pri izradi mikroskopskih preparata;

Kristini Koret, kolegici i prijateljici – na pomoći pri terenskom radu, neprocjenjivim metodama orijentacije, na čipsu, čunju, kobasama i čvrstoj ženskoj ruci;

Margareti Tomičić, kolegici i prijateljici – na svemu čemu se već treba zahvaliti;

Mami – na tome što je mama;

tenkjuverimač.

9 LITERATURA

- BELAK, M. & TIBLJAŠ, D. (1998): Discovery of Blueschists in the Medvednica Mountain (Northern Croatia) and Their Significance for the Interpretation of the Geotectonic Evolution of the Area. *Geologia Croatica* 51/1, 27-32.
- CONNOLLY, J. A. D. (2005): Computation of phase equilibria by linear programming: A tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation. *Earth and Planetary Science Letters*, 236, 524–541.
- DE CARITAT, P., HUTCHEON., I. & WALSHE, J. L. (1993): Chlorite geothermometry: a review. *Clays and Clay Minerals*, 41/2, 219-239.
- DEER, W., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (2013): An introduction to the Rock-Forming minerals. Mineralogical society, 498 p.
- EHLERS, E. G. (1987): *Optical Mineralogy. Vol 2: Mineral Descriptions.* Blackwell Scientific Publications, 286 p.
- HAAS, J., MIOĆ, P., PAMIĆ, J., TOMLJENović, B., ÁRKAI, P., BÉRCZI-MAKK, A., KOROKNAI, B., KOVÁCS, S. & FELGENHAUER, E. R. (2000): Complex structural pattern of the Alpine-Dinaridic-Pannonian triple junction. *International Journal of Earth Sciences*, 89, 377–389.
- HALAMIĆ, J. & GORIČAN, S. (1995): Triassic Radiolarites from the Mts. Kalnik and Medvednica (Northwestern Croatia). *Geologica Croatica*, 48, 129-146.
- HALAMIĆ, J., GORIČAN, S., SLOVENEK, D. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. (1999): A Middle Jurassic Radiolarite-Clastic Succession from the Medvednica Mt. (NW Croatia). *Geologica Croatica*, 52/1, 29-57.
- JUDIK, K., ÁRKAI, P., HORVÁTH, P., DOBOSI, G., TIBLJAŠ, D., BALEN, D., TOMLJENović, B. & PAMIĆ, J. (2004): Diagenesis and low-temperature metamorphism of Mt. Medvednica, Croatia: Mineral assemblages and phyllosilicate characteristics. *Acta Geologica Hungarica*, 47/2-3, 151-176.
- JUDIK, K., BALOGH, K., TIBLJAŠ, D. & ÁRKAI, P. (2006): New age data on the low-temperature regional metamorphism of Mt. Medvadnica (Croatia). *Acta Geologica Hungarica*, 49/3, 207-221.

