

MINERALOŠKA I PETROLOŠKA OBILJEŽJA BAZIČNIH MAGMATSKIH STIJENA S PODRUČJA VRLIČKOG I SINJSKOG POLJA

Kelava, Paulina

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:328406>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Paulina Kelava

**MINERALOŠKA I PETROLOŠKA OBILJEŽJA
BAZIČNIH MAGMATSKIH STIJENA S
PODRUČJA VRLIČKOG I SINJSKOG POLJA**

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

Paulina Kelava

**MINERALOŠKA I PETROLOŠKA OBILJEŽJA
BAZIČNIH MAGMATSKIH STIJENA S
PODRUČJA VRLIČKOG I SINJSKOG POLJA**

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

Mentori:
Doc. dr. sc. Zorica Petrinec
Doc. dr. sc. Andrea Čobić

Zagreb, 2024.

Zahvale

Zahvaljujem se mentoricama na uloženom vremenu i trudu prilikom izrade ovog rada. Hvala na prilici da ideju provedem u djelo i na svom znanju koje ste mi prenijele.

Hvala prijateljima i kolegama na suosjećanju i moralnoj podršci. Lakše i zabavnije je bilo sve prolaziti s vama.

Posebna zahvala mojoj obitelji na strpljenju i podršci u svakoj odluci tijekom cijelog studija. Hvala što ste svojim ponekad surovim komentarima stresne situacije učinili podnošljivima. :)

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Diplomski rad

MINERALOŠKA I PETROLOŠKA OBILJEŽJA BAZIČNIH MAGMATSKIH STIJENA S PODRUČJA VRLIČKOG I SINJSKOG POLJA

Paulina Kelava

Rad je izrađen u: Mineraloško-petrografski zavod Geološkog odsjeka, Prirodoslovno-matematički fakultet, Horvatovac 102a, 10000 Zagreb

Sažetak: U ovom radu analizirani su dijabazi Vrličkog i Sinjskog polja, točnije s lokaliteta Garjak i Slane stine. Radi se o dijabazima čija starost do sada nije radiometrijski utvrđena, ali se pretpostavlja da pripadaju permotrijaskoj vulkanskoj aktivnosti zabilježenoj u širem području. Optičkim istraživanjem, te primjenom analitičkih metoda rendgenske difrakcije na prahu i infracrvene spektroskopije određivane su mineraloške i petrološke karakteristike uzoraka te su proučavani alteracijski procesi kroz koje su prošli. Utvrđeno je da se na oba lokaliteta radi o istom izvornom tipu stijena, koje se razlikuju po prisutnosti i intenzitetu alteracija. Utvrđene su niskotemperaturne hidrotermalne alteracije (albitizacija, sericitizacija, kloritizacija, kalcitizacija, prehnitizacija i epidotizacija) koje su na uzorcima lokaliteta Garjak izraženije, dok su na uzorcima lokaliteta Slane stine manje izražene.

Ključne riječi: dijabaz, Vrličko polje, Sinjsko polje, alteracije

Rad sadrži: 48+V stranica, 27 slika, 2 tablice, 21 literaturni navod

Jezik izvornika: hrvatski

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

Mentori: Doc. dr. sc. Zorica Petrincec, PMF, Zagreb

Doc. dr. sc. Andrea Čobić, PMF, Zagreb

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Zorica Petrincec, PMF, Zagreb

Doc. dr. sc. Andrea Čobić, PMF, Zagreb

Doc. dr. sc. Maja Martinuš, PMF, Zagreb

Prof. dr. sc. Blanka Cvetko Tešović, PMF, Zagreb (zamjena)

Datum završnog ispita: 23.2.2024.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Graduate Thesis

MINERALOGICAL AND PETROLOGICAL CHARACTERISTICS OF IGNEOUS ROCKS FROM VRLIČKO AND SINJSKO POLJE

Paulina Kelava

Thesis completed in: Division of Mineralogy and Petrography, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 102a, Zagreb

Abstract: In this work, the diabases of Vrličko and Sinjsko Polje, specifically from the localities of Garjak and Slane stine, were analyzed. These are diabases whose age has not been determined radiometrically so far, but it is assumed that they belong to the Permian volcanic activity recorded in the wider area. The mineralogical and petrological characteristics of the samples, and the alteration processes they went through were studied by optical research and the application of analytical methods of X-ray powder diffraction and infrared spectroscopy. It was established that both localities are of the same original rock type, which differ in the presence and intensity of alterations. Low-temperature hydrothermal alterations (albitization, sericitization, chloritization, calcitization, prehnitization, and epidotization) were determined, which are more pronounced in the samples from the Garjak locality, while they are less pronounced in the samples from the Slane stine locality.

Keywords: diabase, Vrličko Polje, Sinjsko Polje, alterations

Thesis contains: 48+V pages, 27 figures, 2 tables, 21 references

Original in: Croatian

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

Supervisors: Doc. dr. sc. Zorica Petrinc, PMF, Zagreb

Doc. dr. sc. Andrea Čobić, PMF, Zagreb

Reviewers: Doc. dr. sc. Zorica Petrinc, PMF, Zagreb

Doc. dr. sc. Andrea Čobić, PMF, Zagreb

Doc. dr. sc. Maja Martinuš, PMF, Zagreb

Prof. dr. sc. Blanka Cvetko Tešović, PMF, Zagreb (substitute)

Date of the final exam: 23.2.2024.

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Geografski i geološki pregled, pregled dosadašnjih istraživanja	2
2.1. Geografski pregled	2
2.2. Geološki pregled.....	2
2.3. Povijest razvoja šireg istraživanog područja.....	4
2.4. Pregled dosadašnjih istraživanja	5
3. Materijali i metode istraživanja.....	8
3.1. Terenska istraživanja i prikupljeni uzorci.....	8
3.2. Izrada mikroskopskih preparata i optičko istraživanje	11
3.3. Difrakcija rendgenskih zraka na prahu (XRPD)	11
3.4. Infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom (FT-IR).....	12
4. Rezultati.....	13
4.1. Petrografski opis uzoraka.....	13
4.1.1. Uzorci bazičnih magmatskih stijena lokaliteta Garjak	13
4.1.1.1. Uzorci bez makroskopski vidljivih alteracija	13
4.1.1.2. Uzorci s makroskopski vidljivim produktima alteracija	16
4.1.2. Uzorci bazičnih magmatskih stijena lokaliteta Slane stine	21
4.1.2.1. Uzorci bez makroskopski vidljivih alteracija	21
4.1.2.2. Uzorci s makroskopski vidljivim produktima alteracija	23
4.2. Rezultati difrakcije rendgenskih zraka na prahu (XRPD)	26
4.3. Rezultati infracrvene spektroskopije	33
5. Rasprava	40
5.1. Karakterizacija primarne mineralne zajednice i alteracijskih produkata.....	40
5.2. Interpretacija alteracijskih procesa	43
6. Zaključak	46
7. Literatura.....	47

1. Uvod

Magmatske stijene čine 95% Zemljine litosfere. Nastaju hlađenjem magme u kori ili na površini, stoga ih prema mjestu nastanka dijelimo na intruzivne i efuzivne. Razlikuju se i prema sadržaju SiO_2 komponente pa ih dijelimo na kisele ($> 63\% \text{SiO}_2$), neutralne ($52 - 63\% \text{SiO}_2$), bazične ($45 - 52\% \text{SiO}_2$) i ultrabazične magmatske ($< 45\% \text{SiO}_2$) stijene.

U ovom radu fokus će biti na bazičnim stijenama koje su siromašne silicijem. Prisutne su u svim tektonskim okruženjima, a najčešći nastanak bazičnih magmatskih stijena vezan je uz područja srednjooceanskih hrptova. U takvim geotektonskim okruženjima dolazi do konvekcijskog uzdizanja materijala astenosfere i dekompresijskog taljenja te nastaje bazična magma. Njezinim hlađenjem nastaje nova oceanska kora izgrađena od bazičnih magmatskih stijena. Bazalt također nastaje i u područjima subdukcije ili utjecajem vrućih točaka. Najčešći predstavnici bazičnih stijena su gabro (intruziv), bazalt (efuziv) i dijabaz (žična stijena), a glavni mineralni sastav svih navedenih stijena čine plagioklasi, pirokseni i olivin.

Promjenom fizičkih i kemijskih uvjeta postojeće komponente u stijenama postaju nestabilne te se mijenjaju (alteriraju) u stabilnije minerale. Uobičajeni alteracijski procesi su hidratacija, dijageneza, metamorfizam i hidrotermalna alteracija.

Cilj ovog istraživanja je odrediti mineraloška i petrološka obilježja bazičnih magmatskih stijena s područja Vrličkog i Sinjskog polja, s dvaju lokaliteta koji do sada nisu ili su vrlo šturo literaturno obrađeni, te utvrditi alteracijske procese kroz koje su istraživane stijene prošle.

2. Geografski i geološki pregled, pregled dosadašnjih istraživanja

2.1. Geografski pregled

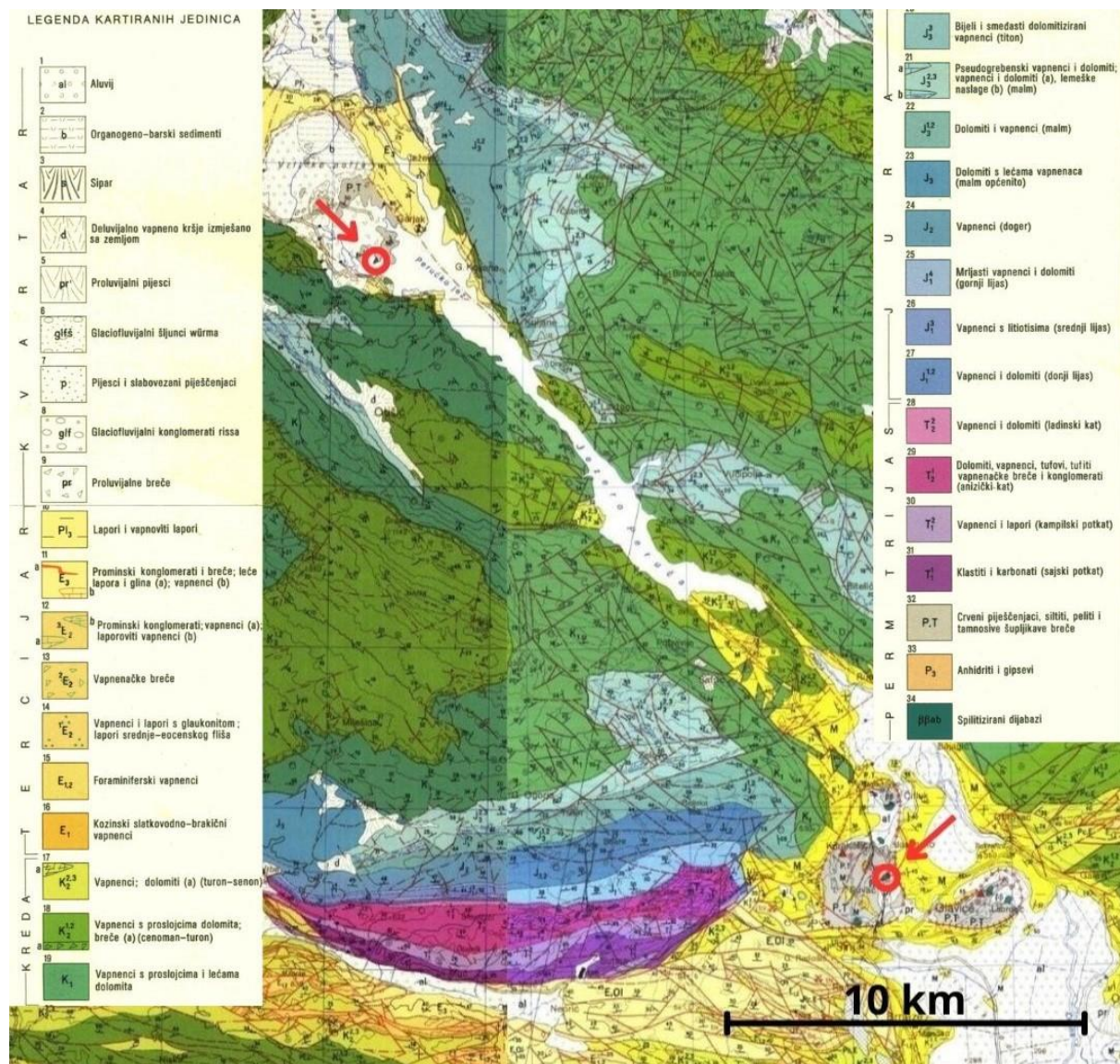
Vrličko i Sinjsko polje dva su od šest polja u kršu koja se nalaze duž rijeke Cetine. To su zaravnjene površine poljoprivrednog zemljišta okružene višim krškim područjem. Preostala četiri polja su Cetinsko, Koljansko, Ribaričko i Hrvatačko, a 1960. godine Ribaričko i Koljansko polje su izgradnjom brane i akumulacijskog jezera Peruća potopljena. Vrličko polje nalazi se sjeverozapadno od toka rijeke Cetine te predstavlja najviše polje tog područja s prosječnom nadmorskom visinom od 379 m, dok Sinjsko polje s prosječnom nadmorskom visinom od 298 m ima najveću površinu (64 km²). Sva polja dobila su naziv po najvećim naseljima uz koja se nalaze [1].

2.2. Geološki pregled

Područja Vrličkog i Sinjskog polja (slika 1) su na površini najvećim dijelom prekrivena kvartarnim naslagama. One se sastoje od aluvija, organogeno-barskih sedimenata i proluvijalnih breča. Aluvij gornjeg holocena u oba polja dolazi uz vodotoke i predstavlja ga naplavni materijal poput pijeska, mulja, pretaložene ilovače i drugih produkata trošenja. Organogeno-barski sedimenti gornjeg holocena su rastresita crnica, odnosno crni tresetični mulj koji ispunjava najniže dijelove Vrličkog polja koja su najčešće poplavljena vodom. Proluvijalne breče naslage su donjeg pleistocena koje čine blaga uzvišenja na području Vrlike. Izgrađuju ih fragmenti i produkti trošenja permskih i trijskih klastičnih i karbonatnih stijena, kredni vapnenci i prominski konglomerati, a povezani su kalcitnim matriksom (IVANOVIĆ i sur., 1978). Neogenske naslage istraživanog područja nemaju veliko gospodarsko značenje, osim slojeva ugljena koji se pojavljuje u rubnim depresijama. Pretežito u Sinjskom polju, a manje u Vrličkom polju, nalazili su se rudnici ugljena (VELIĆ & VLAHOVIĆ, 2009).

Najstarije naslage Vrličkog i Sinjskog polja su permotrijaske starosti (RAIĆ i sur., 1984). Radi se o evaporitima, točnije anhidritu koji se nalazi u dubljim dijelovima i gipsu koji je najčešći na izloženim površinskim dijelovima. Najpoznatiji dnevni kop su tzv. „Slane stine“ u selu Karakašica odakle su se gips i anhidrit vadili za potrebe cementne industrije u Solinu (RAIĆ i sur., 1984). Danas se na tom lokalitetu više ne vrši eksploatacija. U krovini evaporita nalaze se dolomiti i vapnenci, klastiti i breče. Kroz evaporite i niži dio klastita

probijaju spilitizirani dijabazi. To su trošne eruptivne stijene zelenkaste boje koje se protežu na desetak lokaliteta. Na njima su izraženi procesi sekundarnih izmjena, ponajviše procesi albitizacije, spilitizacije i prehnitizacije (IVANOVIĆ i sur., 1978). Starost navedenih dijabaza povezanih s evaporitima nije radiometrijski određena niti paleontološki dokazana. Pretpostavlja se da su permotrijaske starosti zbog fragmenata dijabaza pronađenih u permotrijaskim klastitima kao i identičnih teških minerala (VELIĆ & VLAHOVIĆ, 2009).



Slika 1. Kompozitna geološka karta istraživanog područja s pripadajućom legendom. Lijevi dio pripada listu Drniš (IVANOVIĆ i sur., 1977) s ucrtanim položajem mjesta uzorkovanja (Garjak), a desni dio pripada listu Sinj (PAPEŠ i sur., 1982) također s ucrtanim položajem mjesta uzorkovanja (Slane stine).

2.3. Povijest razvoja šireg istraživanog područja

Prema Tumačima OGK za listove Sinj (RAIĆ i sur., 1984) i Drniš (IVANOVIĆ i sur., 1978) najstarije naslage ovog područja su gornjopermski evaporiti i klastiti. Evaporiti su taloženi u djelomično izoliranim vulkansko-sedimentnim bazenima gdje je donos plinova i para potrebnih za sedimentaciju bio vezan uz vulkanske erupcije. U starijem trijasu prevladavali su stabilni uvjeti sedimentacije te su se taložili plitkomorski karbonati s mjestimičnim donosom terigenog materijala. Početkom srednjeg trijasa zabilježen je kraći prekid sedimentacije nakon kojeg su se taložile breče te plitkomorski karbonati s mjestimičnim prijelazima u vulkansko-sedimentne stijene. Tragovi vulkanske aktivnosti očituju se u pojavama eruptiva (dijabaza i spilita), tufova i tufitičnih stijena. Na kraju srednjeg trijasa javljali su se pokreti koji su uzrokovali emerziju, a nedostatak gornjotrijaskih naslaga ukazuje na dugotrajnu kopnenu fazu (RAIĆ i sur., 1984). Naslage donje jure transgresivno se talože na naslage srednjeg trijasa te su se nastavili uvjeti stabilne plitkomorske sedimentacije sve do mlađe jure. Na prijelazu iz mlađe jure u stariju kredu okopnjavanjem se prekida sedimentacija te se mjestimično pojavljuju boksiti. U starijoj kredi obnovili su se uvjeti plitkomorske sedimentacije koja je trajala do mlađeg dijela mlađe krede s kraćim prekidom na početku mlađe krede (IVANOVIĆ i sur., 1978). Kao posljedica laramijske orogenetske faze krajem mlađe krede, širi prostor Dinare i Svilaje (obuhvaćen listom Drniš) okopnjava. Obnovom sedimentacije i uspostavom marinskih okoliša u starijem eocenu talože se foraminiferski vapnenci. Nakon kopnene faze u srednjem eocenu, kao posljedice orogenetskih pokreta, nastupa transgresija i na tom se prostoru talože klastiti. Te klastične naslage prekrivaju razne članove, a njihovo taloženje prekinuto je okopnjavanjem koje je nastupilo krajem oligocena. Sedimentacija je obnovljena tijekom neogena isključivo u zatvorenim depresijama, odnosno jezerima dinarskog jezerskog susatava. Najmlađe naslage na tom području pripadaju kvartarnim klastičnim sedimentima (RAIĆ i sur., 1984).

