

Petrogeneza bazičnih magmatskih stijena Hrvatskog Sela, Banovina, Hrvatska

Vilenica, Leonarda

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:563076>

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

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



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij Geologije, smjer Geologija mineralnih sirovina i geofizička
istraživanja

**PETROGENEZA BAZIČNIH MAGMATSKIH STIJENA HRVATSKOG SELA,
BANOVINA, HRVATSKA**

Diplomski rad

Leonarda Vilenica

G436

Zagreb, 2023.

**“PETROGENEZA BAZIČNIH MAGMATSKIH STIJENA HRVATSKOG SELA, BANOVINI,
HRVATSKA”**

LEONARDA VILENICA

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

SAŽETAK

U neimenovanom kamenolomu u neposrednoj blizini Hrvatskog Sela, na zapadu Banovine, istraživane su stijene bazičnog magmatskog tijela koje pripada magmatsko-sedimentnom kompleksu ofiolitnog pojasa Unutrašnjih Dinarida. Na terenu je prikupljeno dvanaest uzoraka različitih makroskopskih karakteristika. Petrografskim analizama je određen mineralni sastav stijena. Glavni minerali su plagioklas i klinopiroksen, sporedni je ilmenit, dok je apatit akcesorni, a sekundarni minerali su klorit, hornblenda, prehnit, kalcit, minerali glina, sericit, epidot i kvarc. Svi uzorci izuzev jednog su određeni kao spiliti, dok je jedan žilni uzorak determiniran kao albitit. Stijene su intergranularne te mjestimice ofitne strukture i homogene teksture.

U okviru geokemijskih istraživanja na 4 odabrana uzorka provedene su analize glavnih elemenata i elemenata u tragovima s elementima rijetkih zemalja. Kemizam stijena triju uzoraka odgovara bazaltu do bazaltnom andezitu, dok kod jednog (žilnog) odgovara trahitu do riocacitu. Utvrđen je toleitiiti karakter magmatske serije te pozadinski lučni bazen kao geotektonska pozicija formiranja istraživanih stijena. Usporedbom s prethodnim istraživanjima stijena Banovine zaključeno je da postoji genetska veza između spilita Hrvatskog Sela i spilita s lokaliteta Lasinja.

Ključne riječi: spilit, bazalt, Hrvatsko Selo, Banovina, toleitiiti magmatska serija, pozadinski lučni bazen

Diplomski rad sadrži: 76 strana, 5 tablica, 60 slika i 26 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Diplomski rad pohranjen u: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: izv. prof. dr. sc. Vesnica Garašić, RGNF

Komentor: dr. sc. Šime Bilić, RGNF

Ocjenjivači: izv. prof. dr. sc. Vesnica Garašić, RGNF

red. prof. dr. sc. Dunja Aljinović, RGNF

naslovna izv. prof. dr. sc. Marija Horvat, Hrvatski geološki institut i RGNF

Datum obrane: 27.2.2023., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

**“PETROGENESIS OF BASIC MAGMATIC ROCKS OF HRVATSKO SELO, BANOVINA,
HRVATSKA”**

LEONARDA VILENICA

Master's thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Mineralogy, Petrology and Mineral Resources
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

ABSTRACT

In an unnamed quarry in the immediate vicinity of Hrvatsko Selo, in the west of Banovina, outcrops of basic magmatic rocks were studied. These rocks belong to the magmatic-sedimentary complex of the ophiolite belt of Inner Dinarides. Twelve rock samples of varying macroscopic characteristics were sampled during field work. Petrographic analysis determined the mineral composition of the sampled rocks. Main minerals are plagioclase and clinopyroxene, ilmenite is subordinate, while apatite is accessory. Secondary minerals include chlorite, hornblende, prehnite, calcite, clay minerals, sericite, epidote and quartz. All samples are determined to be spilite, with one exception that is determined as albitite. Studied rock have an intergranular texture to ophitic in places, while the structure is homogenous.

Analysis of main elements and trace elements with rare earth elements of 4 representative samples has been conducted within the scope of geochemical studies. Three among them are chemically classified as basalts and basaltic andesites, and one is classified as trahite or riadacite. Geochemical analysis points to the tholeiitic character of the magmatic series and back arc basin as the most probable geotectonic position of rock formation environment. Comparison with recent studies of basic rocks of Banovina concluded that a genetic link exists between the spilites of Hrvatsko Selo and the spilites of a quarry in Lasinja.

Keywords: spilite, basalt, Hrvatsko Selo, Banovina, tholeiitic magmatic series, back arc basin.

Thesis contains: 76 pages, 5 tables, 60 pictures and 26 references.

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Supervisor: Associate Professor Vesnica Garašić, PhD

Co-supervisor: Postdoctoral researcher Šime Bilić, PhD

Reviewers: Associate Professor Vesnica Garašić, PhD

Tenured Professor Dunja Aljinović, PhD

Nominal Associate Professor Marija Horvat, PhD

Defence date: February 27 2023, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
University of Zagreb.

Stručnu praksu na terenu obavila sam u okviru projekta “RGN START – Stručna praksa za život (UP.03.1.1.04), a koja mi je pomogla u uzorkovanju spilitskih stijena istraženih u ovom diplomskom radu. Stoga je u tom smislu ovaj diplomski rad vezan za navedeni projekt.

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ..... | 2 |
| 3. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE..... | 4 |
| 4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA..... | 8 |
| 5. UZORKOVANJE NA TERENU..... | 10 |
| 6. ANALITIČKE METODE ISTRAŽIVANJA..... | 12 |
| 7. REZULTATI ANALITIČKIH METODA ISTRAŽIVANJA..... | 13 |
| 7.1. PETROGRAFSKI OPIS ISTRAŽIVANIH UZORAKA..... | 13 |
| 7.2. GEOKEMIJSKE ANALIZE..... | 42 |
| 8. DISKUSIJA..... | 53 |
| 8.1. KEMIJSKA KLASIFIKACIJA STIJENA..... | 53 |
| 8.2. ODREĐIVANJE KARAKTERA MAGMATSKE SERIJE..... | 55 |
| 8.3. ODREĐIVANJE GEOTEKTONSKE POZICIJE..... | 60 |
| 8.4. USPOREDBA S PRETHODNIM ISTRAŽIVANJIMA..... | 69 |
| 9. ZAKLJUČAK..... | 73 |
| 10. POPIS LITERATURE..... | 74 |