- JUDIK, K., G. RANTITSCH, T. M. RAINER, P. ÁRKAI & B. TOMLJENVIĆ (2008), Alpine metamorphism of organic matter in metasedimentary rocks from Mt. Medvednica (Croatia). *Swiss Journal of Geosciences*, 101/3, 605–616.
- KIŠPATIĆ, M. (1918): Die Eruptivgesteine und kristallinische Schiefer des Agramer Gebirger. *Glasnik Hrvatskog prirodoslovnog društva*, 30 (1-4), 1-24.
- LUGOVIĆ, B., ŠEGVIĆ, B. & SLTHER, R. (2006): Petrology and tectonic significance of greenschists from the Medvednica Mts. (Sava Unit, NW Croatia). *Ofioliti*, 31 (1), 39-50.
- MÁRTON, E., PAVELIĆ, D., TOMLJENVIĆ, B., AVANIĆ, R., PAMIĆ, J. & MÁRTON, P. (2002): In the wake of a counterclockwise rotating Adriatic microplate: Neogene paleomagnetic results from northern Croatia. *International Journal of Earth Sciences*, 91, 514–523.
- PAMIĆ, J. (1997a): The northwestern outcrops of the Dinaridic ophiolites: a case study of Mt. Kalnik (North Croatia). *Acta Geologica Hungarica*, 40, 37-56.
- PAMIĆ, J. (1997b): Vulkanske stijene Savsko-dravskog međuriječja i Baranje (Hrvatska). *Monografija, Nafta, Zagreb*, 192 p.
- PAMIĆ, J. (1998): North Dinaridic Late Cretaceous-Paleogene subduction-related tectonostratigraphic units of southern Tisisa, Croatia. *Geologica Carpathica*, 49, 341-350.
- PAMIĆ, J. & INJUK, J. (1985/86): Petrološko-geokemijske karakteristike ortogrinšista Zagrebačke gore u Hrvatskoj. *Geologija* 28/29, 239-254.
- PASSCHIER, C. W. & TROUW, R. A. J. (2005): *Microtectonics*. Springer, Heidelberg, 366 p.
- PLUMMER, C. C., McGEARY, D. & CARLSON, D. H. (2005): *Physical Geology*. McGraw-Hill Higher Education, New York, xix + 580 p.
- POLJAK, Ž. (2001): *Hrvatske planine*. Golden marketing, Zagreb, 614 p.
- RITTMANN, A. (1929): Die Zonenmethode. Ein Beitrag zur Methodik der Plagioklasbestimmung mit Hilfe des Theodolitischen. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 9, 1-46.

- SCHMIDT, S., D. BERNOULLI, B. FÜGENSCHUH, L. MATENCO, S. SCHEFER, R. SCHUSTER, M. TISCHLER & K. USTASZEWSKI (2008): The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: Correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences*, 101/1, 139–183.
- SPEAR, F.S. (1993): *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths*. Mineralogical Society of America. xxii + 799 p.
- SREMAC, J. & MIHAJLOVIĆ-PAVLOVIĆ, M. (1983): Graptoliti Medvenice. *Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti*, 404, 65-68.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ A. (1978): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Zagreb L 33-80. Savezni geološki zavod, Beograd.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ A. (1979): Tumač za list Zagreb L33-80. Savezni geološki zavod, Beograd.
- TOMLJENVIĆ, B. (2000): Zagorje – Mid-Transdanubian Zone. *Vijesti Hrvatskog geološkog društva* 37/2, 27-33.
- TOMLJENVIĆ, B. (2002): *Strukturne značajke Medvednice i Samoborskog gorja*. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 208 p.
- TOMLJENVIĆ, B., CSONTOS, L., MÁRTON, E. & MÁRTON, P. (2008): Tectonic evolution of the northwestern Internal Dinarides as constrained by structures and rotation of Medvednica Mountains, North Croatia. *Geological Society, London, Special Publications*, 298, 145-167.
- TRÖGER, W. E. (1982): *Optische Bestimmung der Gesteinbildenden Minerale*. E. – Schweizerbattsche Verlagbuchhandlung, 188 p.
- VAN GELDER, I. E., MATENCO, L., WILLINGSHOFER, E., TOMLJENVIĆ, B., ANDRIESEN, P. A. M., DUCEA, M. N., BENIEST, A. & GRUIĆ, A. (2015): The tectonic evolution of a critical segment of the Dinarides-Alps connection: Kinematic and geochronological inferences from the Medvednica Mountains, NE Croatia. *Tectonics*, 34, doi: 10.1002/2015TC003937.
- WINTER, J. D. (2001): *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall, 697 p.