2.4. Pregled dosadašnjih istraživanja

O bazičnim stijenama na području Vrličkog i Sinjskog polja do sada nije bilo mnogo istraživanja iz razloga što tu prevladavaju kvartarne naslage, a magmatske stijene nisu česta pojava. BARIĆ (1957) je vršio specijalistička mineraloška i petrološka istraživanja eruptiva okolice Sinja. Uspoređivao je uzorke eruptivnih stijena s lokaliteta u okolici Sinja, iz doline rijeke Suvaje te pojave kod Knina, Vrlike i Drniša opisujući njihova mikroskopska svojstva. U svome radu spomenuti autor donosi prvi sustavni pregled povijesti istraživanja tog područja te navodi da su prve vijesti o eruptivima u hrvatskim krajevima upravo o eruptivnim stijenama okolice Sinja o kojima govori opat Alberto Fortis 1774. godine u svom djelu „Viaggio in Dalmazia“ (BARIĆ, 1957. i reference unutra). Prema BARIĆU (1957), kao Fortis, isto ponavlja i Ivan Lovrić dvije godine kasnije, a tek 1905. Kerner ih u svome radu naziva dijabazima. Nadalje, prema istom izvoru (BARIĆ, 1957. i reference unutra), Kerner 1916. godine tvrdi da su glinenci u eruptivima plagioklasi, dok Schubert nešto ranije kaže da je to „vapnenački natronov glinenac“. Kerner tih godina također izdaje geološku kartu i tumač za tu kartu u kojima navodi mjesta u okolici Sinja gdje se javljaju eruptivi, dijabazporfiriti i augitporfiriti. Hauer u svojim istraživanjima 1867. godine navodi da su magmatske stijene kod Knina dioriti, a Kišpatić 1892. godine isto potvrđuje i za magmatske pojave kod Vrlike i Drniša (BARIĆ, 1957. i reference unutra).

PAMIĆ (1982) u svom znanstvenom radu „Bazaltne stijene trijaskog vulkanizma Dinarida“ razmatra prostorni i genetski odnos između bazalta i spilita te zaključuje da su spiliti nastali na račun bazalta u postkonsolidacijskoj fazi. Srednjotrijaske vulkanoklastične naslage Vanjskih Dinarida također opisuje SMIRČIĆ (2017) u svom doktorskom radu. Odredio je njihov stratigrafski položaj i taložne okoliše te geotektonski okoliš u kojem je nastala magma koja je producirala te naslage. Analizirao je uzorke s pet lokaliteta u Vanjskim Dinaridima: Donje Pazarište, Jovanović Draga, Bosansko Grahovo, Zelovo i Plavno. Autor navodi kako je litološka korelacija ovih naslaga kompleksna jer se na različitim lokalitetima pojavljuju genetski različite vulkanoklastične naslage. Biostratigrafskim istraživanjima dokazao je da se glavna faza vulkanizma u Vanjskim Dinaridima događala u razdoblju od mlađeg anizika do mlađeg ladinika. Vulkanoklastične naslage nastale su u kopnenim i marinskim okolišima, a većinu lokaliteta obilježava dubljevodna pelagička sedimentacija. Geokemijska obilježja vulkanoklastičnih i vulkanskih stijena ukazuju na kalcijsko-alkalijsku magmu koja je kontaminirana kristalnim materijalom. Također ukazuju i na procese

subdukcije i neobično obogaćenje magme elementima vezanim uz kontinentsku koru, što je protumačeno kao vjerojatni utjecaj ranije subdukcije na nastanak riftne magme.

VRKLJAN (1981) određuje sadržaj elemenata (Co, Cr, Cu i Ni) u spilitiziranim bazičnim eruptivnim stijinama srednje Dalmacije te prati razlike u njihovom ponašanju prilikom spilitizacije stijena. Analizirala je devet uzoraka sa sljedećih lokaliteta: Zelovo (3), G. Kričke (1), Vrlika (1), Knin (1), Žagrović (1) i Plavno (2). Zaključila je da su se navedeni mikroelementi različito ponašali tokom spilitizacije bazičnih eruptivnih stijena. Dok je za kobalt proces spilitizacije izokemijski, krom, bakar i nikal pokazuju migrabilnost, a njihov današnji sadržaj u stijinama protumačen je kao posljedica prisutnosti minerala formiranih spilitizacijom u čije se rešetke mikroelementi ugrađuju.

SLOVENEČ i sur. (2023) u svome radu donose dva moguća mehanizma koja objašnjavaju podrijetlo dolerita, odnosno moguće geotektonsko okruženje tog rijetkog subvulkanskog trijaskog dolerita koji se pojavljuje u Vanjskim Dinaridima. Izdanci su pronađeni u okolici Knina, unutar rasjedne zone Split-Karlovac duž koje se pojavljuju i gornjopermski evaporiti. Istraživane stijene su srednje do krupnozrnate te pokazuju homogenu teksturu i intergranularnu holokristalnu strukturu, po čemu ih se klasificira kao dolerit. Mineralni sastav proučavanog dolerita čine sericitizirani i albitizirani hipidiomorfni do idiomorfni plagioklas, hipidiomorfni klinopiroksen, smeđi hipidiomorfni prizmatični amfibol, magnetit i hematit. Proučavanjem petrografije istih otkrili su sljedeći redoslijed kristalizacije: klinopiroksen → plagioklas → alkalni feldspat ± amfibol ± Fe – Ti oksidi. Zabilježili su različite procese hidrotermalnih alteracija poput: prehnitizacije i pumpelitizacije plagioklasa, kloritizacije klinopiroksena i plagioklasa, alteracije klinopiroksena u sekundarni amfibol te alteracije primarnog amfibola u tinjac. Utvrdili su da geokemija kalcijsko-alkalijskog dolerita ukazuje na stvaranje magme iz peridotitnog plašta koji sadrži spinel-granat izvor. S obzirom na složenost petrogenetskih procesa i geotektonskih okruženja, predložena su dva genetska modela. Prvi pretpostavlja da je analizirani dolerit formiran kroz procese niskog stupnja parcijalnog taljenja a) oceanske kore izmijenjene subdukcijom i/ili subduciranih/recikliranih sedimenata ispod metasomatski alteriranog aktivnog plašnog klina i b) litosfernog plašta modificiranog komponentom kore tijekom taljenja materijala donjeg dijela kore. Ovaj model bio bi u skladu s geodinamskim konceptom srednjotrijaske sjeverno usmjerene aktivne subdukcije Paleotethysa ispod aktivnog kontinentskog ruba Laurazije, što je popraćeno stvaranjem perikontinentskog vulkanskog luka. Prema drugom genetskom

modelu, istraživane kalcijsko-alkalijske stijene formirane su niskim stupnjem parcijalnog taljenja heterogenog litosfernog (subkontinentskog) plašta izmijenjenog subdukcijom, koji je bio kontaminiran i/ili metasomatiziran tijekom ranijih subdukcijskih događaja. Ovaj model ne uključuje utjecaj tadašnje aktivne subdukcije. Umjesto toga, postavlja proučavani dolerit u područje tzv. Velike Adrije (eng. *Greater Adria*) gdje je srednjotrijaska ekstenzija cjeline Visokog krša rezultirala kratkotrajnom sin-riftnom vulkanskom fazom i formiranjem dinaridskog napuštenog riftnog sustava. Uslijedilo je daljnje slijeganje platforme zajedno s pojavom lokalnih sedimentacijskih bazena. SLOVENEČ i sur. (2023) zaključuju da rezultati njihovog istraživanja idu u prilog drugom genetskom modelu.

3. Materijali i metode istraživanja

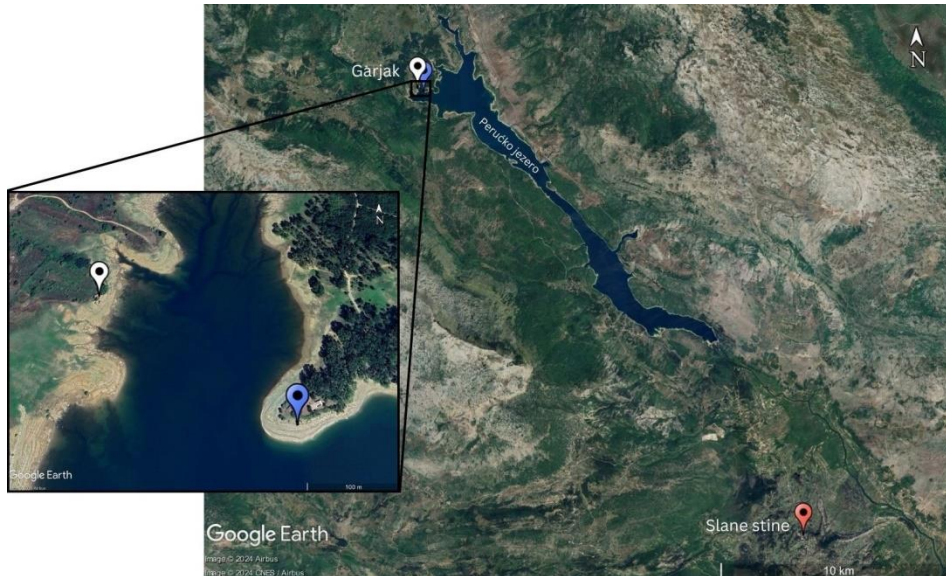
Za potrebe ovoga istraživanja provedene su terenske i laboratorijske metode. Terensko istraživanje podrazumijevalo je prikupljanje uzoraka te njihovo označavanje i razvrstavanje za daljnju laboratorijsku obradu. Na Mineraloško-petrografskom zavodu Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu provedene su sljedeće laboratorijske metode: izrada mikroskopskih preparata, optičko istraživanje polarizacijskim mikroskopom, difrakcija rendgenskih zraka na prahu (XRPD) i infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom (FT-IR).

3.1. Terenska istraživanja i prikupljeni uzorci

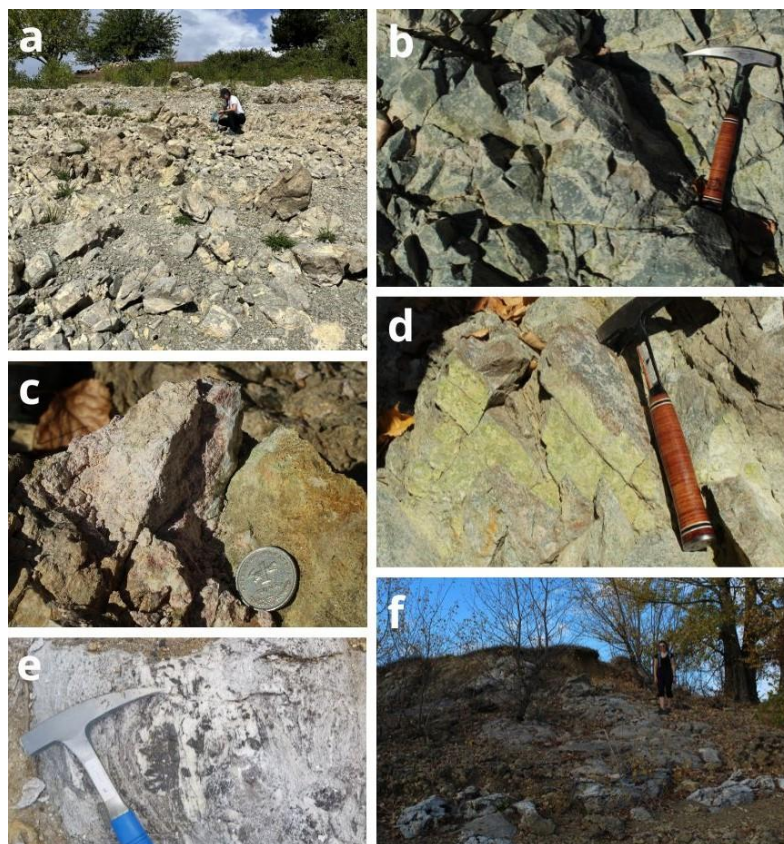
Terenska istraživanja i prikupljanje uzoraka odvijalo se u trajanju od dva dana. Prvi dan obišeno je područje Vrličkog polja, točnije sjeverozapadni rub Peručkog jezera u blizini naselja Garjak (slika 2). Proučavan je izdanak magmatskih stijena koji se proteže desetak metara u visinu i nekoliko desetaka metara u duljinu (slika 3a). Radi se o dijabazu zelenkaste boje (slika 3b) s izrazitim alteracijama koje se očituju u makroskopski jasno uočljivim promjenama boje i teksture (slika 3c, d). Na samom izdanku provedena je fotodokumentacija i prikupljeni su uzorci osnovne stijene te svi oni na kojima su uočene izmjene. Razvrstani su u većiće, označeni i prenešeni u laboratorij na daljnju obradu.

Nešto više (300 metara) prema nekadašnjoj liniji obale Peručkog jezera, pronađen je izdanak evaporitnih naslaga (slika 2). Izdanak je dužine i visine tek nekoliko metara (slika 3f). Radi se o srednjozrnatim evaporitima s mjestimično vidljivim sitnim kristalima gipsa. Isprepliću se bijeli i sivi dijelovi što ukazuje na prisutnost onečišćenja gipsa (slika 3e). Crt mu je bijel, a sjaj mutan do sedefast. Mekan je i lako se mrvlji što potvrđuje i činjenica da je drugi po redu na Mohsovoj skali tvrdoće. Također su uzeti uzorci za analizu.

Drugog dana posjećen je nekadašnji kop „Slane stine“ u selu Karakašica u predgrađu Sinja koje pripada Sinjskom polju (slika 2). To je bio najpoznatiji dnevni kop odakle su se eksploatirali gips i anhidrit u industrijske svrhe, no fokus istraživanja bio je na magmatskim stijenama. Nije bilo prisutno većih izdanaka, ali su pronađeni dijabazi u manjim količinama, iako ne u primarnom kontaktu s okolnim stijenama. Također su zeleni, no s manje vidljivih alteracija. Uzorci su prikupljeni na već navedeni način.



Slika 2. Karta istraživanog područja s označenim lokacijama uzorkovanja (plavo – izdanak magmatskih stijena lokaliteta Garjak, bijelo – izdanak evaporitnih naslaga lokaliteta Garjak, crveno – izdanak magmatskih stijena lokaliteta Slane stine).



Slika 3. Terenske fotografije s lokaliteta Garjak. a) Izdanak bazičnih magmatskih stijena; b) osnovna stijena (dijabaz) s makroskopski vidljivim teksturnim heterogenostima; c) detalj ružičaste alteracije; d) detalj zelene alteracije na jednoj od svježe odlomljenih ploha; e) onečišćenje gipsa; f) izdanak gipsa.

Prikupljeno je ukupno 20 uzoraka s oba lokaliteta te su svi obrađeni barem jednom od metoda. Iz pojedinih je uzoraka izdvojeno više teksturnih domena koje pretpostavljeno odgovaraju određenim alteracijskim fazama, te su one zasebno analizirane. Pregled metoda primijenjenih na prikupljenim uzorcima prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Prikupljeni uzorci i primjenjene metode. Oznake PT pripadaju uzorcima s lokaliteta Garjak, a ST onima s lokaliteta Slane stine.

LOKALITET	UZORAK	OPTIČKO ISTRAŽIVANJE	XRPD	IR
GARJAK	PT1	+	+	-
	PT2	+	+	-
	PT3	+	+	-
	PT4	+	+	-
	PT5	-	+	+
	PT6	-	+	-
	PT7	+	+	+
	PT8	-	+	+
	PT9	-	+	+
	PT10	+	+	-
	PT11	-	+	-
	Ružičaste alteracije	-	+	-
	Gips	-	+	-
	Sedra	-	+	-
SLANE STINE	ST1	+	+	-
	ST2	+	+	-
	ST3	+	+	-
	ST4	+	+	-
	ST5	-	+	-
	ST6	-	+	-

3.2. Izrada mikroskopskih preparata i optičko istraživanje

Za potrebe izrade mikroskopskih preparata, uzorci stijena prvo su pomoću dijamantne pile rezani na pločice debljine oko 5 mm. Nakon rezanja pločica je oblikovana na dimenzije koje odgovaraju predmetnom stakalcu. Pločica je, uz pomoć brusnog praha granulacije 500, polirana da bi se uklonili zarezi od pile, a zatim je zalijepljena na predmetno stakalce pomoću kanadskog balzama. Potom je brušena i druga strana pločice zalijepljene na stakalce, prvo strojno na rotirajućoj ploči za brušenje prahom granulacije 90, a zatim i ručno prahom granulacije 240. Završna faza brušenja radila se ručno finijim brusnim prahom granulacije 500.

Brušenje se odvijalo sve dok uzorak nije dosegao željenu debljinu od 30-ak mikrometara, koja je optimalna za optičko istraživanje. Zatim je slijedilo lijepljenje pokrovnog stakalca za koje se također koristi kanadski balzam. Preparat je zagrijavan i istiskivan je zrak. Ohlađeni preparat uranjan je u alkohol koji pospješuje struganje ostatka kanadskog balzama s rubova. Naposljetku je preparat spreman za optičko istraživanje koje je provedeno na polarizacijskom mikroskopu Zeiss Axiolab u Mineraloško-petrografskom zavodu.

U sklopu mikroskopskog istraživanja provedena je i fotodokumentacija pomoću digitalne refleksne kamere (Canon EOS 500D). Program kamere (EOS Utility) omogućio je kontrolu kamere i uvjeta snimanja izravno putem računala. U samom programu prilagođeni su osjetljivost kamere i balans bijele boje. Uz pomoć Carl Zeiss mikrometra u programu Zeiss AxioVision Rel. 4.8 provedena je kalibracija kamere što je omogućilo i provođenje mjerenja na slikama u istom programu.