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 2.1: Ortofoto karta dijela Banovine i Sisačko-moslavačke županije..... | 3 |
| Slika 2.2: Topografska karta općine Topusko i mjesta Hrvatsko Selo..... | 3 |
| Slika 3.1: Geološka karta područja kamenoloma i šire okolice..... | 6 |
| Slika 5.1: Zapadni dio kamenoloma s pozicijama uzorkovanja..... | 10 |
| Slika 5.2: Istočni dio kamenoloma s područjima uzorkovanja..... | 11 |
| Slika 5.3: Istočni dio kamenoloma s поближе označenim pozicijama uzorkovanja..... | 11 |
| Slika 7.1: Mikrofotografija uzorka HS-22-1. Zonalni klinopiroksen s opakom eksolucijom. N/N+..... | 14 |
| Slika 7.2: Mikrofotografija uzorka HS-22-1. Agregat klorita i prehnita, plagioklas. N/N+..... | 15 |
| Slika 7.3: Mikrofotografija uzorka HS-22-2. Kloritizirani plagioklas, klorit i prehnit. N/N+ | 16 |
| Slika 7.4: Mikrofotografija uzorka HS-22-2. Plagioklas, klorit, klinopiroksen i ilmenit. Pukotina s prehnitom. N+..... | 17 |
| Slika 7.5: Mikrofotografija uzorka HS-22-3. Plagioklas, klorit, klinopiroksen. Skeletna struktura ilmenita. Prehnit. N+..... | 18 |
| Slika 7.6: Mikrofotografija uzorka HS-22-3. Plagioklas, klorit, klinopiroksen, ilmenit, Pukotine s prehnitom N+..... | 19 |
| Slika 7.7: Mikrofotografija uzorka HS-22-4. Intergranularna struktura. Plagioklas, klorit, klinopiroksen i prehnit. N+..... | 21 |
| Slika 7.8: Mikrofotografija uzorka HS-22-4. Ofitna i intergranularna struktura. Skeletni ilmenit. N+..... | 22 |
| Slika 7.9: Mikrofotografija uzorka HS-22-5. Intergranularna i ofitna struktura. Kalcit u pukotini, prehnit u intergranularnom prostoru. N+..... | 23 |
| Slika 7.10: Mikrofotografija uzorka HS-22-5. Epidot i prehnit u intergranularnom prostoru između štapića plagioklasa. N/N+..... | 24 |

| | |
|--|----|
| Slika 7.11: Mikrofotografija uzorka HS-22-6. Klinopiroksen s resorpcijom na rubovima. N+..... | 26 |
| Slika 7.12: Mikrofotografija uzorka HS-22-6. Intergranularna struktura i skeletna struktura ilmenita. N+..... | 27 |
| Slika 7.13: Mikrofotografija uzorka HS-22-7. Agregati prehnita i kalcita u pukotini. N/N+..... | 29 |
| Slika 7.14: Mikrofotografija uzorka HS-22-7. Brečirani dio uzorka s fragmentima minerala i stijene te kalcitno prehitnom ispunom N/N+..... | 29 |
| Slika 7.15: Mikrofotografija uzorka HS-22-8. Ofitna struktura i zonalni klinopiroksen. N+..... | 31 |
| Slika 7.16: Mikrofotografija uzorka HS-22-8. Intergranularna struktura i resorpcija plagioklasa. N+ | 31 |
| Slika 7.17: Mikrofotografija uzorka HS-22-9. Hornblenda, reliktni klinopiroksen. N/N+..... | 33 |
| Slika 7.18: Mikrofotografija uzorka HS-22-9. Intergranularna i ofitna struktura. Prehnit u intergranularnom prostoru. N+..... | 34 |
| Slika 7.19: Mikrofotografija uzorka HS-22-10. Albitna žila. Klorit i epidot u intergranularnom prostoru. N/N+..... | 35 |
| Slika 7.20: Mikrofotografija uzorka HS-22-10. Albitna žila. Pukotine ispunjene kalcitom i prehnitom. N/N+..... | 36 |
| Slika 7.21: Mikrofotografija uzorka HS-22-11. Zonalni klinopiroksen i resorpcija plagioklasa. Ofina struktura. N+..... | 37 |
| Slika 7.22: Mikrofotografija uzorka HS-22-11. Intergranularna struktura. N+..... | 38 |
| Slika 7.23: Mikrofotografija uzorka HS-22-12. Kloritizacija plagioklasa i klinopiroksena. Resorpcija plagioklasa. N+..... | 40 |
| Slika 7.24: Mikrofotografija uzorka HS-22-12. Zonalni klinopiroksen i ofitna struktura. N+..... | 40 |
| Slika 7.25: Dijagram koncentracije elemenata u tragovima (spider dijagram) uzoraka HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-8..... | 48 |

| | |
|--|----|
| Slika 7.26: Dijagram koncentracije elemenata u tragovima (spider dijagram) uzorka HS-22-10..... | 49 |
| Slika 7.27: Dijagram koncentracija elemenata rijetkih zemalja (REE dijagram) uzoraka HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-8..... | 51 |
| Slika 7.28: Dijagram koncentracija elemenata rijetkih zemalja (REE dijagram) uzorka HS-22-10..... | 52 |
| Slika 8.1: Klasifikacijski dijagram $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ | 53 |
| Slika 8.2: Klasifikacijski dijagram $\text{Zr}/\text{Ti}-\text{Nb}/\text{Y}$ | 54 |
| Slika 8.3: Klasifikacijski dijagram $\text{Zr}/\text{TiO}_2-\text{Nb}/\text{Y}$ | 54 |
| Slika 8.4: Dijagram $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{SiO}_2$ za određivanje karaktera magmatske serije.. | 55 |
| Slika 8.5: Dijagram $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ za određivanje karaktera magmatske serije..... | 56 |
| Slika 8.6: Dijagram alkalnog indeksa naspram Al_2O_3 za određivanje karaktera magmatske serije..... | 57 |
| Slika 8.7: Dijagram alkalije $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{FeO}-\text{MgO}$ (AFM) za određivanje karaktera magmatske serije..... | 57 |
| Slika 8.8: Dijagram $\text{FeO}/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ za određivanje karaktera magmatske serije..... | 58 |
| Slika 8.9: Dijagram $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ za određivanje karaktera magmatske serije..... | 58 |
| Slika 8.10: Dijagram $\text{Nb}/\text{Y}-\text{Zr}/(\text{P}_2\text{O}_5*10^4)$ za određivanje karaktera magmatske serije..... | 59 |
| Slika 8.11: Dijagram $\text{P}_2\text{O}_5-\text{Zr}$ za određivanje karaktera magmatske serije..... | 59 |
| Slika 8.12: Dijagram $\text{TiO}_2-\text{Zr}/(\text{P}_2\text{O}_5*10^4)$ za određivanje karaktera magmatske serije..... | 60 |
| Slika 8.13: Diskriminacijski dijagram $\text{K}_2\text{O}-\text{TiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$ | 61 |
| Slika 8.14: Diskriminacijski dijagram $\text{Zr}-\text{Ti}/100-\text{Sr}/2$ | 62 |
| Slika 8.15: Diskriminacijski dijagram $\text{Zr}-\text{Ti}/100-\text{Y}*3$ | 62 |
| Slika 8.16: Diskriminacijski dijagram $\text{Th}/\text{Yb}-\text{Nb}/\text{Yb}$ | 63 |
| Slika 8.17: Diskriminacijski dijagram $\text{TiO}_2/\text{Yb}-\text{Nb}/\text{Yb}$ | 63 |
| Slika 8.18: Diskriminacijski dijagram $\text{Th}-\text{Hf}/3-\text{Nb}/16$ | 64 |