10 SAŽETAK

Petra Schneider

Prostorna analiza varijacije petrografskih, mikrotektonskih, paragenetskih i geotermobarometrijskih značajki zelenih škriljavaca središnjeg dijela Medvednice

Mikroskopskom analizom 17 odabranih uzoraka, prikupljenih na središnjem dijelu Medvednice, utvrđen je mineralni sastav i struktura uzoraka. Uzorci pripadaju facijesu zelenih škriljavaca uz veća ili manja odstupanja u sastavu koja su iskorištena za prostornu analizu i detekciju promjena uvjeta metamorfizma. Na referentnom uzorku s lokaliteta Sveti Jakob napravljena je cijelostijenska kemijska analiza i geotermobarometrijsko modeliranje u računalnom paketu Perple_X. Dobiveni P-T uvjeti nastanka stijene iznose 375°C i 430 MPa i odgovaraju nižim dijelovima facijesa zelenih škriljavaca. U uzorcima su razlučene dvije deformacijske faze, a dobivene P-T vrijednosti odgovaraju mlađoj fazi D2 i ocrtavaju retrogradni metamorfizam. Mikrotektonskom analizom dinamičke rekristalizacije zrna plagioklasa i kvarca utvrđeni su temperaturni uvjeti starijeg deformacijskog događaja D1 i uz njega vezanog progradnog metamorfizma, koji za referentni uzorak iznose 450-500°C i odgovaraju višim dijelovima facijesa zelenih škriljavaca. Stereogrami izmjerenih folijacija i lineacija poklapaju se s dosadašnjim spoznajama o geološkoj evoluciji Medvednice. Konstruirane su karte kojima se prikazuje prostorni raspored metamorfnih uvjeta za stariji i mlađi metamorfni događaj, raspored udjela magnezija i željeza u kloritima, volumni udjeli pojedinih mineralnih faza u uzorcima te prostorni raspored minerala koji sadrže Fe³⁺ ione.

Ključne riječi: geotermobarometrija, facijes zelenih škriljavaca, metamorfizam, mineralne parageneze, Medvednica

11 SUMMARY

Petra Schneider

Spatial variations of petrographic, microtectonic, paragenetic and geothermobarometric features of greenschists from central part of Medvednica Mt.

Seventeen samples collected on the central part of Medvednica Mt. were analyzed with petrographic microscope in order to determine their microtextures and mineral composition. All the samples represent the greenschists, showing some differences in their mineral composition. Those differences were used to determine spatial changes of metamorphic conditions. Whole rock analysis was conducted on the sample from Sveti Jakob locality, in order to determine P-T conditions in which the rock was metamorphosed. Values calculated with Perple_X program package are 375°C and 430 MPa, matching the lower part of greenschist facies. Two different stages of deformation were recognized during the microscopic analysis, and the calculated values match the younger phase of deformation (D2) and the retrograde metamorphism. Microtectonic analysis of dynamic recrystallization effects visible within the plagioclase and quartz grains indicates the temperature conditions for the older deformation phase (D1) associated with prograde metamorphism. For the sample from Sveti Jakob locality, values range at 450-500°C, representing the upper part of greenschist facies. Few specific maps were made, showing spatial variations in metamorphic conditions for both phases of deformation, changes of magnesium and iron content in chlorites, variations in volume amount of mineral phases detected in samples, and distribution of minerals containing Fe³⁺.

Key words: geothermobarometry, greenschist facies, metamorphism, mineral assemblages, Medvednica Mt.

12 ŽIVOTOPIS

Petra Schneider

Rođena je u Zagrebu 1994. godine, gdje 2012. godine završava V. Gimnaziju i upisuje Preddiplomski studij geologije na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu. 2015. godine stječe naziv prvostupnika geologije i nastavlja studij na Diplomskom studiju geologije, smjer mineralogije i petrologije. Dobitnica je nagrade Fakultetskog vijeća PMF-a za izvrstan uspjeh na preddiplomskom studiju. U okviru jednomjesečnih boravaka u Bratislavi 2016. i 2017. godine (u okviru CEEPUS mreže) usavršavala se u radu s elektronskim mikroskopom, Raman spektroskopijom te elektronskom mikroskopom.

U slobodno vrijeme bavi se crtanjem i slikanjem, pisanjem, baletom i još koječime.