3.3. Difrakcija rendgenskih zraka na prahu (XRPD)

Metoda difrakcije rendgenskih zraka na prahu jedna je od osnovnih metoda fazne analize. Prednost XRPD metode je što je dovoljna vrlo mala količina materijala da bi se izvršila analiza. Na osnovu ove metode dobivaju se podaci o kristalnoj strukturi minerala, te se s obzirom na to mogu identificirati prisutne kristalne faze (kvalitativna analiza), a također se mogu odrediti maseni udjeli pojedinih kristalnih faza u uzorku (kvantitativna analiza). Rezultat snimanja je difraktogram praha koji se sastoji od difrakcijskih maksimuma koje odlikuje intenzitet i položaj.

Za provedbu XRPD metode bilo je potrebno izdvojiti željeni dio uzorka te ga smrviti u prah u ahatnom tarioniku i staviti na nosač. Difrakcija je rađena na uređaju Philips PW 3040/60 X'Pert PRO. Zračenje se odvijalo pri jakosti struje od 40 mA i naponu od 40 kV, a korišteno je bakreno zračenje ($\lambda_{\text{CuK}\alpha 1} = 1,54055 \text{ \AA}$). Uzorci su snimani na silicijskom nosaču u trajanju od 24 minute, a program za interpretiranje i obradu podataka je X'Pert HighScore (Panalytical, 2004) u sklopu kojeg je korištena i PDF2 baza podataka (ICDD, 2004).

3.4. Infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom (FT-IR)

Infracrvena spektroskopija temelji se na činjenici da molekule apsorbiraju zračenje u infracrvenom dijelu elektromagnetskog spektra. Ta apsorpcija infracrvenog zračenja odgovara specifičnim vezama koje su prisutne unutar molekule, mjeri se spektrometrom te izražava valnim brojevima uobičajenog raspona od 4000 cm^{-1} do 400 cm^{-1} . Taj raspon valnih brojeva spada pod srednje (MIR) zračenje, a infracrveno područje elektromagnetskog spektra sastoji se još od bliskog (NIR) zračenja ($13000 - 4000 \text{ cm}^{-1}$) i dalekog (FIR) infracrvenog zračenja ($400 - 100 \text{ cm}^{-1}$) (SKOOG & LEARY, 1992).

Za analizu metodom infracrvene spektroskopije s Fourierovom transformacijom (FT-IR) potrebno je izdvojiti određeni mineral iz uzorka stijene te ga usitniti u prah. Priprema je dakle ista kao i za XRPD metodu stoga su korišteni isti uzorci. U provedenom istraživanju korištena je tehnika refleksijske infracrvene spektroskopije, odnosno prigušene totalne refleksije (eng. *attenuated total reflectance* – ATR). Radi se o totalnoj unutarnjoj refleksiji zračenja na granici uzorka i refleksijskog kristala koji je u ovom slučaju bio dijamant. Na njega se postavi usitnjeni uzorak te dolazi do refleksije zračenja u trenutku kada zračenje prolazi iz refleksijskog kristala u uzorak. Zračenje valnih duljina koje uzorak apsorbira je tzv. prigušeno zračenje jer je manjeg intenziteta od upadnog zračenja.

Spektroskop korišten za ovu analizu je BRUKER TENSOR 27, a dobiveni spektri analizirani su u programu OPUS v. 6.5. (BRUKER, 2009). Raspon mjerenja određen je od 4000 cm^{-1} do 400 cm^{-1} s rezolucijom 2 cm^{-1} , a po mjerenju su prikupljena 24 spektra radi bolje statistike.

4. Rezultati

4.1. Petrografski opis uzoraka

4.1.1. Uzorci bazičnih magmatskih stijena lokaliteta Garjak

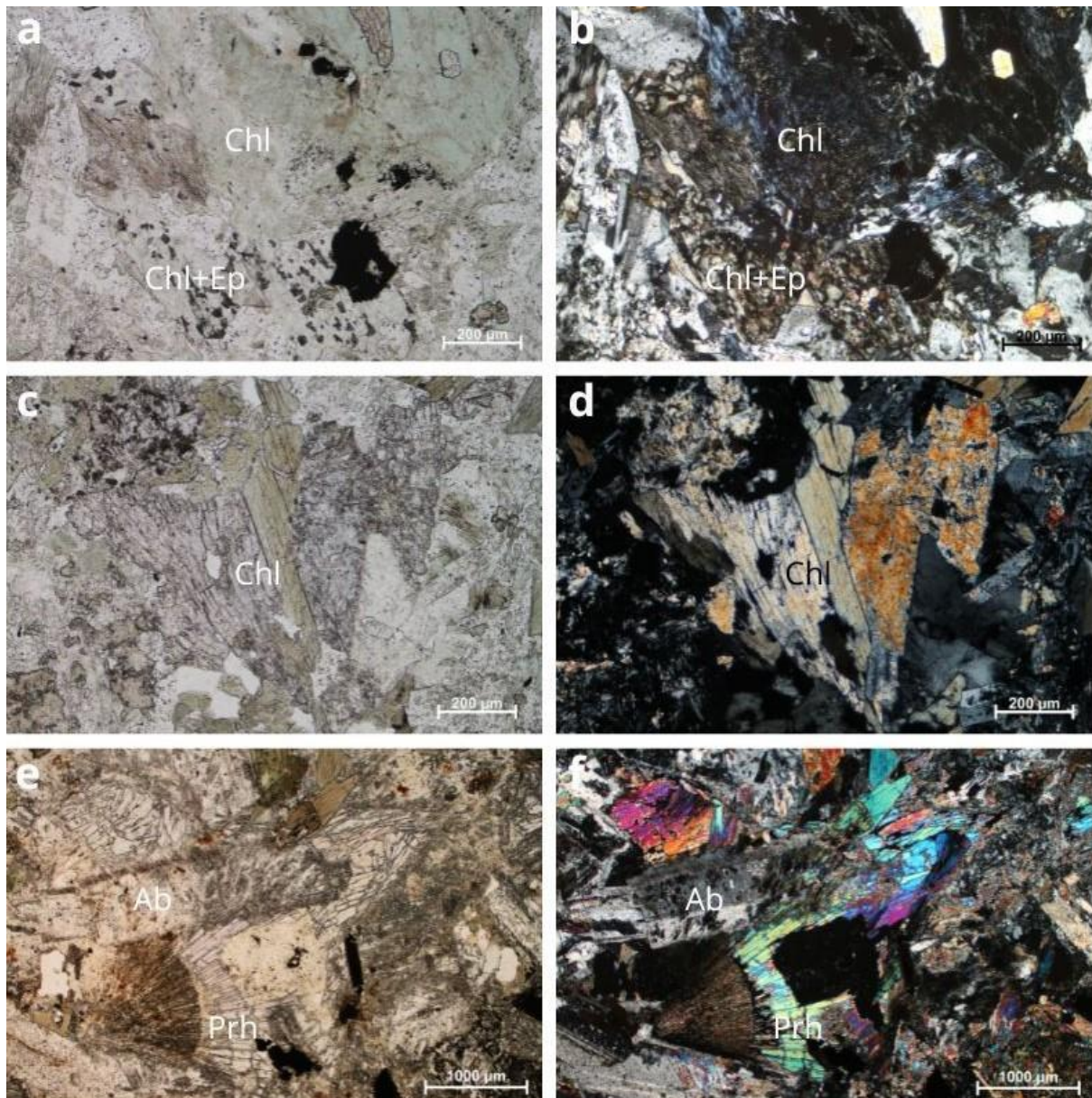
4.1.1.1. Uzorci bez makroskopski vidljivih alteracija

Preparati **PT1** i **PT2** izrađeni su od dva različita uzorka osnovne stijene (cf. slika 3b), no po mikroskopskim karakteristikama uočavaju se određene razlike. PT1 je krupnozrnatiji, dok je PT2 nešto sitnozrnatiji uzorak. Tekstura u oba preparata je homogena, dok je struktura hipokristalina, ofitska (cf. slika 7a, b). Mineralni sastav čine: plagioklasi (50 %), amfiboli (30 %), klorit (15 %) i epidot (5 %) te akcesorni opaki minerali. Radi se o stijeni dijabazu koji je spilitiziran.

Kristali plagioklasa čine isprepletene štapiće. Na nekima se jasno uočavaju polisintetske sraslačke lamele. U preparatu PT1 sericitizacija plagioklasa je prisutna uglavnom u središtima zrna, rjeđe se opaža da su u potpunosti alterirani, dok su kroz preparat PT2 skoro svi plagioklasi sericitizirani (cf. slika 5a, b). Amfiboli dolaze kao alotriomorfna zrna ili hipidiomorfni štapići. Uglavnom su blago zeleni s blagim zelenkasto-smeđim pleokroizmom, a rjeđe bezbojni. Te boje su izraženije u preparatu PT1. Imaju umjereno visok pozitivan reljef, a interferiraju do žute boje II. reda. Pojedina zrna su kloritizirana. Radi se o amfibolima tremolitno-aktinolitnog niza. Klorit se u oba preparata javlja u devitrificiranim džepićima (slika 4a, b) ili kao pseudomorfoza po amfibolu (slika 4c, d). Zelene je boje s blagim pleokroizmom iz svjetlije u tamniju zelenu. Interferira od sive do žute boje I. reda, a u devitrificiranim džepićima bude i anomalno plave boje. Epidot u oba preparata dolazi u obliku alotriomorfni zrna ili tvori agregate s kloritom unutar devitrificiranih džepića. Ima visok pozitivan reljef. Zelenkast je i ima žuto-zeleni pleokroizam. Interferencijske boje su visoke, do žute boje III. reda. Uz epidot se akcesorno javlja i zoisit koji je bezbojan i interferira u sivoj boji.

Na uzorku **PT4** također makroskopski nisu vidljive alteracije. Tekstura ovog preparata je homogena, a struktura hipokristalina, hipidiomorfna zrnata. Mineralni sastav čine: plagioklasi (30 %), epidot (22 %), amfiboli (15 %), pirokseni (klinopirokseni 10 %, ortopirokseni 5 %), klorit (10 %) i prehnit (8 %). Iako se makroskopski ne opaža, radi se o alteriranom, spilitiziranom dijabazu.

Plagioklasi čine mrežu isprepletenih štapića. Također su alterirani, sericitizirani (cf. slika 5a, b), no za razliku od ostalih preparata ovdje je prisutna i izrazita kloritizacija plagioklasa (cf. slika 6c, d). Alteracije se najčešće pojavljuju od sredine zrna te se šire prema vanjskom rubu, ali ima i onih koji su u potpunosti alterirani te su izgubili svoj prvobitni oblik (habitus). Epidot se pojavljuje kao alotriomorfna zrna, tvori štapićaste agregate ili je u kombinaciji s kloritom unutar devitrificiranih džepića. Ima visok pozitivan reljef. Zelene je boje s izraženim žuto-zelenim pleokroizmom. Interferira u živim bojama, do žute boje III. reda. Amfiboli se javljaju kao alotriomorfni do hipidiomorfni štapići. Izražena im je zonalnost. Pokazuju pleokroizam od svjetlo do tamno zelene ili smeđe boje. Vidljive su karakteristične kalavosti u popečnim presjecima. Radi se o hornblendi. Pirokseni su alotriomorfna bezbojno-siva raspucana zrna. Na nekim klinopiroksenima se unutar pukotina uočava agregat klorita i epidota. Interferiraju u žutonarančastoj boji II. reda, a ortopirokseni u sivoj boji I. reda. Klorit se javlja u vidu agregata s epidotom unutar devitrificiranih džepića (cf. slika 4a, b) ili kao pseudomorfoza po amfibolu (cf. slika 4c, d). Zelene je boje i pokazuje blagi pleokroizam iz svjetlije u tamniju zelenu. Prehnit dolazi kao bezbojna zrna ili štapići koji čine lepezaste agregate (slika 4e, f). Ima visok pozitivan reljef i interferira u živim bojama, do ljubičastoplave boje II. reda. Od akcesornih minerala prisutni su zoisit i opáki minerali.



Slika 4. Karakteristične pojave opisane u uzorcima na kojima se makroskopski ne vide produkti alteracije. a) Agregat klorita i epidota unutar devitrificiranog džepića (PT1), N-; b) agregat klorita i epidota unutar devitrificiranog džepića (PT1), N+, klorit pokazuje anomalno plavu interferencijsku boju; c) pseudomorfoza klorita po amfibolu (PT1), N-; d) isti prikaz pseudomorfoze klorita po amfibolu (PT1), N+; e) lepezasti agregat prehnita okružen albitom (PT4), N-; f) lepezasti agregat prehnita okružen albitom (PT4), N+. Kratice: Chl – klorit, Ep – epidot, Ab – albit, Prh – prehnit.

4.1.1.2. Uzorci s makroskopski vidljivim produktima alteracija

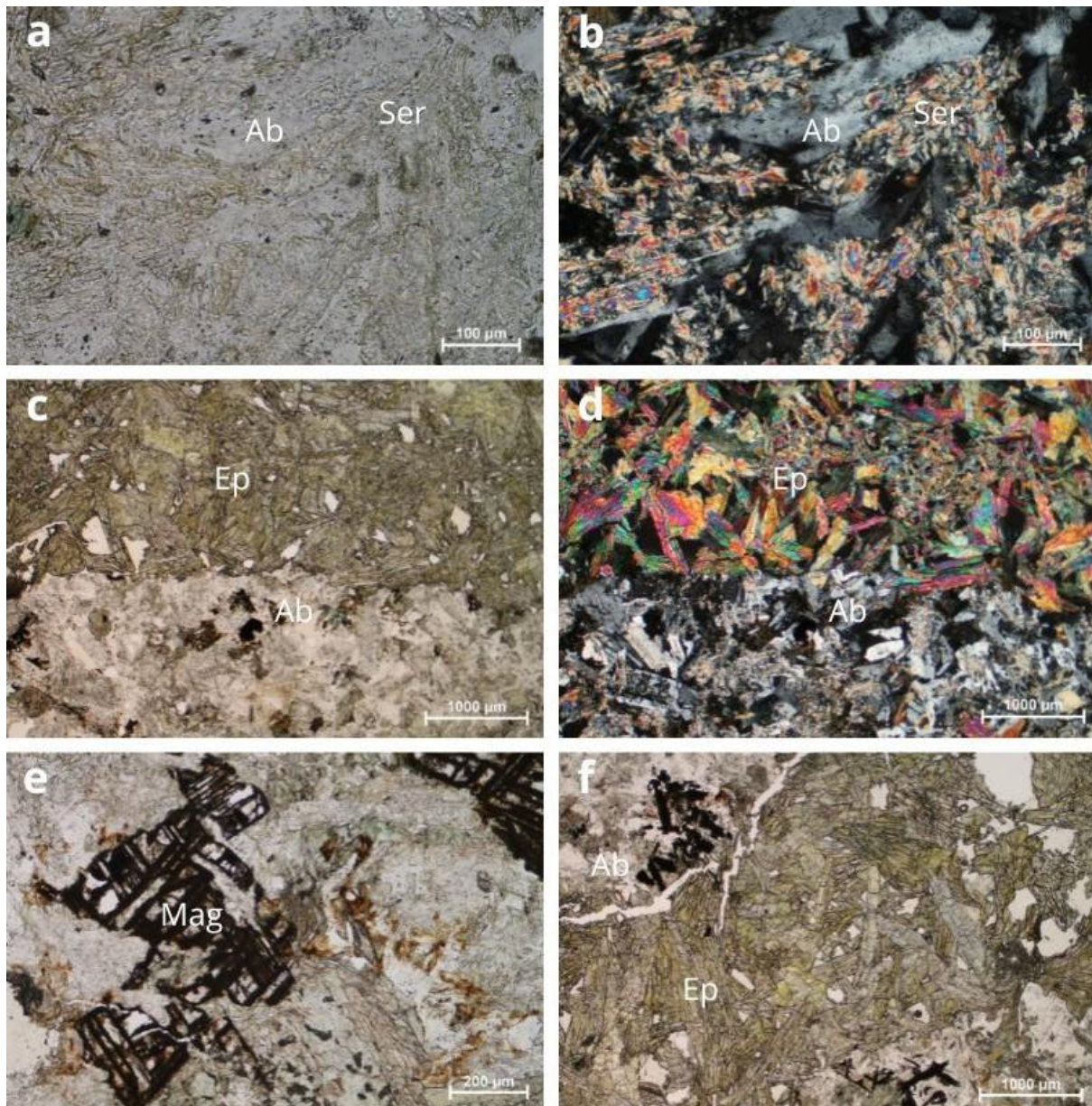
Uzorak **PT3** makroskopski je vrlo sličan osnovnoj stijeni osim što na svom površinskom dijelu sadrži zelenu mineralnu „koricu“ (cf. slika 3d). Tekstura ovog preparata je homogena, a struktura hipokristalina, ofitska (cf. slika 7a, b). Mineralni sastav čine: plagioklasi (40 %), epidot (30 %), amfiboli (20 %) i klorit (10 %). Radi se o spilitiziranom dijabazu kojem je najočitija alteracija upravo ta „korica“ epidota.

Plagioklasi su predstavljeni alteriranim štapićima. Radi se o sericitizaciji (slika 5a, b), a većina ih je u potpunosti alterirana te više nemaju svoj primarni habitus. Epidot tvori „koricu“ na površini prikupljenog uzorka stijene (slika 5c, d). Uz taj površinski rub, epidot se u preparatu javlja u obliku štapića, ali su alotriomorfna zrna prisutna i kroz ostatak preparata. Zelene je boje sa žuto-zelenim pleokroizmom. Ima visok pozitivan reljef i interferira do žute boje III. reda. Kontakt između korice epidota i ostalih minerala u preparatu je oštar, prate ga štapićasti habitusi zrna. U sredini korice štapići su veći te se vidi postupno smanjenje veličine štapića prema rubu. Epidot je također prisutan u agregatu s kloritom unutar devitrificiranih džepića. Amfiboli su zeleni štapići sa zelenkasto-smeđim pleokroizmom. Imaju visok pozitivan reljef, a interferiraju do žute boje II. reda. Neki su pseudomorfozirani kloritom (cf. slika 4c, d). Radi se o hornblendi. Klorit se javlja u vidu agregata s epidotom unutar devitrificiranih džepića (cf. slika 4a, b) ili kao pseudomorfoza po amfibolu. Zelene je boje i pokazuje pleokroizam iz svjetlije u tamniju zelenu. Od akcesornih minerala prisutni su kalcit, zoisit koji se javlja uz epidot, i opaki minerali koji su rešetkasti (slika 5e) i pokazuju skeletni rast minerala što znači da je mineralizacija bila brža od prinosa materijala.