| | |
|--|----|
| Slika 8.19: Diskriminacijski dijagram Th-Hf/3-Ta..... | 65 |
| Slika 8.20: Diskriminacijski dijagram Th-Zr/117-Nb/16..... | 65 |
| Slika 8.21: Diskriminacijski dijagram Ti/Y-Nb/Y..... | 66 |
| Slika 8.22: Diskriminacijski dijagram La/10-Y/15-Nb/8..... | 67 |
| Slika 8.23: Diskriminacijski dijagram Zr/Y-Ti/Y..... | 68 |
| Slika 8.24: Diskriminacijski dijagram Zr/Y-Zr..... | 68 |
| Slika 8.25: Skica geotektonske pozicije otočnog (ili vulkanskog) luka s pozadinskim lučnim bazenom..... | 69 |
| Slika 8.26: Dijagrami za usporedbu stijena istraživanih u ovom radu i stijena istraživanih u drugim završnim radovima..... | 72 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 7.1: Rezultati point counter analize. Prikazani volumni udjeli plagioklasa, klinopiroksena, ilmenita, klorita i kalcita..... | 41 |
| Tablica 7.2: Rezultati point counter analize. Prikazani volumni udjeli prehnita, epidota, kvarca, neodređenih minerala i praznina i/ili pora..... | 42 |
| Tablica 7.3: Rezultati kemijske analize glavnih elemenata..... | 44 |
| Tablica 7.4: Rezultati kemijske analize elemenata u tragovima..... | 46 |
| Tablica 7.5: Rezultati kemijske analize elemenata rijetkih zemalja..... | 50 |

1. UVOD

Neimenovani kamenolom u neposrednoj blizini Hrvatskog Sela je smješten na obali rijeke Gline u općini Pokupsko, na zapadu Banovine. Kamenolom je otvoren u bazičnom magmatskom tijelu koje pripada magmatsko-sedimentnom kompleksu ofiolitnog pojasa Unutrašnjih Dinarida.

Dosadašnja istraživanja ove pojave su malobrojna. KIŠPATIĆ (1899) je prvi opisao magmatske stijene Hrvatskog Sela i determinirao ih kao dijabaze. Detaljnija istraživanja ovog magmatskog tijela proveli su MAJER & TIŠLJAR (1973). Oni su uočili da je magmatsko tijelo utisnuto u okolne pješčenjake u obliku sila ili grede. Ukazali su na pukotine, rasjede i pojavu lučenja te zaključili da se unutar kamenoloma mogu razlikovati dva dominantna varijeteta magmatskih stijena te niz subvarijeteta. Autori su detaljno petrografski opisali stijene te ih klasificirali kao spilite. Napravili su i kemijske analize stijena, koje su obuhvatile glavne okside i neke elemente u tragovima, na osnovu čega su zaključili da su stijene nastale iz alkalijama bogate magme te da su dio tzv. "dijabaz-rožnjačke" ili "vulkanogeno-sedimentne" formacije Unutrašnjih Dinarida.

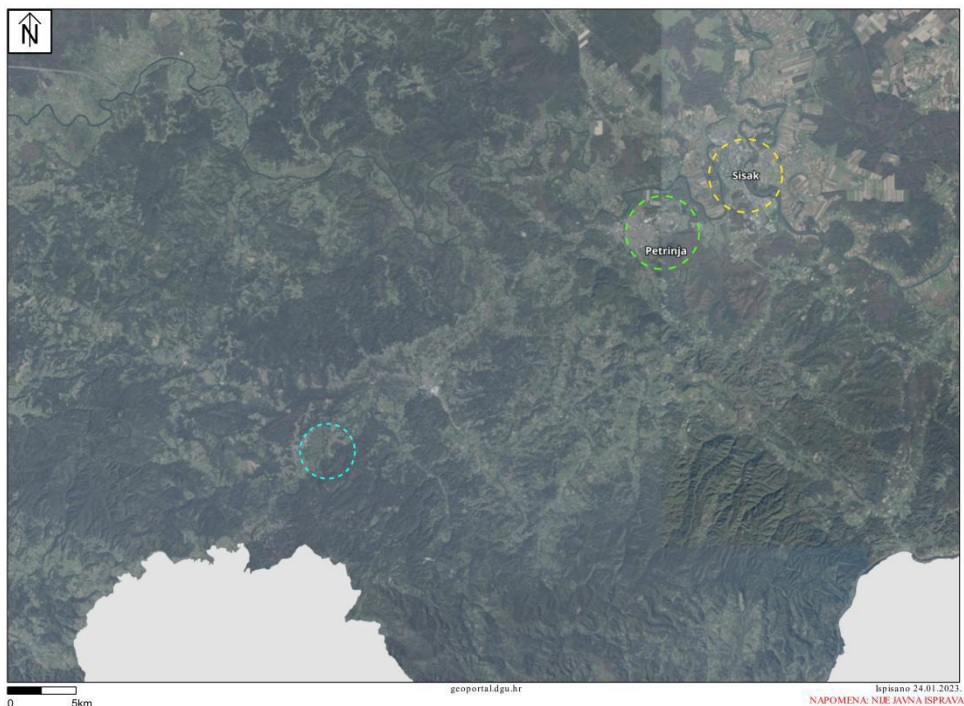
Cilj ovog rada je detaljno opisati petrografiju uzorkovanih varijeteta bazičnih stijena u gore opisanom kamenolomu, provesti kemijske analize koje će dodatno uključiti i elemente u tragovima s elementima rijetkih zemalja, koji prije pola stoljeća nisu bili analizirani, te upotrebom u međuvremenu razvijenih mnogobrojnih geokemijskih dijagrama detaljnije klasificirati stijene, odrediti karakter njihove magmatske serije kao i geotektonsku poziciju formiranja magme iz koje su istraživane stijene kristalizirale.

2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ

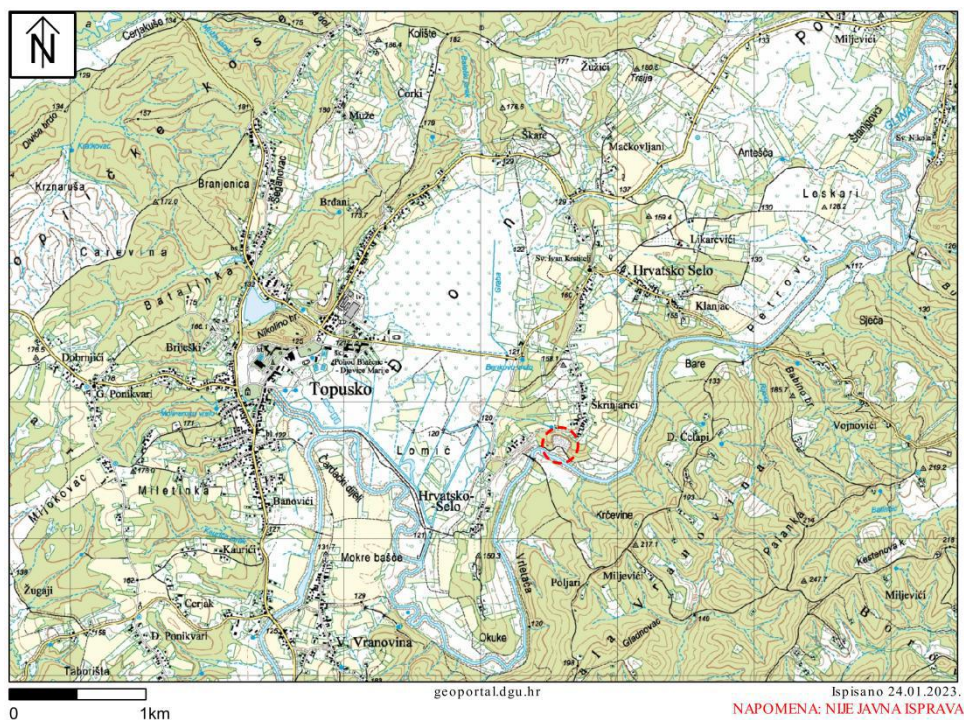
Stijene proučavane u ovom radu potječu iz neimenovanog napuštenog kamenoloma u neposrednoj blizini mjesta Hrvatsko Selo. Ono pripada općini Topusko koja se nalazi na zapadu Banovine (Slika 2.1), unutar Sisačko-moslavačke županije. Banovina se rasprostire južno od Siska, a granice su joj definirane rijekama Kupom, Savom, Unom i Glinom. Položaj kamenoloma ucrtan je na karti (Slika 2.2).

Hrvatsko Selo je malo mjesto sa svega 242 stanovnika, dok općina Topusko ima ukupno 2222 stanovnika (Popis stanovništva 2021, Državni zavod za statistiku). Područje Topuskog je naseljeno od bakrenog doba, uvelike zahvaljujući pronalasku termalnih voda i raznih mineralnih sirovina (barit, željezo, ugljen, ciglarska i keramička glina, pijesak, kamen). U Hrvatskom Selu su pronađeni tragovi vučedolske kulture, dok su u Pokupskom pronađeni ostaci rimskog naselja. Toplice su i danas važne za ovo područje, dok je rudarenje gospodarska aktivnost prošlosti. Sjeveroistočno od Hrvatskog Sela smještena su veća mjesta i gradovi, najbliže Glina, pa potom Petrinja i Sisak (Slika 2.1). Sisak je središte Sisačko-moslavačke županije s 40121 stanovnikom (Popis stanovništva 2021, Državni zavod za statistiku), te je povijesno iznimno važan industrijski grad.

Banovina je brdsko-brežuljkasti kraj s umjerenom kontinentalnom klimom. Veliki dio površine je prekriven šumama, dok mnogi vodotoci sa svojim dolinama tvore ravničarske predjele. Prosječna nadmorska visina je 300 m, dok se najviši vrh nalazi na Zrinskoj gori (Piramida, 616 m). Poljoprivreda je razvijena u smislu uzgoja krumpira, žitarica te raznog voća i povrća, dok se od stoke uzgajaju goveda i svinje. Lov, ribolov i vinogradarstvo su također važni za noviji razvoj. Ležišta željezne rude su u prošlosti eksploatirana na Trgovskoj i Zrinskoj gori. Prehrambena, drvna i tekstilna industrija su danas važne za ovaj kraj. Grana gospodarstva koja se u novije vrijeme jako razvija je turizam, posebice rekreativni jer je krajolik pogodan za pješaćenje, planinarenje i biciklizam.



Slika 2.1: Ortofoto karta dijela Banovine i Sisačko-moslavačke županije. Plavim krugom je označeno područje općine Topusko, dok su zelenim i žutim krugovima označeni gradovi Petrinja i Sisak. (Preuzeto sa <https://geoportal.dgu.hr> dana 24.01.2023.)



Slika 2.2: Topografska karta općine Topusko i mjesta Hrvatsko Selo. Crvenim kružićem je označena lokacija kamenoloma pri obali rijeke Gline. (Preuzeto sa <https://geoportal.dgu.hr> dana 24.01.2023.)

3. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Geološka građa istraživanog područja prikazana na listu Bosanski Novi Osnovne geološke karte Republike Hrvatske M 1:100 000 buhvaća razdoblje od devona do kvartara (ŠIKIĆ, 1990). Generalno pripada geotektonskom sklopu Dinarida, a može se podijeliti na dva dijela: Unutrašnje i Vanjske Dinaride. Obje su tektonske jedinice formirane u donjoj juri, ali su karakterizirane različitim razvojjima za vrijeme jure i donje krede. Značajne razlike također postoje u gornjoj kredi i paleogenu (ŠIKIĆ, 1990).

Vanjski Dinaridi su na području ovog lista predstavljeni krajnjim sjeveroistočnim rubnim dijelovima mezozojske karbonatne platforme. Stijene koje pripadaju ovom dijelu su iz razdoblja devona, karbona, permotrijasa, trijasa, donje jure, alb-cenomana, gornjeg senona-paleocena i slatkovodnog miocena (ŠIKIĆ, 1990).

Unutrašnji Dinaridi se na ovom području sastoje od ofiolitnog pojasa i kredno-tercijarnog pojasa. Ofiolitni pojas je sačinjen od magmatsko-sedimentnog kompleksa s ultrabazičnim i metamorfnim stijenama, a starosti je jurske do gornjokredne. Stijene kredno-tercijarnog pojasa su važne za interpretaciju ofiolita, a čine ih transgresivne naslage gornjeg senona, gornjeg eocena i neogena. Ovom pojasu također pripada i dio terena sjeveroistočno od rasjeda Farkašić (Kupa) - Jošavica - Kostajnica (Una) koji predstavlja prijelaz u Savsku depresiju (ŠIKIĆ, 1990).