Sredinom uzorka **PT7** prolazi žila epidota. Tekstura preparata je homogena, a struktura hipokristalina, ofitska (cf. slika 7a, b). Mineralni sastav čine: plagioklasi (40 %), epidot (30 %), amfiboli (20 %) i klorit (10 %), a radi se o spilitiziranom dijabazu.

Plagioklasi su bezbojni isprepleteni štapići na kojima su izražene polisintetske sraslačke lamele. Uz rub preparata su izrazito sericitizirani (cf. slika 5a, b), a u središtu je prisutna i kloritizacija (cf. slika 6c, d). Alteracije uglavnom započinju iz središta zrna te se šire prema vanjskom rubu. Kroz sredinu preparata proteže se žila epidota (slika 5f). Unutar žile epidoti su uglavnom štapićasti, a duž cijelog preparata mogu se uočiti alotriomorfna zrna. Epidot je prisutan i u agregatu s kloritom unutar devitrificiranih džepića. Ispod velike žile prisutna je i još jedna znatno manja žila epidota. Kontakt između epidota unutar žile i

plagioklasa iz preparata je oštar, prodiru jedni u druge. Epidot je visokog reljefa i zelene boje te pokazuje žuto-zeleni pleokroizam. Interferencijske boje su mu žive, do žute III. reda. Unutar žile je akcesoran i zoisit koji ima plavkastožutu interferencijsku boju. Amfiboli su alotriomorfni do hipidiomorfni štapići. Pokazuju zonalnost, u sredini smeđi, a prema vanjskom rubu zeleni. Pleokroizam im je od zelene do smeđe boje. Vidljivi su poprečni presjeci s karakterističnim kalavostima. Neki amfiboli su pseudomorfozirani kloritom. Radi se o hornblendi. Klorit se javlja u vidu agregata s epidotom unutar devitrificiranih džepića (cf. slika 4a, b) ili kao pseudomorfoza po amfibolu (cf. slika 4c, d). Zelene je boje i pokazuje blagi pleokroizam iz svjetlije u tamniju zelenu boju.



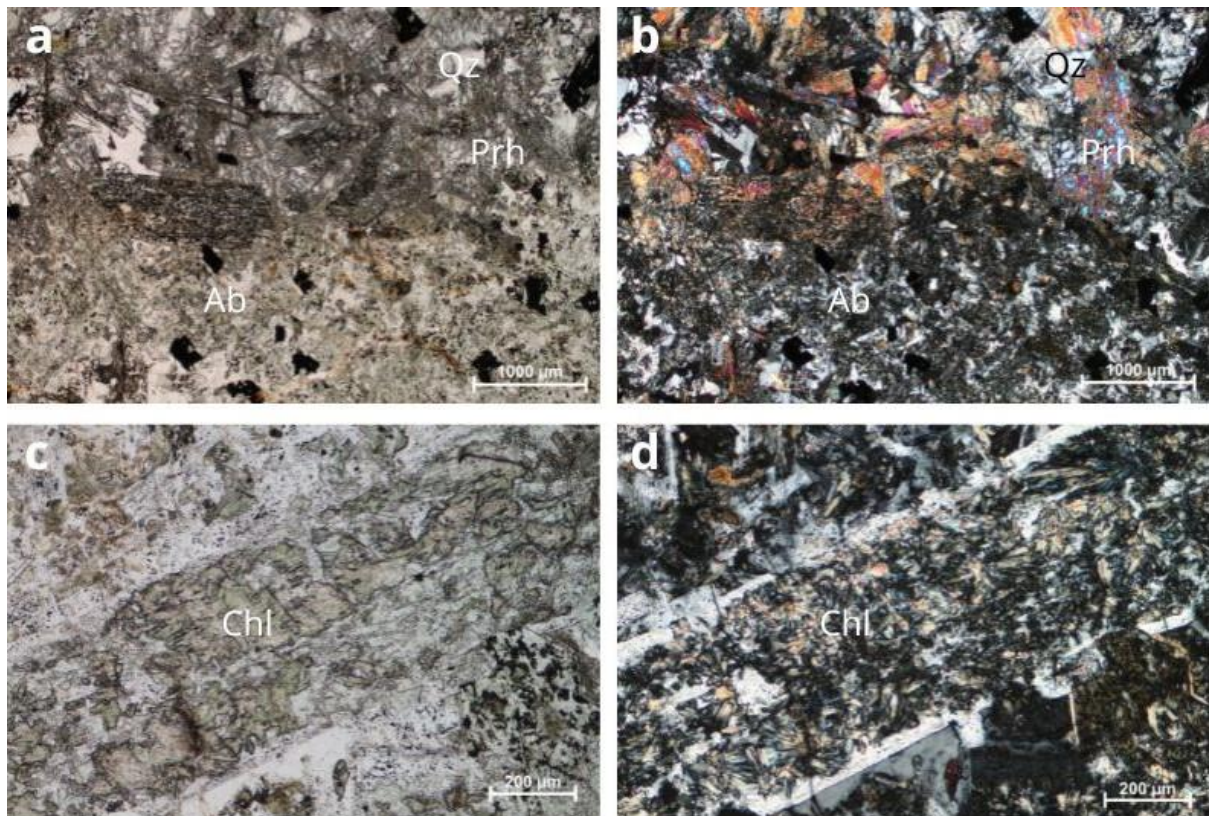
Slika 5. Karakteristične pojave opisane u uzorcima s makroskopski vidljivim produktima alteracija. a) Sericitizacija plagioklasa (PT3), N-; b) isti prizor sericitizacije plagioklasa (PT3), N+; c) oštar kontakt „korice“ epidota sa stijenom (PT3), N-; d) oštar kontakt „korice“ epidota sa stijenom (PT3), N+; e) skeletni rast magnetita (PT3), N-; f) izgled agregata u žili epidota (PT7), N-. Kratice: Ab – albit, Ser – sericit, Ep – epidot, Mag – magnetit.

U preparatu **PT10** uočava se jasan kontakt između dvije alteracijske zone (područja) (slika 6a, b). Razlikuju se makroskopski prvenstveno po boji te će se nadalje i opisivati zasebno kao zelena i ružičasta zona. Tekstura zelene zone je homogena, a struktura hipokristalina ofitska, dok je u ružičastoj zoni tekstura također homogena, ali struktura zrata. Radi se o izdvojenom kontaktu alteracija unutar spilitiziranog dijabaza.

Mineralni sastav zelene zone čine: plagioklasi (50 %), klorit (20 %), epidot (15 %) i amfiboli (15 %) te akcesorni zoisit i opáki minerali. Plagioklasi čine hipidiomorfne štapiće. Vidljive su polisintetske sraslačke lamele. Na štapićima se opažaju alteracije, točnije sericitizacija i kloritizacija (slika 6c, d). Klorit se javlja unutar devitrificiranih džepića i kao sekundarna alteracija na amfibolima ili potpuna pseudomorfoza po amfibolu. Interferencijska boja je pretežito siva I. reda, u devitrificiranim džepićima ponegdje i anomalno plava (cf. slika 4b). Epidot dolazi kao alotriomorfna zrna u vidu agregata i u devitrificiranim džepićima u agregatu s kloritom. Ima visok pozitivan reljef. Zelene je boje i pokazuje žuto-zeleni pleokroizam. Interferira u živim bojama, do žute boje III. reda. Mjestimično se uz epidot može uočiti i akcesoran zoisit. Amfiboli su alotriomorfni do hipidiomorfni štapići. Vidljivi su i idiomorfni poprečni presjeci. Zelene su boje, umjereno visokog reljefa. Pokazuju svijetlo do tamno zeleni pleokroizam, a interferencijske boje su do žute II. reda. Neka zrna su kloritizirana, a neka potpuno pseudomorfozirana. Radi se o amfibolima tremolitno-aktinolitnog niza.

Unutar ružičaste zone mineralni sastav čine: skapolit (30 %), prehnit (30 %), epidot (20 %), amfiboli (10 %) i kvarc (10 %). Skapolit predstavljaju trošna alotriomorfna zrna. Bezbojna su i imaju nizak pozitivan reljef. Interferiraju u sivoj boji I. reda. Prehnit tvori štapićaste agregate. Bezbojan je, visokog pozitivnog reljefa. Interferira u živim bojama, do ljubičastoplave boje III. reda. Najviše ga se nalazi na kontaktu između dvije zone. Epidot se javlja kao alotriomorfna zrna. Ima visok pozitivan reljef. Zelene je boje i pokazuje zeleno-žuti pleokroizam. Interferencijske boje su žive, do žute III. reda. Amfiboli su prisutni kao raspucana alotriomorfna zrna. Bezbojni su i imaju umjereno visok pozitivan reljef. Interferiraju u žutoj boji II. reda. Radi se o amfibolima tremolitno-aktinolitnog niza. Kvarc čine bezbojna alotriomorfna zrna, niskog pozitivnog reljefa. Interferira u sivoj boji I. reda. U opisanoj ružičastoj zoni izraziti su procesi skapolitizacije i epidotizacije.

Kontakt između dvije opisane zone je mineraloški gledano oštar. Dok s jedne strane ima puno prehnita, s druge se nalaze kloritizirani plagioklasi. Očituje se razlika u veličini zrna i vidi se jasan prelazak iz zelene sitnije, providne u ružičastu krupniju, manje providnu zonu.



Slika 6. Mikrostrukturne i mineraloške karakteristike uzorka PT10. a) Kontakt zelene (dolje) i makroskopski ružičaste (gore) zone, N-; b) isti motiv kontakta dviju alteracija pri čemu se bolje opažaju glavni minerali koji izgrađuju pojedine zone, N+; c) kloritizacija plagioklasa, N-; d) isti motiv kloritiziranog plagioklasa gdje se bolje opaža rub nekadašnjeg neizmijenjenog zrna i intenzivna izmjena u njegovoj unutrašnjosti; N+. Kratice: Ab – albit, Qz – kvarc, Prh – prehnit, Chl – klorit.

4.1.2. Uzorci bazičnih magmatskih stijena lokaliteta Slane stine

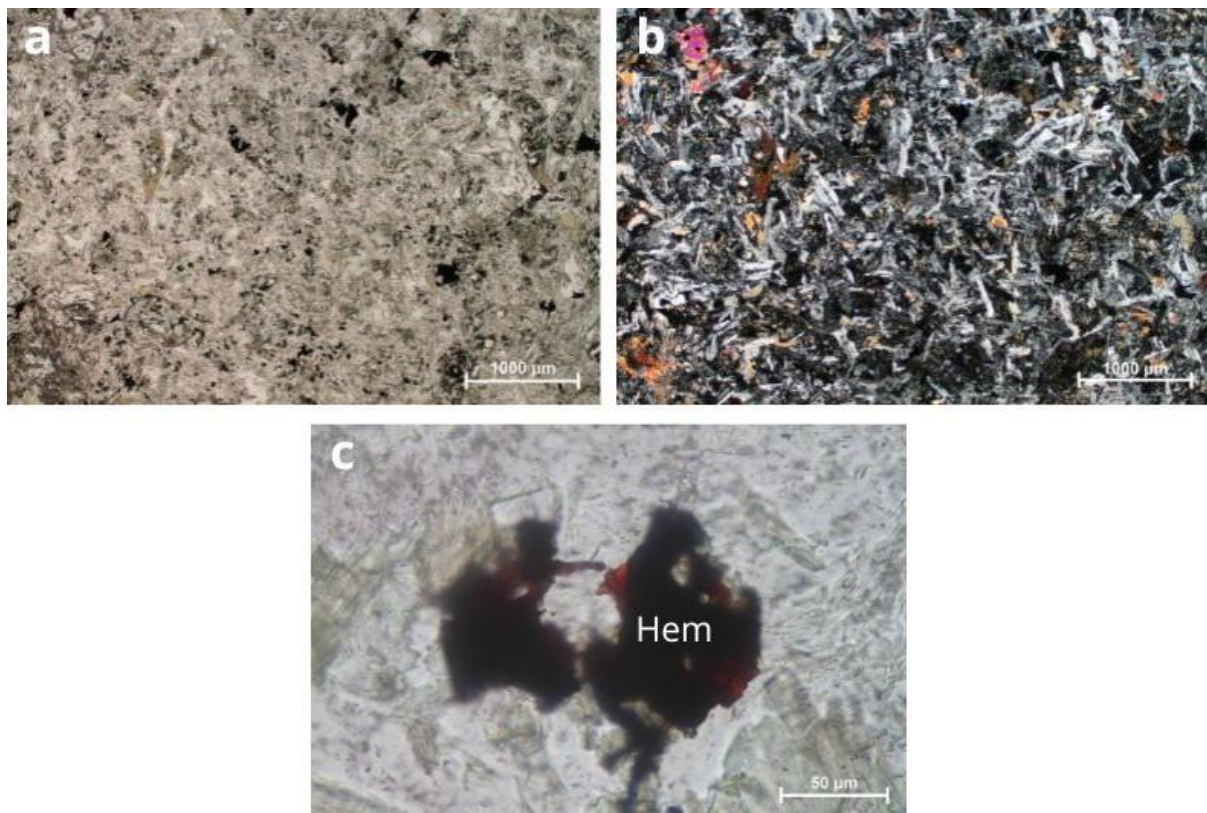
4.1.2.1. Uzorci bez makroskopski vidljivih alteracija

Istraživana magmatska stijena, označena kao **ST1**, makroskopski ne odaje alteracije, a u preparatu pokazuje homogenu teksturu, te hipokristalinu, ofitsku strukturu (cf. slika 7a, b). Prisutni minerali su: plagioklasi (50 %), pirokseni (klinopirokseni 20%, ortopirokseni 10%), klorit (15%) i prehnit (5%), pa se radi o dijabazu sa znatno manje alteracijskih produkata nego na lokalitetu Garjak koji bi se mogao definirati i kao spilitizirani dijabaz.

Plagioklasi su alotriomorfni do hipidiomorfni isprepleteni štapići. Bezbojni su s vidljivim alteracijama (sericitizacija) (cf. slika 5a, b). Većina plagioklasa je u potpunosti alterirana te čini samo nakupine sericita. Rijetki su neizmjenjeni, a kod onih koji nisu u potpunosti izmjenjeni vidi se da se sericit pojavljuje u sredini pa širi prema rubu zrna, odnosno štapića. Pirokseni se prepoznaju kao raspucana alotriomorfna zrna i agregati. Bezbojne su do sivkaste boje, umjereno visokog pozitivnog reljefa. Pukotine i orto- i klinopiroksena ispunjene su agregatom klorita unutar kojeg je i akcesoran epidot. Ortopiroksene od klinopiroksena razlikujemo po tome što su ortopirokseni u ovom uzorku manji fragmenti i po interferencijskoj boji koja je za prve navedene siva I. reda dok je za druge žutonarančasta II. reda. Klorit je zelenkaste boje s blagim pleokroizmom iz svjetlije u tamniju zelenu. Najzastupljeniji je u devitificiranim džepićima gdje mu se pridružuje akcesorni epidot (cf. slika 4a, b), a prisutan je i kao zrakasta zrna i alteracije oko drugih minerala. Mjestimično interferira i u anomalno plavoj boji. Prehnit predstavljaju bezbojna štapićasta zrna koja čine agregat u obliku lepeze (cf. slika 4e, f). Reljef je visok pozitivan, a interferencijska boja ljubičastoplava II. reda. Javlja se mjestimično i to uz plagioklase u dijelovima preparata gdje su oni najintenzivnije alterirani. Od akcesornih minerala prisutan je kalcit, javlja se uz plagioklase; epidot, uz klorit u devitificiranim džepićima; i opaki minerali od kojih su oni veći inicijalno kristalizirali, a oni manji u džepićima s kloritom su produkt alteracije. Svi su oni sekundarnog porijekla.

Tekstura makroskopski naizgled neizmjenjenog preparata **ST4** također je homogena, a struktura hipokristalina, ofitska (slika 7a, b). Mineralni sastav čine: plagioklasi (40 %), amfiboli (20 %), pirokseni (klinopirokseni 13 %, ortopirokseni 7 %), klorit (15 %) i prehnit (5 %), a radi se također o spilitiziranom dijabazu.

Plagioklasi čine mrežu isprepletenih hipidiomorfnih štapića. Vidljive su sraslačke lamele, a prisutne su i sericitizacija i sosiritizacija. Amfiboli su štapićasti i pokazuju pleokroizam iz svijetlo zelene u svijetlo smeđu boju. Imaju visok pozitivan reljef i interferiraju do žutonarančaste boje II. reda. Prisutna je i pseudomorfoza kloritom. Radi se o hornblendi. Pirokseni su raspucana i fragmentirana alotriomorfna zrna. Bezbojno sivkasta, visokog pozitivnog reljefa. Pukotine oba tipa ispunjene su agregatom klorita i epidota. Ortopirokseni interferiraju u sivoj boji I. reda. Klinopirokseni pokazuju blago zelenkasti pleokroizam i interferiraju čak do roze i plave boje II. reda. Klorit se pojavljuje u devitrificiranim džepićima uz prisutnost epidota (cf. slika 4a, b), kao zrakasta zrna, ispunjavajući šupljine raspucanih zrna i kao pseudomorfoza po amfibolu (cf. slika 4c, d). Pokazuje pleokroizam iz svjetlije u tamniju zelenu. Prevladava interferencijska boja od sive do žute II. reda, a mjestimično je i anomalna plava (cf. slika 4b). Prehnit dolazi kao bezbojna zrna. Odskaču po svom visokom pozitivnom reljefu. Interferencijske boje su do ljubičastoplave II. reda. Akcesorni minerali su kalcit, epidot u devitrificiranim džepićima i opaki minerali koji propuštaju crvenu boju (hematit) (slika 7c).



Slika 7. Teksturane, strukturne i mineralne karakteristike uzorka ST4. a) Prikaz homogene teksture i ofitske strukture koji je karakterističan za većinu opisanih uzoraka, N-; b) isti prikaz homogene teksture i ofitske strukture, N+; c) hematit, N-. Kratice: Hem – hematit.