Na isječku Osnovne geološke karte RH, M 1:100 000, list Bosanski Novi, (ŠIKIĆ, 1990) koji pripada krajnjem gornjem lijevom (zapadnom) rubu lista, označeno je crvenim pravokutnikom područje istraživanog kamenoloma smješteno u neposrednoj blizini Hrvatskog Sela i njegova šira okolica (Slika 3.1).

Jura je predstavljena sedimentnim i metamorfnim stijenama srednje i gornje jure (J_{2,3}) koje tvore ofiolitni kompleks Unutrašnjih Dinarida. Sedimentne stijene su dominantno pješčenjaci, šejlovi i rošnjaci s manje zastupljenim sitnozrnatim vapnencima, siltitima i laporovitim i pjeskovitim šejlovima. Metamorfne stijene se dijele na metamorfozirane sedimentne stijene i metamorfozirane bazične magmatite. Obje skupine su karakterizirane niskim i srednjim stupnjevima metamorfoze. Parametamorfiti srednjeg stupnja metamorfizma su tinjčevi škriljavci, gnajsevi, filiti,

kvarciti i kvarcni škriljavci, dok su parametamorfiti niskog stupnja metapješčenjaci, slejtovi, filiti nižeg stupnja, metasiltiti, zeleni škriljavci, kvarciti, kvarcni škriljavci i mramori. Stijene označene s „A“ na donjem desnom dijelu isječka geološke karte su amfiboliti i amfibolski škriljavci, ortometamorfni po postanku i značajnog rasprostranjenja, dok su sa „Se“ označeni serpentinizirani peridotiti i serpentiniti (ŠIKIĆ, 1990).

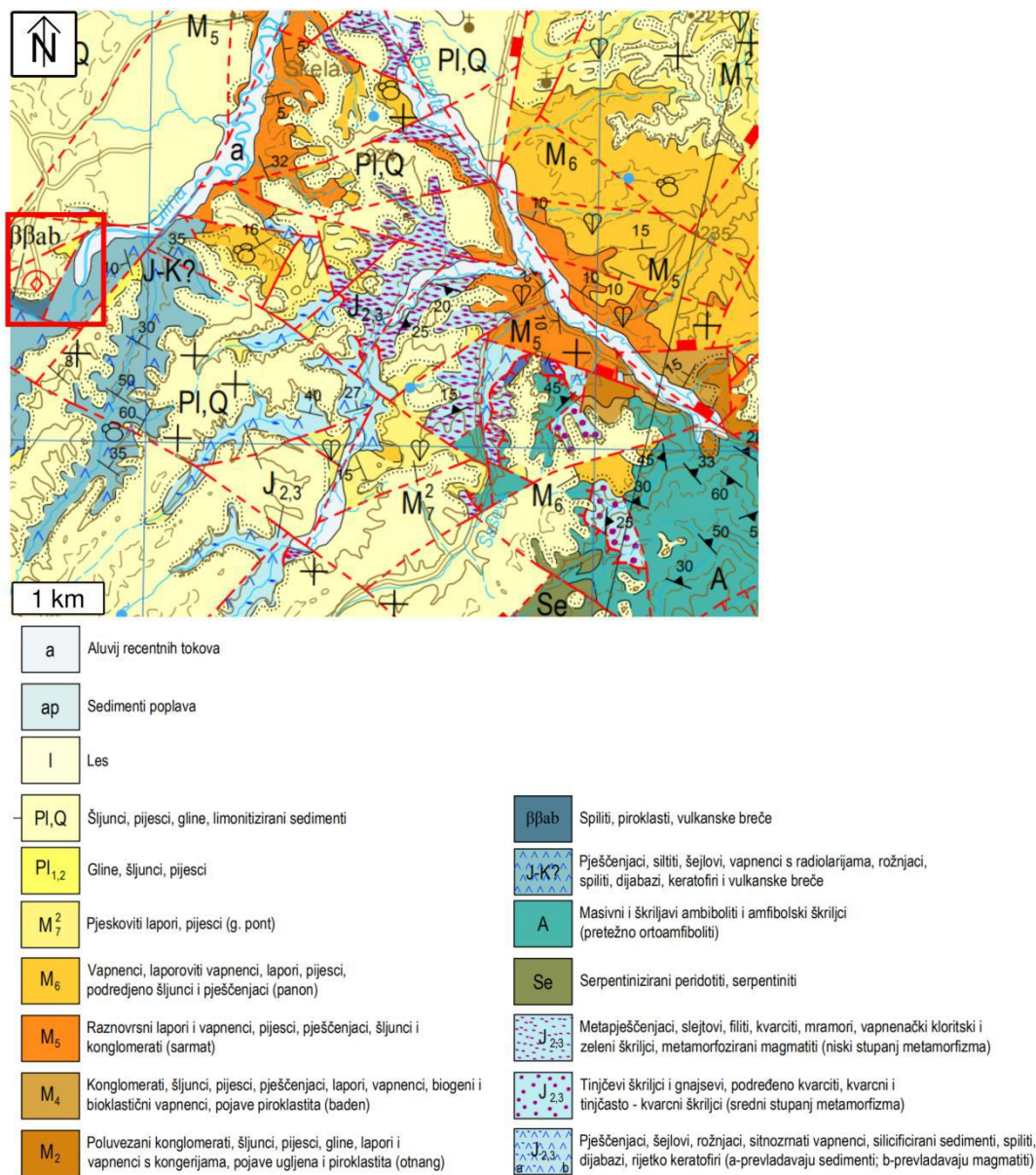
Oznakom „ββab“ su na karti označene stijene proučavane u ovom radu, a dio su dijabaz - spilit - keratofirske asocijacije koja gradi ofiolitni kompleks: spiliti, piroklastiti i vulkanske breče. Stijene osim „ββab“ u ovoj asocijaciji su dijabazi, spilit - dijabazi, keratofiri i spilit - keratofiri. Naslage označene s „J-K?“ su stijene specifičnih karakteristika koje svojim sastavom spadaju u magmatsko-ofiolitni kompleks. Radi malobrojnosti fosilnih ostataka, starost ovih stijena nije jednoznačno određena, s mogućnošću ne samo jurske već i donjokredne starosti. Sastoje se od pješčenjaka, šejlova, siltita, rožnjaka, glinovitih lapora i vapnenaca. Unutar ovih sedimentnih naslaga se pojavljuju tijela spilita, spilit - keratofira i keratofira, rjeđe dijabaza (ŠIKIĆ, 1990).

Otnang je karakteriziran transgresivnim slatkovodnim naslagama. To su konglomerati, šljunci, pješčenjaci, pijesci, gline, lapori, vapnenci, piroklastiti, bentonitne gline i ugljen. U ovim su sedimentima nađeni mnogi fosili slatkovodnih mekušaca, riba, ostrakoda, alga i dijatomeja (ŠIKIĆ, 1990).

Baden je razdoblje u kojem su transgresivne naslage diskordantno taložene na paleogenske i otnanške stijene. Donjobadenske naslage sastoje se od izmjena konglomerata, šljunaka, pješčenjaka, pijesaka te pjeskovitih glina i lapora. Piroklastiti su prisutni unutar ovih naslaga kao posljedica sinsedimentacijske vulkanske aktivnosti. U bazenskim tipovima okoliša taložene su laporovite naslage s proslojcima vapnenaca, u kojima su nađeni fosili foraminifera, mekušaca i drugih organizama. Karakterističan element badenskih naslaga su mala tijela vapnenačkih sedimenata grebensko - prigrebenskog facijesa uložena u badenske klastite (ŠIKIĆ, 1990).

Sarmat je karakteriziran naslagama koje uglavnom kontinuirano naliježu na badenske naslage, osim u Glinskoj kotlini (Skela-Buzeta-Klasnić) gdje je uočen transgresivan slijed sarmatskih naslaga na starijim stijenama. Taložene su naslage pijesaka, šljunka,

pješčenjaka, konglomerata, pjeskovitih glina, lapora i vapnenaca. Sarmat je bogat fosilima mekušaca, foraminifera i ostrakoda. Važan provodni fosil je *Semseya lamelatta* (ŠIKIĆ, 1990).



Slika 3.1: Isječak iz Osnovne geološke karte RH, M 1:100 000, list Bosanski Novi (ŠIKIĆ, 1990). Crveni pravokutnik na zapadnom rubu karte поближе označava područje u kojem se nalazi istraživani kamenolom (oznaka romba u polukrugu).

Panon je općenito obilježen kontinuiranim slijedom naslaga na sarmatske stijene, ali slično sarmatskim naslagama ponegdje transgresivno naliježe na starije stijene u području Glinske kotline. Dominiraju uslojeni pijesci i poluvezani pješčenjaci u kojima je izražena laminacija. Prisutni su i lapori, vapnenci, laporoviti vapnenci, dok su šljunci i pješčenjaci podređeni. Slatkovodni i polubradični fosili su česti. Neki od važnih fosila su *Radix croatica*, *Congeria partschi partschi*, *C.zsigmondyi* i *Congeria banatica* (ŠIKIĆ, 1990).

Gornji pont je karakteriziran naslagama transgresivnih svojstava koje su diskordantno taložene preko neogenskih i mezozojskih stijena, a u području Hrvatskog Sela nađene su kao tektonsko - erozijski ostaci. Naslage su predstavljene glinovitim i pjeskovitim laporima u starijem dijelu, a u mlađem dijelu laporovitim i glinovitim silitima i pijescima. Sedimentacija ovih naslaga se odvijala unutar Rhomboidea facijesa. Fosilne vrste pronađene u ovim naslagama su *Congeria rhomboidea*, *C. croatica*, *C. brandenburgi*, *C. zagrebiensis* i drugi (ŠIKIĆ, 1990).

Pliocen je razdoblje diskordantnog taloženja naslaga terigenih klastita koji se sastoje od raznobojnih pijesaka i šljunaka, te u manjoj mjeri od konglomerata, pješčenjaka, silita, glina te proslojaka ugljena (ŠIKIĆ, 1990).

Kvartar se na ovom području sastoji od pleistocenskih naslaga kopnenog lesa (gline i siltovi) te holocenskih sedimenata poplava (glinoviti pijesci i siltovi) i naslaga aluvija recentnih tokova (šljunak, pijesak, silt, gline, pjeskoviti muljevi) (ŠIKIĆ, 1990).

4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Petrološka istraživanja ovog područja nisu bila intenzivna. Prvi zapis o magmatskim stijenama Hrvatskog Sela nalazi se u radu KIŠPATIĆA (1899), koji ih je determinirao kao dijabaz sivkasto zelenkaste boje, krupnog zrna i mjestimice pjegavog izgleda. U toj stijeni on je odredio sljedeće minerale: bazični plagioklas, augit, ilmenit, epidot i klorit.

JURKOVIĆ (1958) u okviru svog rada o metalogeniji Petrove gore samo spominje magmatske stijene Hrvatskog Sela citirajući rad KIPŠATIĆA (1899).

Najznačajniji rad o magmatskim stijenama Hrvatskog sela napisali su MAJER & TIŠLJAR (1973) pod nazivom “*Spilit i andezin-dijabaz Velike Trepče u Pokuplju i spilit Hrvatskog Sela kod Topuskog u Baniji (Hrvatska, Jugoslavija)*”.

Pojavu magmatskih stijena u Velikoj Trepči i u Hrvatskom selu autori stavljaju na liniju Lasinja-Bović-Topusko čime ukazuju na pravilnost u pojavljivanju te vjerojatno isto porijeklo i/ili vezu tih magmatskih stijena.

MAJER & TIŠLJAR (1973) su magmatsko tijelo u kamenolomu nedaleko od Hrvatskog sela opisali kao 350 m dug i 50 m debeo sil ili gredu spilitnog sastava. Uočili su da je magmatsko tijelo utisnuto u sedimente, koji su po sastavu dominantno pješčenjak i šejl s proslojcima i lećama rožnjaka. Blizu kontakta ovih stijena pronašli su “izmijenjeni škriljavac”, stijenu listaste teksture i smeđecrvene boje. Isti autori su zaključili da su pješčenjaci, nađeni u okolici kamenoloma, po postanku primarni, homogeni bez izražene slojevitosti, žućkaste boje.

Spilite u kamenolomu MAJER & TIŠLJAR (1973) karakteriziraju kao stijene masivne teksture s brojnim pukotinama i rasjedima. Neke pukotine zapunjava bijela sekundarna parageneza minerala poput kalcita i prehnita. Autori su također uočili da spilit mjestimice pokazuje debelo, bankovito te nepravilno do poligonalno lučenje.

MAJER & TIŠLJAR (1973) razlikuju nekoliko varijeteta spilita, od kojih ističu dva najčešća. Prvi je tamniji varijetet tamnozeleno boje s tamnim, skoro crnim „pjegama“ čest u bazi grede. Pjege su autori pripisali velikim kristalima augita. Drugi varijetet je svjetliji, karakteriziran s više salskih minerala. Već je makroskopski

vidljiva njegova ofitna struktura te se ovaj varijetet češće nalazi u krovini grede. Postoje i prijelazni varijeteti miješanih karakteristika. Raznolikost varijeteta autori su objasnili kao posljedicu intruzije u više faza. Uočili su da je mineralni sastav svih varijeteta isti, a da razlike postoje u omjerima i dimenzijama tih minerala te time i u strukturi i teksturi stijene. Albit, augit i klorit navode kao bitne minerale. Za ilmenit, magnetit, apatit i cirkon autori su napisali da su akcesorni, dok su od sekundarnih minerala opisali kalcit, prehnit, klorit, titanit, leukoksen, talk, kvarc, kalcedon, hematit i moguće pumpellyit.