4.1.2.2. Uzorci s makroskopski vidljivim produktima alteracija

Na uzorku stijene **ST2** opažaju se svijetle nakupine. Mikroskopski te nakupine predstavljaju tamnija, odnosno manje providna područja s izraženijim hornblendama gdje je svijetla faza (leukokratski minerali) jače izmijenjena (alterirana). Ovaj uzorak je bitno sitnozrnatiji od prethodno opisanih, ali tekstura je također homogena kao i hipokristalina, ofitska struktura (cf. slika 7a, b). Mineralni sastav čine: plagioklasi (50 %), amfiboli (25 %), klorit (15 %), prehnit (5 %) i kalcit (5 %). Radi se o spilitiziranom dijabazu.

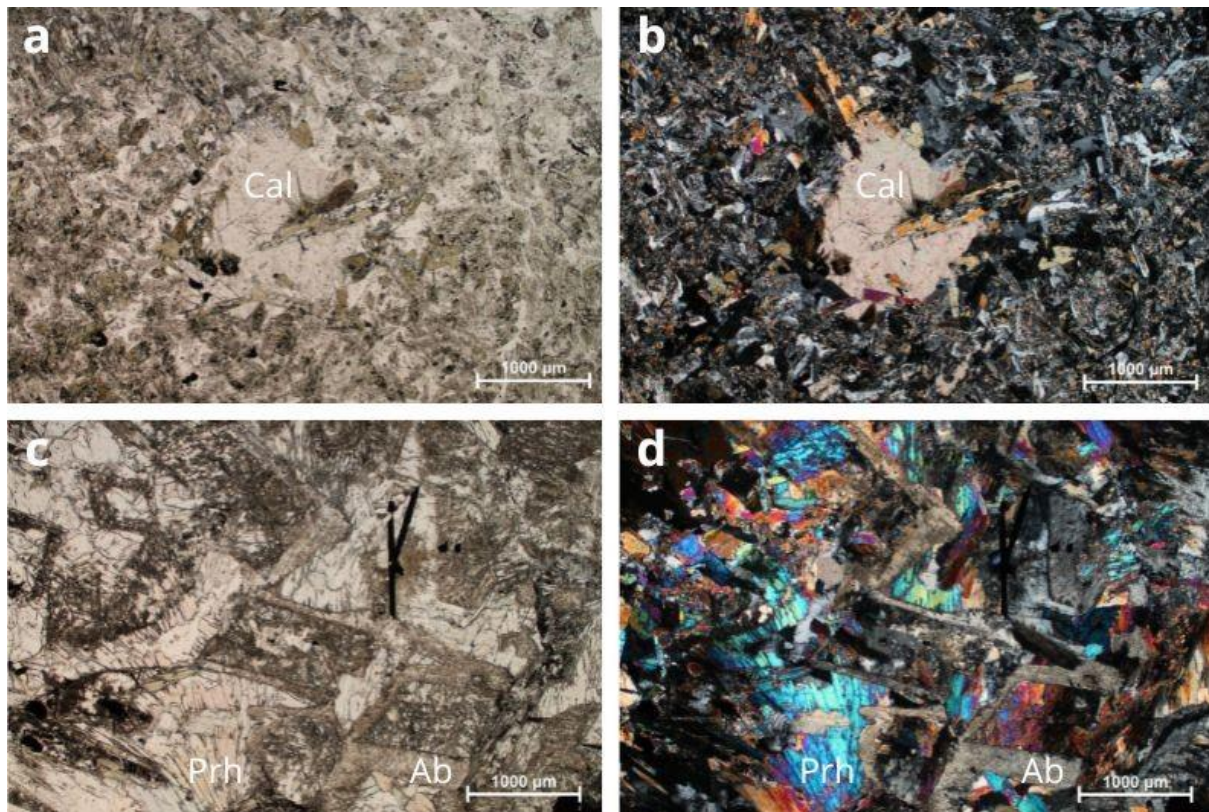
Plagioklasi su sitni štapići kojima se jasno vidi neizmjenjeni vanjski rub, dok je unutrašnjost sericitizirana (cf. slika 5a, b). Vidljive su polisintetske sraslačke lamele, a očita je i zonalnost. Zrna su ne samo sericitizirana već i kloritizirana (cf. slika 6c, d). Ima i onih koji su u potpunosti alterirani te su izgubili svoj habitus. Amfiboli čine alotriomorfna do hipidiomorfna zrna, zelenkasto-smeđeg pleokorizma. Vidljivi su i poprečni presjeci s karakterističnim kalavostima. Reljef je umjereno visok pozitivan, a interferencijske boje idu do žute II. reda. Neki su kloritizirani i pseudomorfozirani. Radi se o hornblendi. Klorit se javlja najviše unutar devitificiranih džepića (cf. slika 4a, b) i to u središtu preparata, ali ima i radijalno zrakastih zrna i pseudomorfoza po amfibolu (cf. slika 4c, d). Pokazuje pleokroizam iz svjetlije zelene u tamniju zelenu boju. Reljef je nizak pozitivan. Interferencijska boja je siva do žuta I. reda. Prehnit su bezbojna zrna ili povezani štapići visokog reljefa. Interferira u ljubičastoplavoj boji II. reda. Javlja se mjestimično, a na jednom dijelu je u oštrom kontaktu s pojedinačnim zrnima kalcita. Kalcit čine bezbojna zrna s dva sustava kalavosti. Reljef je umjeren negativan. Nailazi se rijetko na džepiće ispunjene kalcitom (slika 8a, b).

U preparatu **ST3** opažaju se dva područja različitih karakteristika. Prvi dio je neizmjenjen, dok drugi pokazuje značajne tragove alteracija i makroskopski se opaža kao bijelo rozo kružno tijelo milimetarskih dimenzija. Tekstura ovog uzorka je homogena, a struktura hipokristalina, ofitska (cf. slika 7a, b). Mineralni sastav čine: plagioklasi (40 %), pirokseni (od kojih klinopirokseni 17 %, ortopirokseni 8 %), klorit (15 %), amfiboli (10 %), prehnit (10 %) i akcesorni minerali (kalcit, epidot i opaki minerali). Radi se o spilitiziranom dijabazu.

Plagioklasi se javljaju kao alotriomorfni do hipidiomorfni bezbojni štapići. Vidljive su polisintetske sraslačke lamele, a većina zrna je alterirana što se opaža kao sericitizacija (cf. slika 5a, b). Alteracije započinju od sredine zrna prema vanjskom rubu, a većina plagioklasa

je u potpunosti alterirana te više ne posjeduje svoj primarni habitus nego čini nakupinu sericita. Pirokseni se javljaju kao raspucana alotriomorfna zrna, uglavnom bezbojna do slabo sivkasto obojena. Reljef im je visok pozitivan. Ortopirokseni interferiraju u sivoj boji I. reda i imaju paralelno potamnjene, dok interferencijska boja klinopiroksena seže do žutonarančaste II. reda i imaju koso potamnjene. Na temelju slabe procjene kuteva potamnjena (21° , 22° , 25°) zaključuje se da se radi o diopsidu. Unutar pukotina pojedinih zrna klinopiroksena uočava se i klorit. Klorit se javlja dominantno kao sekundarni mineral. Nastaje unutar devitrificiranih džepića gdje su prisutna i sitna zrna epidota. Uz to, ispunjava pukotine drugih minerala. Može biti u zrakastim agregatima ili hipidiomorfan gdje se radi o pseudomorfozi po amfibolu. Pokazuje tipičan pleokroizam iz svjetlije u tamniju zelenu. Interferencijska boja je siva do žuta I. reda, a mjestimično i anomalna indigo plava. Amfiboli su igličasti, visokog reljefa i blago zelenkaste boje sa slabim pleokroizmom iz svjetlije u tamniju zelenu. Vidljivi su i poprečni presjeci. Interferencijske boje su do žute II. reda. Neka zrna su kloritizirana, a neka čak i pseudomorfozirana kloritom. Radi se o amfibolima tremolitno-aktinolitnog niza. Prehnit se pojavljuje kao agregati u obliku lepeze. Bezbojni su i visokog pozitivnog reljefa. Interferencijske boje su žive, do ljubičastoplave II. reda. Javljaju se na kontaktu s izmjenjenim dijelom stijene i ispunjavaju plagioklase unutar te zone kao da su u kalupu, pri čemu se jasno vidi ostatak plagioklasa koji je još uvijek prisutan na vanjskim rubovima zrna (slika 8c, d). Od akcesornih minerala prisutni su kalcit, epidot koji se javlja uz klorit u devitrificiranim džepićima i opaki minerali koji se ponegdje opažaju kao nepravilna zrna sa crvenkastim rubovima što upućuje na hematit (cf. slika 7c).

Na samom uzorku stijene iz koje je izrađen preparat su makroskopski vidljive alterirane zone. To su kružna tijela milimetarskih dimenzija bijelo-ružičaste boje. Mikroskopski se kontakt između neizmjenjenog i izmjenjenog dijela stijene mineraloški jasno očituje. Ima dosta prehnita na kontaktu, a unutar zone prevladavaju plagioklasi koji su alterirani i ispunjavaju ih hipidiomorfna zrna prehnita i klinopiroksena. Unutar izmjenjene zone plagioklasi su većinom kloritizirani, a manje sericitizirani.



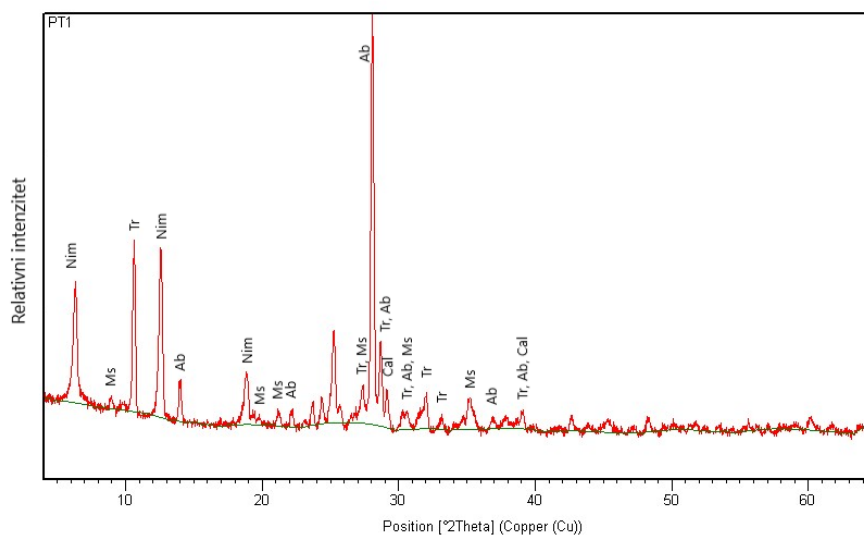
Slika 8. Nekoliko primjera sekundarnih minerala u uzorcima s lokaliteta Slane stine. a) Džepić kalcita (ST2), N-; b) isti motiv džepića kalcita (ST2), N+; c) plagioklasi ispunjeni zrnima prehnita (ST3), N-; d) isti motiv plagioklasi ispunjenih zrnima prehnita (ST3), N+. Kratice: Cal – kalcit, Prh – prehnit, Ab – albit.

4.2. Rezultati difrakcije rendgenskih zraka na prahu (XRPD)

Rezultati difrakcije rendgenskih zraka na prahu prikazani su difraktogramima na slikama 9 do 21. Dobiveni su podatci prisutnih mineralnih faza (kvalitativna analiza). Izdvojeno je 13 reprezentativnih difraktograma različitih uzoraka koji pokazuju mineralni sastav cjelovitih uzoraka, alteracijskih produkata i pojedinačnih minerala. Na većini difrakcijskih maksimuma navedene su kratice minerala prema WARR (2021).

Uzorak PT1

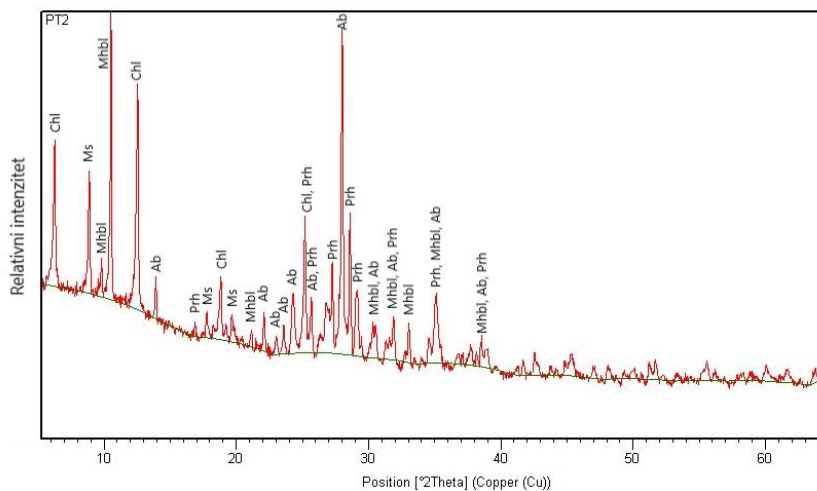
Interpretacijom dobivenog difraktograma cijelostijenskog uzorka osnovne stijene (slika 3b) utvrđeno je prisutstvo albita, tremolita, nimita, kalcita i muskovita (slika 9).



Slika 9. Difraktogram uzorka PT1. Kratice: Nim – nimit, Ms – muskovit, Tr – tremolit, Ab – albit, Cal – kalcit.

Uzorak PT2

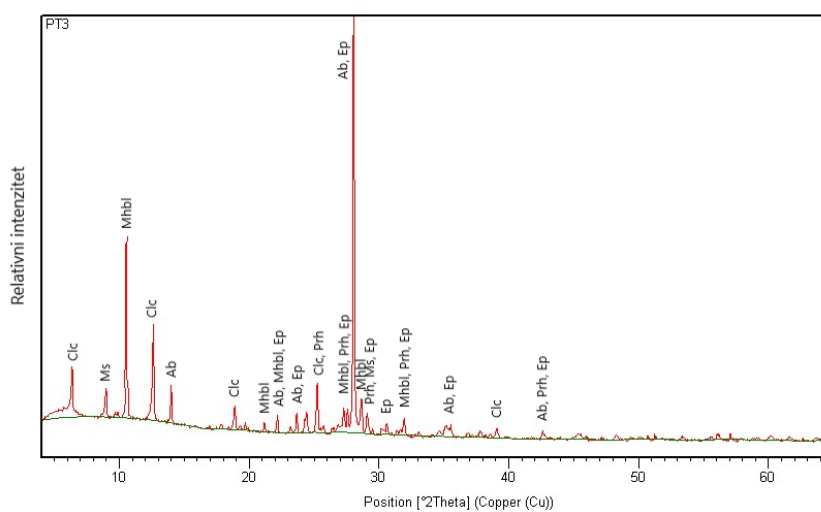
Interpretacijom dobivenog difraktograma cijelostijenskog uzorka osnovne stijene utvrđeno je prisutstvo albita, magneziohornblende, klorita, prehnita i muskovita (slika 10).



Slika 10. Difraktogram uzorka PT2. Kratice: Chl – klorit, Ms – muskovit, Mhbl – magneziohornblenda, Ab – albit, Prh – prehnit.

Uzorak PT3

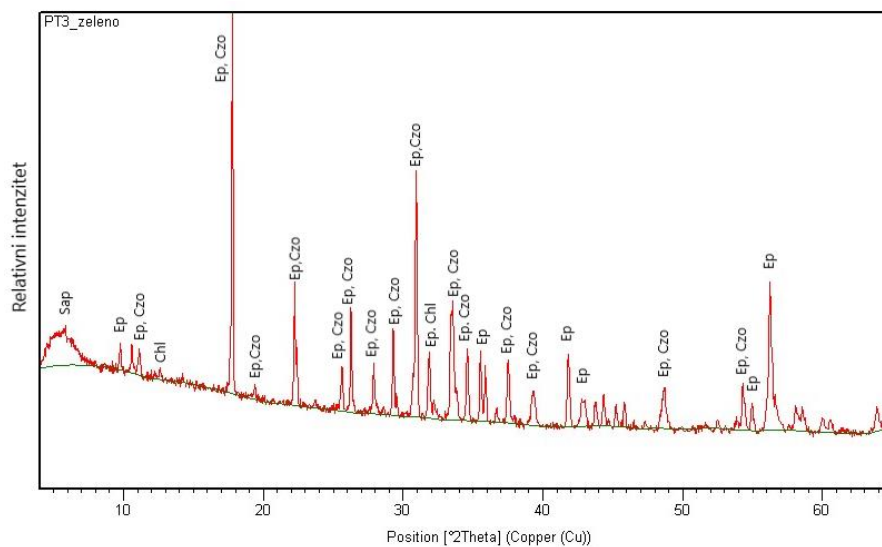
Interpretacijom dobivenog difraktograma cijelostijenskog uzorka, na kojem su makroskopski bile vidljive zelene alteracije (slika 3d), utvrđeno je prisutstvo albita, magneziohornblende, epidota, klinoklora, prehnita i muskovita (slika 11).



Slika 11. Difraktogram uzorka PT3. Kratice: Clc – klinoklor, Ms – muskovit, Mhbl – magneziohornblenda, Ab – albit, Ep – epidot, Prh – prehnit.

Uzorak PT3_zeleno

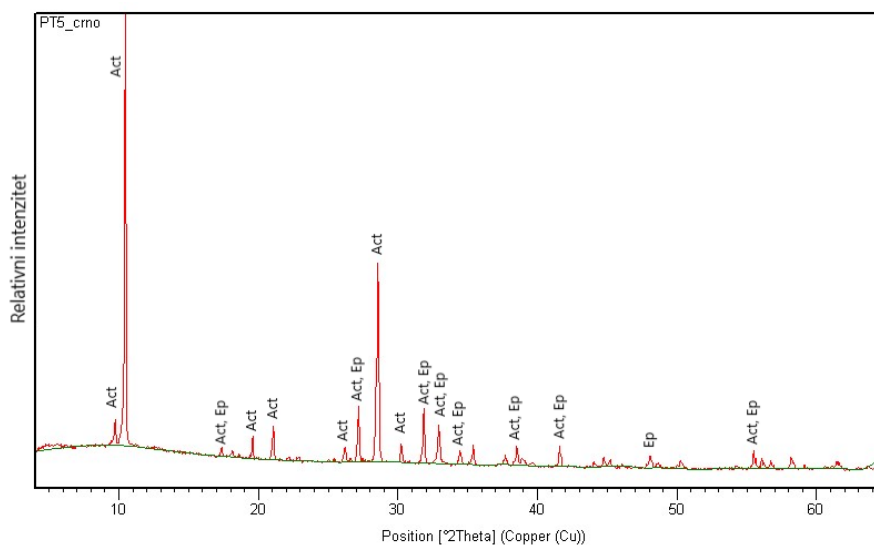
Interpretacijom dobivenog difraktograma izdvojene zelene mineralne „korice“ utvrđeno je prisustvo epidota, klinzoisita, klorita i saponita (slika 12).