MAJER & TIŠLJAR (1973) su zaključili da je spilit nastao kristalizacijom magme bogate alkalijama (natrijem) te da je dio mezozojske spilit - keratofirske asocijacije vezane uz Unutrašnje Dinaride.

5. UZORKOVANJE NA TERENU

Uzorkovanje na terenu je izvršeno na dva mjesta u kamenolomu. Šest je uzoraka uzeto iz zapadnog dijela kamenoloma i šest uzoraka iz istočnog dijela kamenoloma.

Slika 5.1. prikazuje zapadni dio kamenoloma i mjesta uzorkovanja prvih 6 uzoraka. Uzorci su birani tako da imaju različite makroskopske karakteristike.



Slika 5.1: Zapadni dio kamenoloma gdje izdanjuje masivno bazično magmatsko tijelo. Crvenim točkicama su prikazana mjesta uzorkovanja stijene za daljnje analize.

Slika 5.2 pokazuje istočni dio kamenoloma. Uzorci su na toj strani magmatskog tijela uzeti na dva različita mjesta. Uzorci 7, 8 i 9 su iz sjevernijeg dijela, a uzorci 10, 11 i 12 iz južnijeg dijela magmatskog tijela. Plavim pravokutnicima su označena ta dva područja, a slika 5.3 ih pobliže prikazuje.



Slika 5.2: Istočni dio kamenoloma. U plavim pravokutnicima su istaknuta dva područja uzorkovanja. Uzorci 7, 8 i 9 su iz sjevernijeg dijela, dok su uzorci 10, 11 i 12 iz južnijeg dijela.



Slika 5.3: Istočni dio kamenoloma. Dijelovi označeni plavim pravokutnicima na slici 5.2 su ovdje pobliže prikazani.

6. ANALITIČKE METODE ISTRAŽIVANJA

U ovom radu su korištene metode polarizacijske mikroskopije, metoda point counter analize te metode emisijske i masene spektroskopije s induktivno spregnutom plazmom.

Od dvanaest uzorkovanih stijena napravljeno je 12 mikroskopskih izbrusaka debljine 30 μm koji su potom zalijepljeni na objektna stakalca. Korištenjem polarizacijskog mikroskopa Leica DM EP s povećanima x2.5, x4 i x10 istražene su petrografske karakteristike, dok su mikroskopom OPTIKA Microscopes i kamerom OPTIKA C-P6 FL izrađene slike uzoraka. Također su izrađene slike cjelokupnih uzoraka koristeći program PROVIEW za potrebe izvođenja point counter analize.

Kemijski sastav odabranih uzoraka ispitan je u laboratoriju u Bureau Veritas Commodities Canada Ltd. u Kanadi. Emisijska spektrometrija s induktivno spregnutom plazmom je korištena za određivanje glavnih elemenata, dok je za elemente u tragovima, uključujući elemente rijetkih zemalja, korištena metoda masene spektrometrije s induktivno spregnutom plazmom.

7. REZULTATI ANALITIČKIH METODA ISTRAŽIVANJA

7.1. PETROGRAFSKI OPIS ISTRAŽIVANIH UZORAKA

7.1.1. Uzorak HS-22-1

Glavni minerali u uzorku su plagioklas i klinopiroksen, dok je ilmenit sporedan. Apatit se javlja kao akcesorni mineral. Sekundarni minerali su predstavljeni s kloritom, sericitom, mineralima glina, prehnitom i kalcitom.

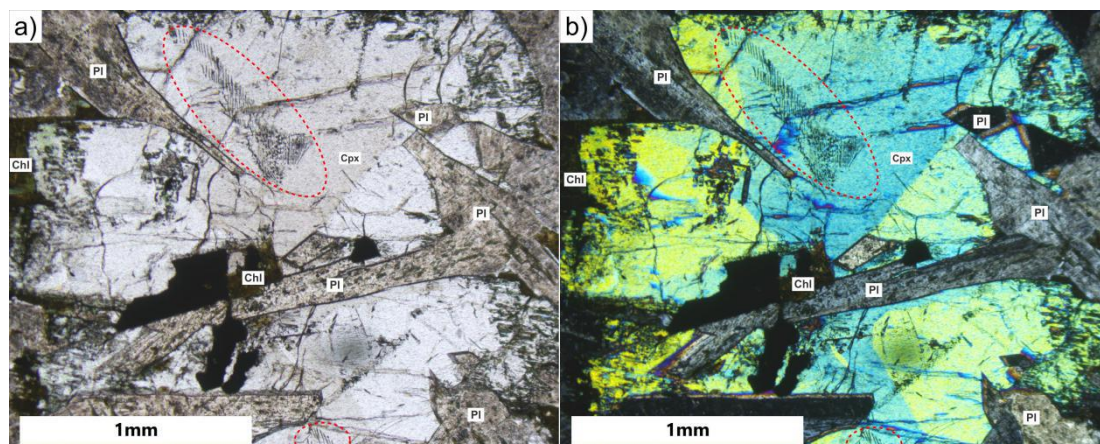
Point counter analiza uzorka je dala sljedeće rezultate: plagioklas 59,31 %, klinopiroksen 8,86 %, ilmenit 6,31 %, klorit, 24,17 %, kalcit 0,15 %, dok je preostalo neodređeno (0,30 %) ili porni prostor (0,90 %).

Plagioklas je hipidiomorfog izduženog do alotriomorfog habitusa. Dimenzije zrna su u rasponu od 3,65x0,64 mm do 0,08x0,05 mm. Zrna pokazuju jednostruke i polisintetske (višestruke) sraslace. Plagioklas je umjereno alteriran u sericit, minerale glina i klorit (Slika 7.1 i 7.2). Izmjena u klorit je često koncentrirana duž sraslačkih šavova u sredini zrna. Mjestimice plagioklas pokazuje znakove resorpcije. Na rubu plagioklasa s kanadskim balzamom Beckeova linija se pomiče u kanadski balzam, stoga je zaključeno da se radi o albitu.

Klinopiroksen je hipidiomorfog do alotriomorfog habitusa. Zrna su umjereno raspucana i veličinom variraju od 2,80x2,70 mm do 0,85x0,55 mm. Pokazuju blagi pleokroizam u putenim bojama, koji je obično karakterističan za Ti-bogat augit. Zrna pokazuju izraženu zonalnu građu, koja se u pojedinim zrnima manifestira u pojavi strukture “pješčanog sata” (Slika 7.1). Dodatno, neka zrna su karakterizirana i pojavom “spužvaste strukture” (Slika 7.1). U pojedinim zrnima klinopiroksena uočeni su relativno pravilni nizovi opakog minerala (moguće spinela), najvjerojatnije se radi o pojavi eksolucije (Slika 7.1). Klinopiroksen pokazuje alteraciju u klorit, primarno pri rubovima. Često uklapa zrna plagioklasa i ilmenita.