Slika 12. Difraktogram uzorka PT3_zeleno, izdvojena zelena mineralna „korica“. Kratice: Sap – saponit, Ep – epidot, Czo – klinzoisit, Chl – klorit.

Uzorak PT5

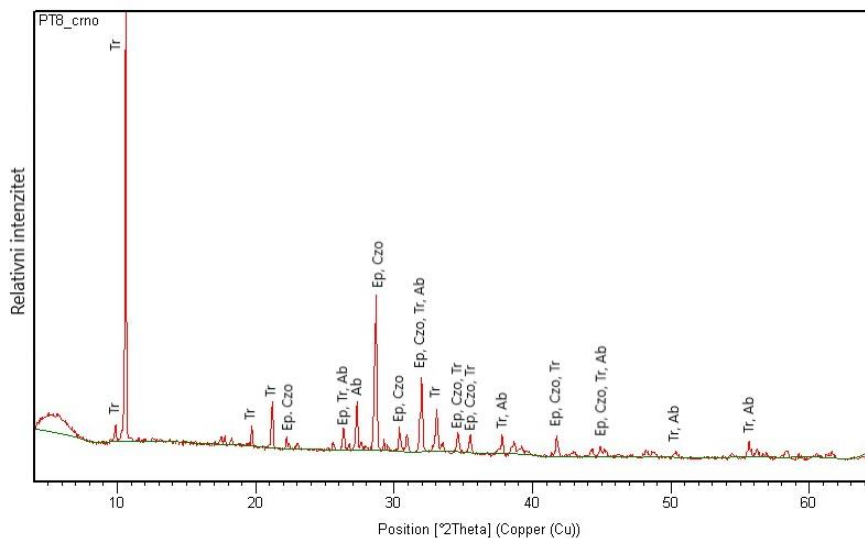
Interpretacijom dobivenog difraktograma izdvojenih samostalnih kristala utvrđeno je prisustvo minerala epidota i aktinolita (slika 13).



Slika 13. Difraktogram uzorka PT5, izdvojeni kristali. Kratice: Act – aktinolit, Ep – epidot.

Uzorak PT8

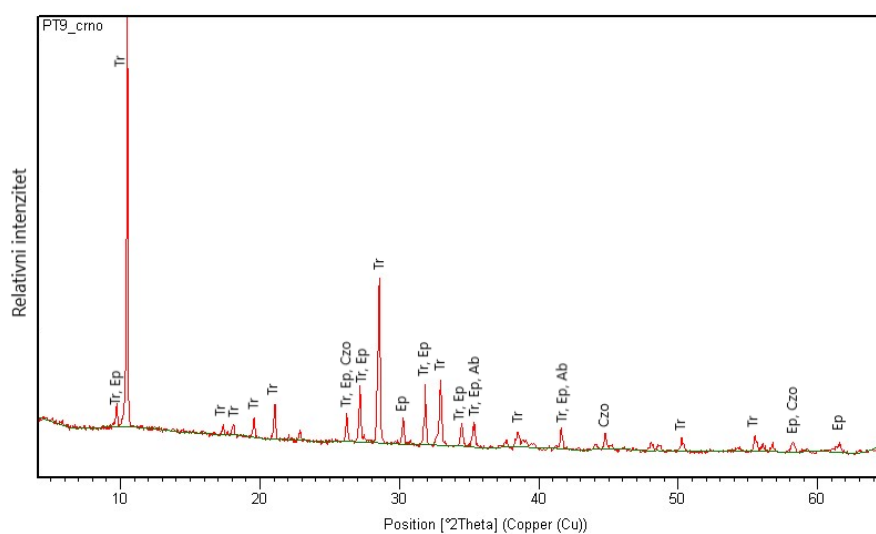
Interpretacijom dobivenog difraktograma izdvojenih samostalnih kristala utvrđeno je prisutstvo epidota, klinzoisita, tremolita i albita (slika 14).



Slika 14. Difraktogram uzorka PT8, izdvojeni kristali. Kratice: Tr – tremolit, Ep – epidot, Czo – klinzoisit, Ab – albit.

Uzorak PT9

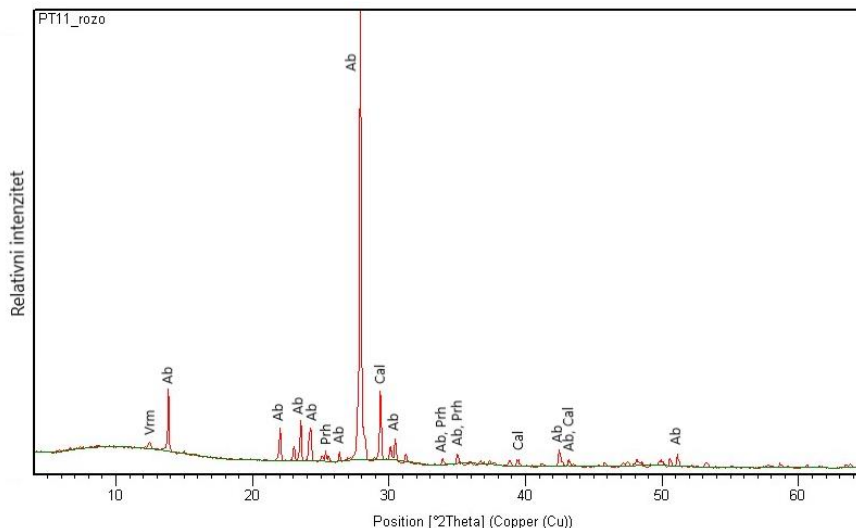
Interpretacijom dobivenog difraktograma izdvojenih samostalnih kristala utvrđeno je prisutstvo epidota, klinzoisita, tremolita i albita (slika 15).



Slika 15. Difraktogram uzorka PT9, izdvojeni kristali. Kratice: Tr – tremolit, Ep – epidot, Czo – klinzoisit, Ab – albit.

Uzorak PT11_rozo

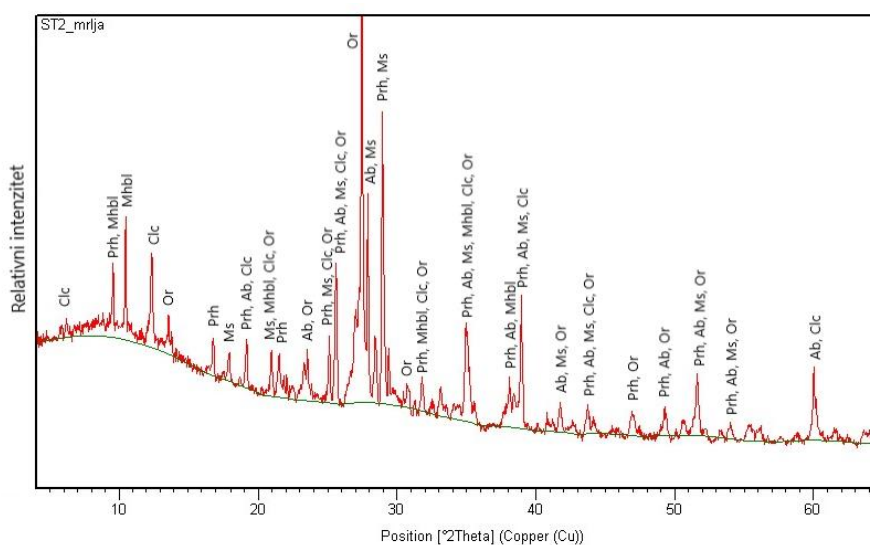
Interpretacijom dobivenog difraktograma izdvojene ružičaste alteracije (slika 3c) utvrđeno je prisutstvo albita, prehnita, kalcita i vermikulita (slika 18).



Slika 18. Difraktogram uzorka PT11_rozo, izdvojena ružičasta alteracija. Kratice: Vrm – vermikulit, Ab – albit, Prh – prehnit, Cal – kalcit.

Uzorak ST2_mrlja

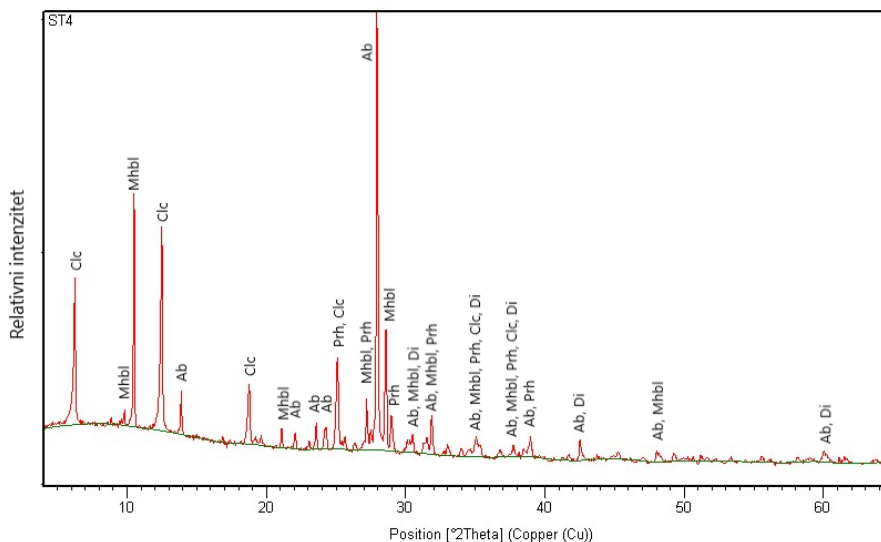
Interpretacijom dobivenog difraktograma izdvojene svijetle mrljice utvrđeno je prisutstvo prehnita, albita, ortoklasa, magneziohornblende, klinoklora i muskovita (slika 19).



Slika 19. Difraktogram uzorka ST2_mrlja, izdvojena svijetla mrljica. Kratice: Clc – klinoklor, Prh – prehnit, Mhbl – magneziohornblenda, Ms – muskovit, Ab – albit, Or – ortoklasa.

Uzorak ST4

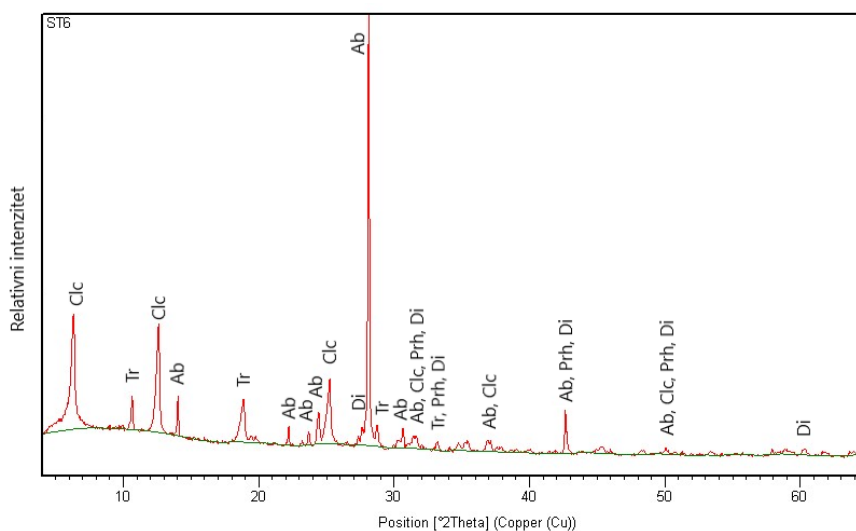
Interpretacijom dobivenog difraktograma cijelostijenskog uzorka osnovne stijene utvrđeno je prisutstvo albita, magneziohornblende, diopsida, prehnita i klorita (slika 20).



Slika 20. Difraktogram uzorka ST4. Kratice: Clc – klinoklor, Mhbl – magneziohornblenda, Ab – albit, Prh – prehnit, Di – diopsid.

Uzorak ST6

Interpretacijom dobivenog difraktograma cijelostijenskog uzorka osnovne stijene utvrđeno je prisutstvo albita, tremolita, diopsida, klinoklora i prehnita (slika 21).



Slika 21. Difraktogram uzorka ST6. Kratice: Clc – klinoklor, Tr – tremolit, Ab – albit, Prh – prehnit, Di – diopsid.

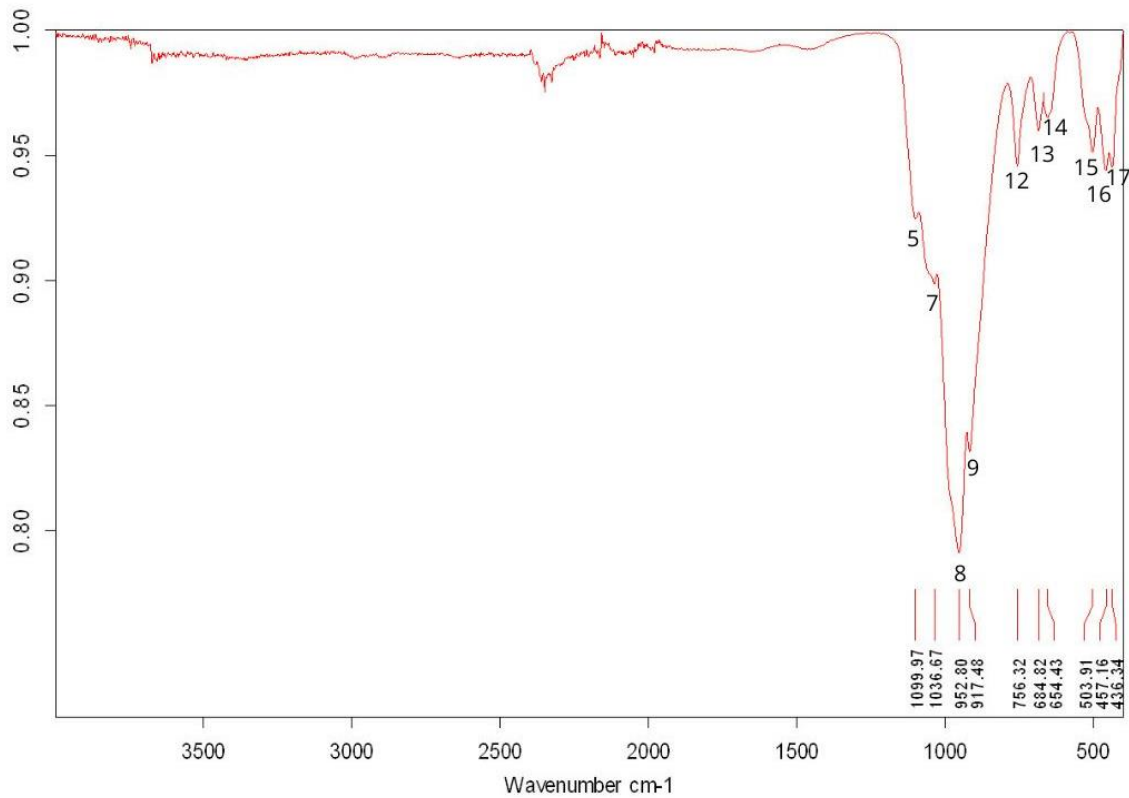
4.3. Rezultati infracrvene spektroskopije

Infracrvenom spektroskopijom analizirana su četiri uzorka. Izdvojen je epidot iz različitih uzoraka stijena s ciljem utvrđivanja razlike među njima. Analizirani su kristali epidota iz uzoraka stijena PT5, PT8, PT9 i žila epidota uzorka PT7. Razlikuju se već makroskopski po boji koja je za prva tri navedena tamno zelena, na prvi pogled bi se moglo reći i crna, dok je za epidot iz žile to svijetlo zelena boja, odnosno boja pistacije prema kojoj se nekada i nazivao pistacit (cf. slika 3d). Rezultati analize infracrvene spektroskopije s Fourierovom transformacijom prikazani su spektrima s numeriranim očitanim vibracijskim vrpčama (slika 22 – 25) i pripadajućom tablicom u kojoj su za pojedinu vrpču navedeni valni broj (cm^{-1}) i vrsta vibracije (tablica 2).

Vibracijske vrpce najučestalije su u području „otiska prsta“ (valni brojevi manji od 1300 cm^{-1}). Od značajnijih vrpci na većim valnim brojevima je vrpča pod rednim brojem 1 uzorka PT7 na 3354 cm^{-1} koja predstavlja položaj vibracije OH skupine (slika 23). Vibracijske vrpce OH skupine pojavljuju se uglavnom u rasponu između 3330 i 3380 cm^{-1} (LIEBSCHER & FRANZ, 2004). Na uzorcima je prisutno desetak relativno sličnih vrpci u području „otiska prsta“ s nekim odstupanjima ponajviše na uzorku žile PT7 koja jedina sadrži očitane vrpce OH skupine. Radi lakše predodžbe i usporedbe prikazani su i usporedni spektri uzoraka PT5 (crveno) i PT7 (plavo) (slika 26).

Uzorak PT5

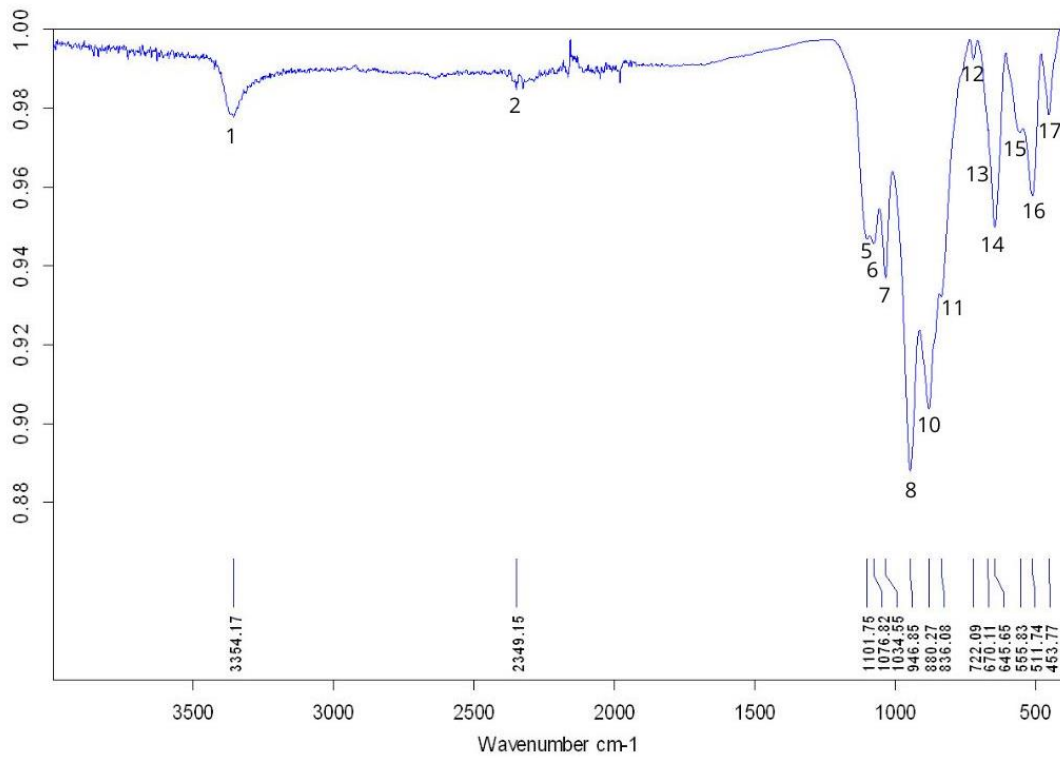
Interpretacijom infracrvenog spektra izdvojenih samostalnih kristala iz stijene očitane su vibracijske vrpce koje odgovaraju mineralu epidotu uz nedostatak vrpce vibracije OH skupine (slika 22, tablica 2). Na $\sim 2300\text{ cm}^{-1}$ spektroskop nije očitao vrpce, no primjećuje se prisutnost CO_2 .



Slika 22. IR spektar uzorka PT5.

Uzorak PT7

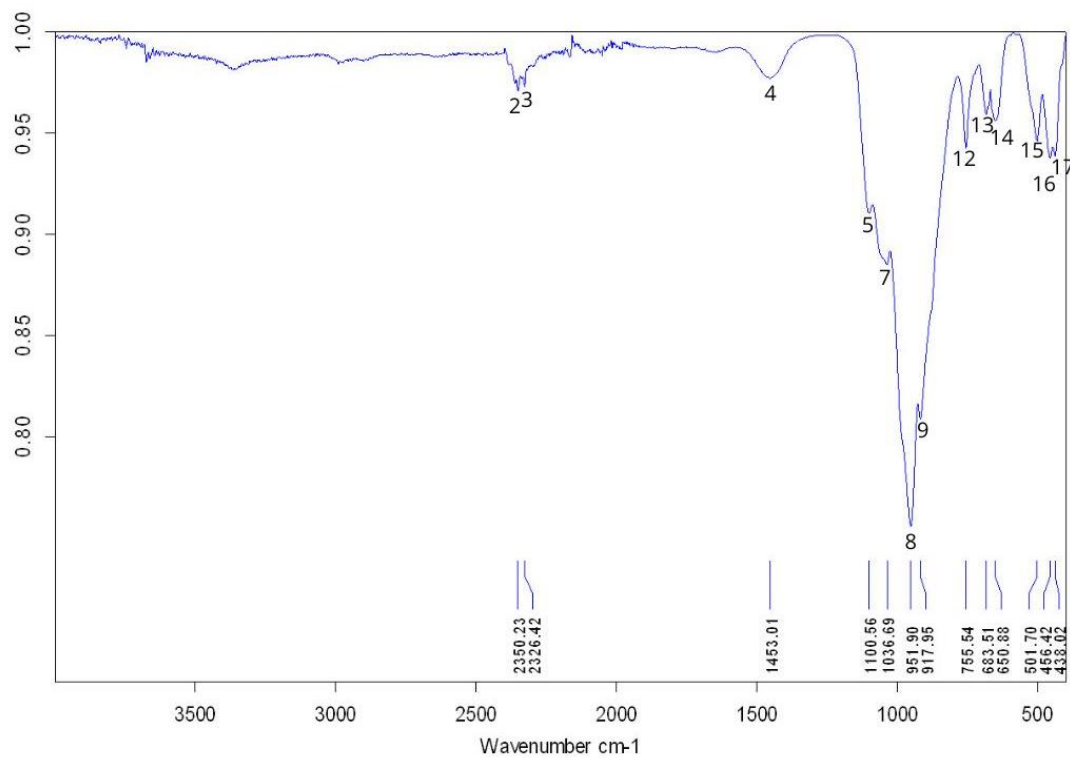
Interpretacijom infracrvenog spektra izdvojenih samostalnih kristala iz žile očitane su vibracijske vrpce koje odgovaraju mineralu epidotu uz prisutstvo CO₂ na vrpci 2 (slika 23, tablica 2).



Slika 23. IR spektar uzorka PT7.

Uzorak PT8

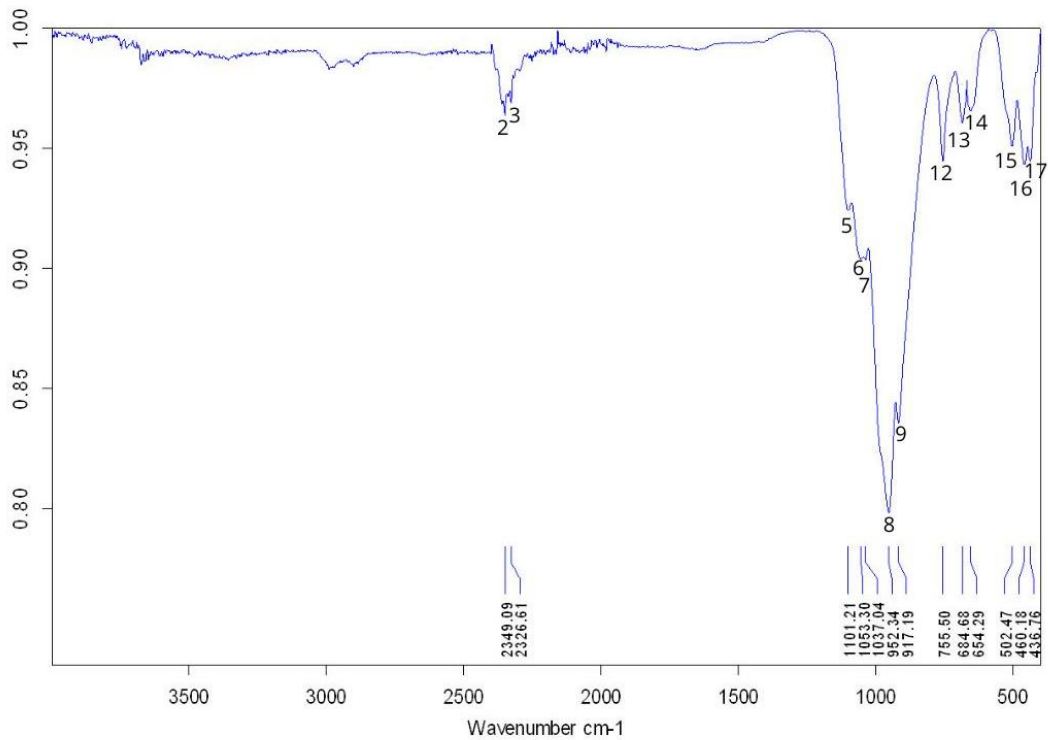
Interpretacijom infracrvenog spektra izdvojenih samostalnih kristala iz stijene očitane su vibracijske vrpce koje odgovaraju mineralu epidotu (slika 24, tablica 2). Vrpca vibracije OH skupine nije očitana, ali nazire se na $\sim 3350\text{ cm}^{-1}$. Na vrpca 2, 3 i 4 prisutan je CO_2 .



Slika 24. IR spektar uzorka PT8.

Uzorak PT9

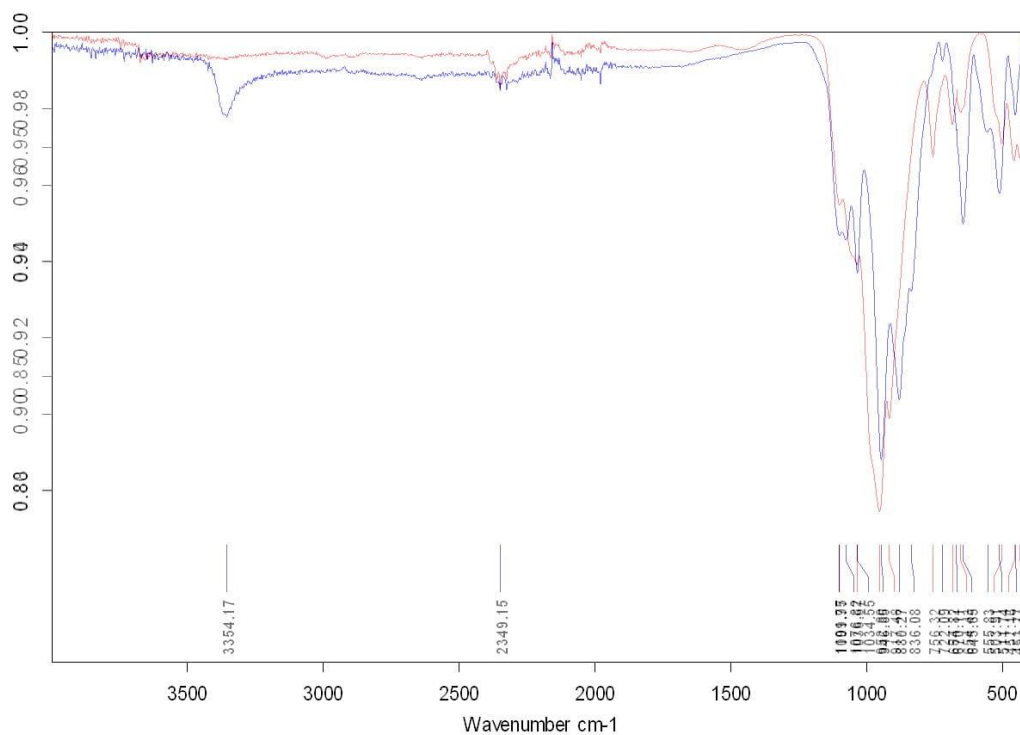
Interpretacijom infracrvenog spektra izdvojenih samostalnih kristala iz stijene očitane su vibracijske vrpce koje odgovaraju mineralu epidotu (slika 25, tablica 2). Vrpca vibracije OH skupine nije očitana, ali nazire se na $\sim 3000\text{ cm}^{-1}$. Na vrpca 2 i 3 prisutan je CO_2 .



Slika 25. IR spektar uzorka PT9.

Uzorci PT5 i PT7

Usporedni IR spektar uzoraka PT5 i PT7 pokazuje odstupanja vibracijskih vrpce (slika 26). Ono se najviše očituje na položaju vibracije OH skupine (3354 cm^{-1}) koja je prisutna u uzorku PT7 (plavo), dok nedostaje u uzorku PT5 (crveno), a na spektrima uzoraka PT8 (slika 24) i PT9 (slika 25) nije očitana, ali se nazire.



Slika 26. Usporedni IR spektri uzoraka PT5 (crveno) i PT7 (plavo).

Tablica 2. Usporedni podatci IR vrpce za uzorke PT5, PT7, PT8 i PT9.

Redni broj	Valni broj (cm ⁻¹)				Vibracija
	PT5	PT7	PT8	PT9	
1		3354,17			OH
2		2349,15	2350,23	2349,09	CO ₂
3			2326,42	2326,61	CO ₂
4			1453,01		CO ₂
5	1099,97	1101,75	1100,56	1101,21	Si-O
6		1076,82		1053,30	
7	1036,67	1034,55	1036,69	1037,04	
8	952,80	946,85	951,90	952,34	
9	917,48		917,95	917,19	
10		880,27			
11		836,08			
12	756,32	722,09	755,54	755,50	M-O
13	684,82	670,11	683,51	684,68	Si-O
14	654,43	645,65	650,88	654,29	
15	503,91	555,83	501,70	502,47	M-O
16	457,16	511,74	456,42	460,18	
17	436,34	453,77	438,02	436,76	

5. Rasprava

5.1. Karakterizacija primarne mineralne zajednice i alteracijskih produkata

Optičko istraživanje provodilo se na šest uzoraka s lokaliteta Garjak. Proučavano je pet uzoraka osnovne stijene s više ili manje makroskopski vidljivim alteracijama (PT1, PT2, PT3, PT4, PT7) (cf. slika 3b) i izdvojeni kontakt dviju alteracijskih zona (PT10) (slika 6a, b). Sudeći po navedenim i prethodno opisanim karakteristikama istraživanih stijena radi se o osnovnoj stijeni dijabazu unutar kojeg su prisutne određene alteracije. To nam potvrđuje ofitska struktura (slika 7a, b) koju čini mreža isprepletenih štapića plagioklasa između kojih se nalaze zrna piroksena i/ili amfibola. Plagioklasi su u svim uzorcima izrazito alterirani, a ističu se procesi sericitizacije (slika 5a, b) i kloritizacije (slika 6c, d). Dok su pirokseni na ovom lokalitetu prisutni samo u uzorku PT4, amfiboli se nalaze u svim navedenim uzorcima. Pretežito se opaža hornblenda, a rjeđe su to amfiboli tremolitno-aktinolitnog niza. S obzirom na ostale prisutne minerale (epidot, prehnit, kalcit, klorit) zaključeno je da su ovi spilitizirani dijabazi prošli kroz alteracijske procese epidotizacije, prehnitizacije i kalcitizacije te već navedene sericitizacije i kloritizacije.

Rendgenskom difrakcijom na prahu potvrđeni su mineralni sastavi uzoraka osnovnih stijena zabilježeni optičkim istraživanjem. Za lokalitet Garjak izdvojeni su difraktogrami osnovne stijene uzoraka PT1 (slika 9), PT2 (slika 10) i PT3 (slika 11). Svaki od navedenih sastoji se od plagioklasa albita, amfibola tremolita (PT1) ili hornblende (PT2, PT3), minerala iz grupe klorita te muskovita. Razlikuju se po prisutnosti sekundarnih minerala. Epidot je optički zapažen u sva tri uzorka, dok je rendgenskom difrakcijom dokazan jedino u uzorku PT3. Postoji mogućnost da on izostaje u dijelu uzorka koji je zahvaćen za izradu praha s obzirom na to da je sekundaran i prisutan u manjim količinama, ili se difrakcijski maksimumi epidota preklapaju s difrakcijskim maksimumima ostalih mineralnih faza. Nasuprot tome, prehnit optički nije zapažen, ali je utvrđen na difraktogramima uzoraka PT2 i PT3. Na difraktogramu uzorka PT1 zabilježena je i prisutnost kalcita.

S lokaliteta Slane stine optički su istraživana četiri uzorka osnovne stijene s mjestimično makroskopski vidljivim alteracijama (ST1, ST2, ST3, ST4). Također se radi o osnovnoj stijeni dijabazu s karakterističnom ofitskom strukturom (slika 7a, b). Plagioklasi su većinom zahvaćeni alteracijama (sericitizacijom i kloritizacijom). Pirokseni su prisutni u

svim uzorcima osim u ST2, a u uzorku ST3 je utvrđeno da se radi o klinopiroksenu diopsidu. Amfiboli izostaju u uzorku ST1, dok su u ostalima interpretirani kao hornblenda, odnosno kao pripadnici tremolitno-aktinolitnog niza u uzorku ST3. Od alteracijskih procesa izražene su sericitizacija, prehnitizacija i kloritizacija te u manjoj mjeri kalcitizacija.

Za lokalitet Slane stine izdvojena su dva difraktograma osnovne stijene uzoraka ST4 (slika 20) i ST6 (slika 21). Mineralni sastav uzorka ST4 dobiven rendgenskom difrakcijom na prahu odgovara onom zabilježenom optičkim istraživanjem. Na uzorku ST6 nije se vršilo optičko istraživanje, no mineralni sastav utvrđen difraktogramom odgovara uzorku ST4. Dakle, osnovne stijene Slanih stina sastoje se od albita, amfibola (hornlenda – ST4, tremolit – ST6), diopsida, minerala iz grupe klorita (klinoklor) te prehnita.

Prikazani su reprezentativni difraktogrami alteracija. Za lokalitet Garjak se one makroskopski očituju u vidu promjene boje te su prikazane analizirane alteracije uzoraka PT10_zeleno (slika 16), PT11_bijelo (slika 17) i PT11_rozo (slika 18), dok se na uzorcima lokaliteta Slane stine alteracije očituju kao svijetle mrljice predstavljene difraktogramom ST2_mrlja (slika 19). Zelena alteracija sastoji se od minerala iz grupe klorita (klinoklor), albita, epidota i magnezioriebeckita iz čega se može zaključiti da se radi o alteracijskim procesima albitizacije te kloritizacije i epidotizacije koji daju karakterističnu zelenu boju. Bijela alteracija sastavljena je od albita i kalcita stoga se radi o alteracijskim procesima albitizaciji i kalcitizaciji. Ružičasta alteracija predstavljena je albitom, prehnitom, kalcitom te mineralom glina vermikulitom. Oni upućuju na alteracijske procese poput albitizacije, prehnitizacije i kalcitizacije. Svijetlu mrljicu s uzoraka Slanih stina bilo je teže zasebno izdvojiti te je difraktogram pokazao da su u njoj prisutni albit, ortoklas, klinoklor, muskovit, prehnit i hornblenda.

Rendgenskoj difrakciji na prahu podvrgnuti su i zasebno izdvojeni samostalni kristali koji su optičkim istraživanjem identificirani kao epidot. Takvi su prisutni samo na uzorcima lokaliteta Garjak. Utvrđeno je da se uzorak PT3_zeleno (slika 12), koji je izdvojen iz zelene „korice“, sastoji od epidota, klinozoisita, klorita i saponita. Taj sastav odgovara i zelenoj žili uzorka PT7. Difraktogram uzorka PT5 (slika 13), samostalnog kristala koji je rastao u stijeni, pokazuje sastav epidota i aktinolita. Uzorci PT8 (slika 14) i PT9 (slika 15), također samostalni kristali u stijeni, sastavljeni su od epidota, klinozoisita, tremolita i albita. Ističe se

dakle mineral koji je rastao u „korici“, odnosno žili jer se u njemu ne opaža prisutstvo amfibola.

Na zasebno izdvojenim kristalima provodila se i metoda infracrvene spektroskopije. Vibracijske vrpce na infracrvenim spektrima epidota pojavljuju se pretežito u području „otiska prsta“ ($< 1300 \text{ cm}^{-1}$). Vrpca 8 s najvećim relativnim intenzitetom nalazi se na svim analiziranim uzorcima na valnom broju $\sim 950 \text{ cm}^{-1}$. Na njoj u vidu „ramena“ dolaze dvije do tri vrpce na većim valnim brojevima te jedna do dvije na manjim valnim brojevima. Do sada nije izvršena stroga podjela vibracijskih vrpce epidota, no neke vrpce pripisuju se pojedinim vibracijama (LIEBSCHER & FRANZ, 2004). Pa tako spomenuta vrpca 8 s pripadajućim „ramenima“ predstavlja Si-O vibraciju jednog SiO_4 tetraedra ili grupe Si_2O_7 . Dakle Si-O vibraciji pripadaju one vrpce koje se nalaze na valnim brojevima iznad 820 cm^{-1} te između 700 cm^{-1} i 550 cm^{-1} (LIEBSCHER & FRANZ, 2004). U tu skupinu spadaju i vrpce 13, 14 koje se na spektrima pojavljuju na valnim brojevima približno 680 cm^{-1} i 650 cm^{-1} , no one su puno manjeg intenziteta. Na uzorku epidota iz žile (PT7) te vrpce dolaze na valnim brojevima 670 cm^{-1} i 645 cm^{-1} (slika 23) te su u vidu jedne vibracijske vrpce jačeg intenziteta i njezinog „ramena“. Vibracije u rasponu $820 - 700 \text{ cm}^{-1}$ i $540 - 320 \text{ cm}^{-1}$ na infracrvenim spektrima epidota pripisuju se M-O vibracijama unutar oktaedara (LIEBSCHER & FRANZ, 2004). Ističe se vrpca 12 na 755 cm^{-1} na spektrima uzoraka PT5 (slika 22), PT8 (slika 24) i PT9 (slika 25) te na 722 cm^{-1} u uzorku PT7 (slika 23) gdje je ona i znatno manjeg intenziteta. Nadalje su prisutne tri vrpce 15, 16, 17 u najnižem dijelu spektra, na najnižim valnim brojevima, sa ponovnim odstupanjima u uzorku PT7. Vrpce 2, 3 i 4 predstavljaju vibraciju CO_2 prisutnog iz zraka.

Uzorak PT7 predstavlja zelenu žilu epidota. Po svome mineralnom sastavu odgovara uzorku zelene „korice“ uzorka PT3. Razlika IR spektra uzorka PT7 (slika 23) od ostalih očituje se prvenstveno u prisutnosti vrpce 1, odnosno OH skupine koja nije očitana u uzorku PT5 (slika 22), a u uzorcima PT8 (slika 24) i PT9 (slika 25) se nazire, ali nešto manjeg intenziteta što može biti posljedica alteracije epidota.

Utvrđeno je dakle da se na oba lokaliteta radi o spilitiziranim dijabazima, a to je u skladu s opažanjima BARIĆA (1957) koji ujedno kaže da eruptivi Vrlike potpuno odgovaraju onima iz okolice Sinja. U prilog tome da se u istraživanim uzorcima radi o dijabazu, osim ofitske strukture (slika 7a, b), ide i hipokristalina struktura uzoraka koja upućuje na veću

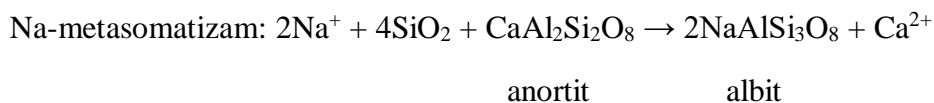
brzinu hlađenja magme, što i jest slučaj kod žilnih stijena. Svo staklo koje se nekada nalazilo u uzorcima je devitrificirano i sada te džepiće ispunjava agregat klorita sa sitnim zrnima epidota (slika 4a, b). Od sekundarnih minerala u istraživanim uzorcima prevladavaju epidot i prehnit te kalcit i zoisit u tragovima, a prema BARIĆU (1957) je njihov nastanak vezan uz proces spilitizacije. Proces epidotizacije izraženiji je u uzorcima lokaliteta Garjak, gdje se očituje već makroskopski u vidu zelenkastih žila i „korica“ na odlomljenim ploham (slika 3d), a prisutan je i unutar uzoraka na kojima se alteracije nisu opažale golim okom. Proces prehnitizacije u spilitiziranim dijabazima spominju IVANOVIĆ i sur. (1978) te RAIĆ i sur. (1984), a njegova prisutnost zabilježena je u svim uzorcima s područja Slanih stina (slika 20). PAMIĆ (1982) čak opaža izdužene zamućene plagioklase ispunjene prehnitom koji su ovdje opisani u uzorku ST3 (slika 8c, d). Opáki minerali prisutni su u svim proučavanim uzorcima. Radi se pretežito o hematitu koji je prepoznatljiv po crvenoj boji koju propušta na rubovima zrna (slika 7c). Njegova pojava udružena s prehnitom upućuje da je postmagmatskog postanka (BARIĆ, 1957). Opáki minerali opisani u uzorku PT3 razlikuju se od ostalih po nedostatku crvene boje i skeletnim oblicima koji su karakteristični za magnetit (slika 5e) (BARIĆ, 1957).

5.2. Interpretacija alteracijskih procesa

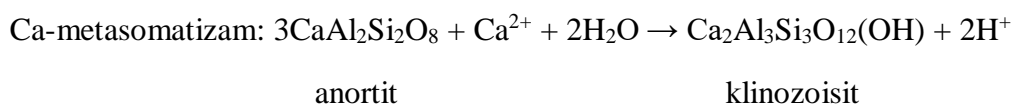
Alteracije u istraživanim stijenama posljedica su interakcije morske vode i bazične magmatske stijene. To su hidrotermalne alteracije koje se odnose na promjene u stijenama prilikom cirkulacije vrućeg fluida kroz stijenu. Dolazi do kemijskih reakcija koje kroz procese otapanja i taloženja razvijaju nove minerale kako bi dosegle ravnotežu. Uzorci istraživanih stijena su spilitizirani što je česta pojava za dijabaz prilikom koje Ca-plagioklas bude albitiziran i prate ga klorit, kalcit, epidot, prehnit ili drugi niskotemperaturni vodeni minerali tipični za facijes zelenih škriljavaca (GIFKINS i sur., 2005). Dakle, dominantna je kationska izmjena Ca za Na (PIRAJNO, 2009). Koji mineral će se formirati, ovisi o sastavu fluida i stijene, kao i o uvjetima temperature i tlaka pri kojima se alteracija odvija.

Albitizacija je proces koji uzrokuje izmjenu plagioklasa do albita, a može dovesti i do posvjetljavanja boje same stijene. Prisutna je u svim istraživanim uzorcima osnovnih stijena te upućuje na temperaturne raspone od 100°C do iznad 250°C (SLOVENEK i sur., 2012). Na

takvim temperaturama, prisutnost Na⁺ kationa u fluidu obogaćenom silicijem, dovodi do reakcije Na-metasomatizma kojom nastaje albit (PIRAJNO, 2009).

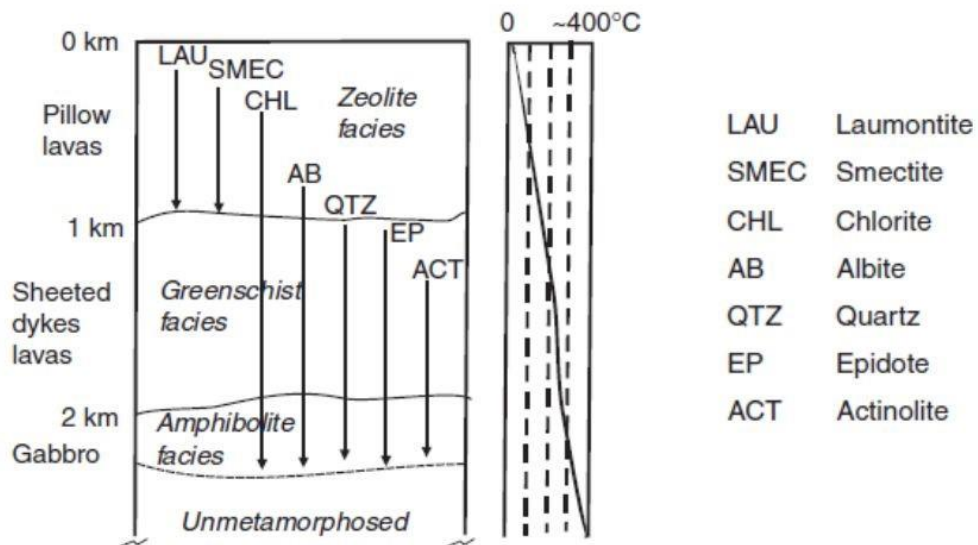


Nadalje, albitizacijom Ca plagioklasa povećava se Ca/Na omjer koji pogoduje stvaranju klorita i epidota koji dolaze već kao izravni produkti devitrifikacije vulkanskog stakla (GIFKINS i sur., 2005). Proces kloritizacije odvija se u rasponu od 150°C do 300°C, a alteracijom primarnih Fe-Mg minerala unutar stijene poput piroksena i amfibola nastaju kloriti. Koji mineral grupe klorita će nastati ovisi o dominantnom dvovalentnom kationu, odnosno Fe²⁺/Mg omjeru (SLOVENEK i sur., 2012). Osim klorita, ovi procesi odgovorni su i za pojavu minerala grupe epidota prikazanu reakcijom Ca-metasomatizma (PIRAJNO, 2009).



Epidotizacija je dakle rezultat niskotemperaturne hidrotermalne alteracije fluidom koji je bogat silikatnom komponentom te elementima poput aluminija, željeza i kalcija, a ona se odražava i promjenom boje stijene u zelenu. Razvoj epidota ovisi o dostupnosti Fe³⁺, a temperaturni raspon formiranja epidota može se odrediti prema omjeru Fe³⁺/(Fe³⁺+Al) s obzirom da taj omjer u epidotu raste snižavanjem temperature (SLOVENEK i sur., 2012). Zone ovakvih alteracija obično su velike, mogu dosezati dužine desetak kilometara i debljine stotine metara, a kontrolirane su propusnošću stijena (THOMPSON & THOMPSON, 1996). Pojava prehnita u istraživanim uzorcima vezana je uz proces albitizacije plagioklasa koji su izvor kalcija, ali također i uz proces Ca-metasomatizma. Nastanak prehnita odvija se uz uvjete niskog tlaka (≤ 1 kbar) i temperature (160°C – 230°C) (SLOVENEK i sur., 2012).

S obzirom na procese koji su se odvijali, odnosno sekundarne minerale prisutne u istraživanim stijenama (albit, klorit, epidot, kalcit, prehnit i kvarc), može se zaključiti da se radi o hidrotermalnim mineralima formiranim u niskotemperaturnim uvjetima facijesa zelenih škriljavaca (slika 27). Spomenuti hidrotermalni procesi odvijali su se u rasponu temperatura između 200°C i 400°C, na dubinama od 1 km do 2 km te pri tlaku od nekoliko kilobara (PIRAJNO, 2009).



Slika 27. Mineralne vrste karakteristične za hidrotermalni metamorfizam stijena oceanske kore u odnosu na dubinu i temperaturu (PIRAJNO, 2009).

6. Zaključak

U ovom radu analizirani su dijabazi iz Vrličkog i Sinjskog polja, točnije s lokaliteta Garjak i Slane stine, za koje je zaključeno da su prošli kroz alteracijski proces spilitizacije. Alteracije su se na njima očitovale već makroskopski u vidu promjene boje i teksturnih karakteristika stijene, a za detaljnije utvrđivanje o kojim se procesima i mineralima radi provedeno je optičko istraživanje polarizacijskim mikroskopom, metoda rendgenske difrakcije na prahu i metoda infracrvene spektroskopije s Fourierovom transformacijom. Na temelju hipokristaline, ofitske strukture potvrđeno je da se radi o dijabazu čiji mineralni sastav čine plagioklasi, amfiboli, pirokseni, klorit, epidot i prehnit. Glavna razlika među dijabazima s dva istraživana lokaliteta je u njihovoj zahvaćenosti alteracijskim procesima. Dok se na lokalitetu Garjak jasno vide područja zelenih, bijelih i ružičastih alteracija, na lokalitetu Slane stine alteracije se očituju samo kao mrljice nešto svjetlije boje. Bez obzira na lokalitet, sve su alteracije definirane kao niskotemperaturne hidrotermalne alteracije, pri čemu je bilo moguće utvrditi produkte albitizacije, sericitizacije, kloritizacije, kalcitizacije, prehnitizacije i epidotizacije. Zelenu boju daju procesi kloritizacije i epidotizacije, bijela boja posljedica je procesa albitizacije i kalcitizacije, a ružičaste alteracije predstavljene su produktima nastalim uslijed albitizacije, prehnitizacije i kalcitizacije. Najočitiiji proces na lokalitetu Garjak je epidotizacija. Očituje se u vidu zelenih žila epidota i mineralnih „korica“ na površinski izloženim dijelovima stijene. Da se radi o epidotu potvrđeno je rendgenskom difrakcijom na prahu i infracrvenom spektroskopijom kojom su analizirani samostalni kristali koji se razlikuju u prisutnosti, odnosno intenzitetu vrpce OH skupine. U stijenama se nalaze i nešto tamniji samostalni kristali u čijem sastavu se utvrdilo da je uz epidot prisutan i amfibol. Iako BARIĆ (1957) tvrdi da eruptivi Vrlike u potpunosti odgovaraju eruptivima iz okolice Sinja, možemo zaključiti da se u istraživanim primjerima radi o istom tipu stijena, no različitom intenzitetu alteracijskih procesa, odnosno različitoj količini zastupljenih alteracijskih produkata. U oba slučaja radi se o dijabazu koji je spilitiziran, no alteracije su izraženije na stijenama lokaliteta Garjak.

7. Literatura

BARIĆ, LJ. (1957): Eruptivi iz okolice Sinja u Dalmaciji uz kraći osvrt na eruptivne pojave kod Knina, Vrlike i Drniša. Drugi kongres geologa Jugoslavije, Sarajevo, 255 – 262.

BRUKER (2009): OPUS ver. 6.5. Billerica, Massachusetts, United States, Bruker Optik GmbH.

ČOBIĆ, A. (2015): Karakterizacija metamiktinih minerala kompleksnih kristalokemijskih svojstava – primjer allanita. Doktorski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

GIFKINS, C., HERRMANN, W., LARGE, R. (2005): Altered Volcanic Rocks: A guide to description and interpretation. Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmania, Australia.

IVANOVIĆ, A., SIKIRICA, V., MARKOVIĆ, S., SAKAČ, K. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Drniš K 33-9. Institut za geološka istraživanja Zagreb (1967 – 1972), Savezni geološki zavod, Beograd.

IVANOVIĆ, A., SIKIRICA, V., SAKAČ, K. (1978): Osnovna geološka karta 1:100000, Tumač za list Drniš K 33-9. Institut za geološka istraživanja Zagreb (1972), Savezni geološki zavod, Beograd.

LIEBSCHER, A., FRANZ, G. (2004): Epidotes. Reviews in Mineralogy and Geochemistry. Mineralogical society of America, Geochemical society, 56, 137 – 153.

PAMIĆ, J. (1982): Bazaltne stijene trijaskog vulkanizma Dinarida. Geološki vjesnik, Zagreb, 35, 159 – 180.

PAPEŠ, J., MARINKOVIĆ, R., RAIĆ, V. (1982): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Sinj K 33-10. Geološki zavod-OOOUR za geologiju i paleontologiju, Zagreb (1971 – 1976), Savezni geološki zavod, Beograd.

PIRAJNO, F. (2009): Hydrothermal Processes and Mineral Systems. Springer Science & Business Media.

RAIĆ, V., PAPEŠ, J., SIKIRICA, V., MAGAŠ, N. (1984): Osnovna geološka karta 1:100000, Tumač za list Sinj K 33-10. Geoinženjering institut za geologiju Sarajevo,

Geološki zavod OOUR za geologiju i paleontologiju Zagreb (1982), Savezni geološki zavod, Beograd.

SKOOG, D. A., LEARY, J. J. (1992): Principles of Instrumental Analysis (4th edition). Fort Worth, Saunders College Publishing, 700.

SLOVENEK, D., BELAK, M., BADURINA, L., HORVAT, M., ŠEGVIĆ, B. (2023): Triassic evolution of the Adriatic-Dinaridic platform's continental margins—insights from rare dolerite subvolcanic intrusions in External Dinarides, Croatia. *Comptes Rendus, Géoscience, Sciences de la Planète*, 355, 35 – 62.

SLOVENEK, D., LUGOVIĆ, B., SLOVENEK, D. (2012): Sekundarne mineralne parageneze u mafitnim ekstruzivnim stijenama iz ofiolitnog melanža Medvednice (Hrvatska). *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 25, 33 – 46, Zagreb.

SMIRČIĆ, D. (2017): Geneza vulkanoklastičnih naslaga srednjega trijasa Vanjskih Dinarida. Doktorski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

THOMPSON, A.J.B., THOMPSON, J.F.H. (1996): Atlas Of Alteration: A Field And Petrographic Guide To Hydrothermal Alteration Minerals. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division.

VELIĆ, I., VLAHOVIĆ, I. (2009): Tumač geološke karte Republike Hrvatske 1:300000. Hrvatski geološki institut, Zagreb.

VRKLJAN, M. (1981): O ponašanju nekih mikroelemenata kod spilitizacije bazičnih eruptivnih stijena iz srednje Dalmacije. *Geološki vjesnik*, Zagreb, 33, 277 – 280.

WARR, L. N. (2021): IMA–CNMNC approved mineral symbols. *Mineralogical Magazine*, 85, 291 – 320.

Internetski izvori:

[1] <https://www.skole.hr/polja-u-krsu-porjecja-cetine/> (pristupljeno 4.12.2023.)

[2] [Infracrvena spektroskopija | Aparatura - Analitička oprema i sustavi](#) (pristupljeno 22.12.2023.)