Ilmenit je hipidiomorfog do alotriomorfog habitusa. Dimenzija je od 1,80x1,60 mm do 0,28x0,22 mm. Mjestimično pokazuje karakterističnu češljastu strukturu. Neka zrna su alterirana u leukoksen, kriptokristalasti agregat koji nastaje trošenjem Ti-bogatih minerala, sivo-smečkaste boje.

Apatit je idiomorfnog šesterostranog do alotriomorfnog habitusa te je vrlo malih dimenzija (<0,1mm). Javlja se kao uklopak u drugim mineralima, najčešće u plagioklasu.



Slika 7.1: Zrno zonalnog klinopiroksena (Cpx) s uklopcima plagioklasa (Pl) i alteracijom u klorit (Chl) na rubovima. Crvenim iscrtkanim elipsama je označena vjerojatna pojava eksolucije spinela. Pri rubovima zrna klinopiroksena je vidljiva “spužvasta struktura”. a) Slika bez analizatora (N); b) Slika s analizatorom (N+).

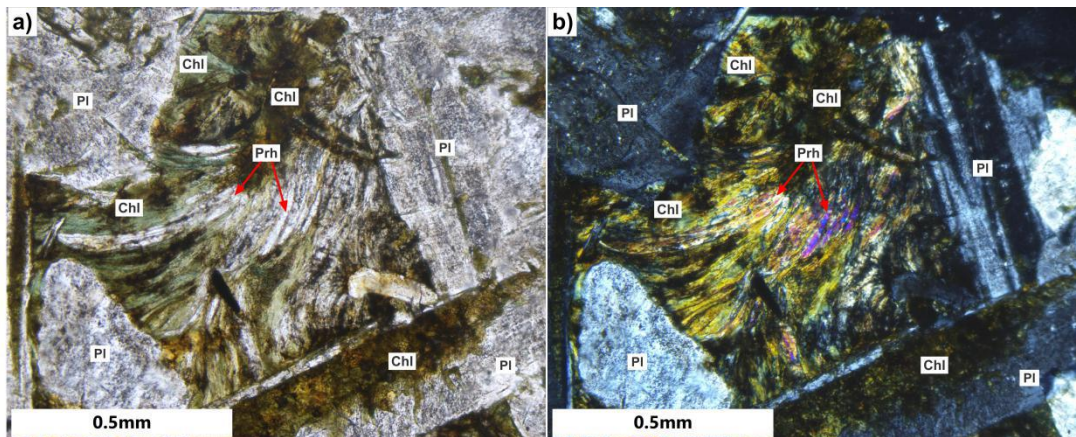
Klorit se najčešće pojavljuje u nepravilnim sitnolistićavim smeđezelenim (maslinastim) agregata, ali i u formi znatno većih zelenih listića. Obje vrste klorita ispunjavaju prostor između ostalih mineralnih zrna, ali se nalaze i uklopljene u drugim mineralima te se pojavljuju kao produkt alteracije plagioklasa i klinopiroksena (Slika 7.2). Krupnolistićavi klorit na nekoliko mjesta uklapa sitnolistićave agregate klorita, iz čega se zaključuje da se razvio nakon sitnolistićavog agregata. Krupnolistićavi klorit pokazuje pleokroitične boje od svijetlo žute do zelene.

Sericit se javlja prvenstveno kao sitnolistićavi produkt alteracije plagioklasa (Slika 7.2).

Minerali glina su produkti alteracije plagioklasa. Pod mikroskopom se vide kao kriptokristalasti agregati sivo smečkaste boje (Slika 7.2).

Prehnit se javlja u radijalno zrakastim agregatima u intergranularnom prostoru, karakteriziran živim interferencijskim bojama (Slika 7.2).

Kalcit ispunjava rijetke pukotine u formi agregata.



Slika 7.2: Agregat dvije vrste klorita (Chl), smeđezelenog agregata i zelenih listića, i prehnita (Prh) u intergranularnom prostoru između štapića plagioklasa (Pl). Vidljiva je alteracije plagioklasa (Pl) u klorit (Chl) na rubu i u sredini nekih štapića, te izmjena u minerale glina i sericit. Zrno plagioklasa desno od agregata klorita i prehnita pokazuje polisintetske sraslačke lamele. a) Slika bez analizatora (N); b) Slika s analizatorom (N+).

Stijena je karakterizirana **intergranularnom** (Slika 7.2) i mjestimično **ofitnom** strukturom te homogenom teksturom. Prema mineralnom sastavu i strukturi stijena je klasificirana kao **spilit**. U usporedbi s ostalim istraživanim uzorcima može se reći da je ovaj krupnozrnatiiji.

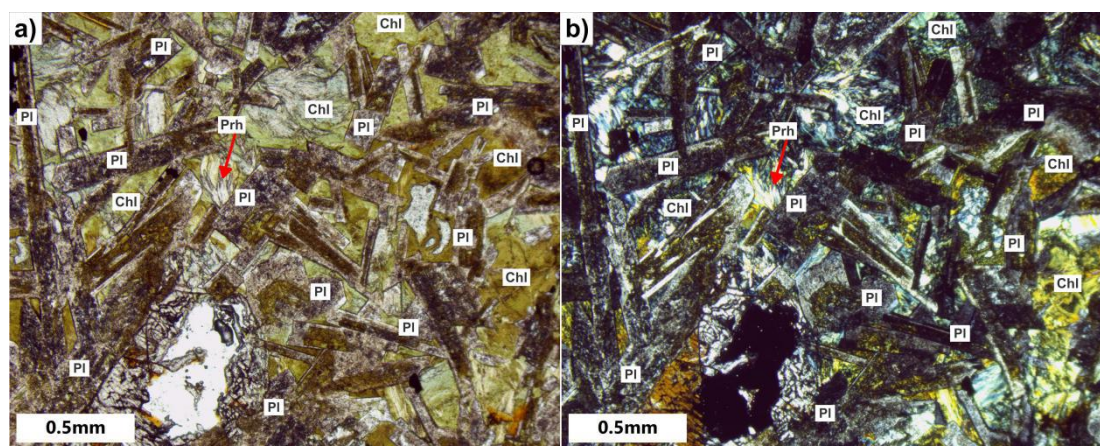
7.1.2. Uzorak HS-22-2

Glavni minerali u uzorku su plagioklas i klinopiroksen. Također su prisutni ilmenit kao sporedni mineral i apatit kao akcesorni. Sekundarni minerali u uzorku su klorit, sericit, minerali glina, prehnit, kalcit i kvarc.

Provođenjem point counter analize je ustanovljeno da uzorak sadrži 48,41 % plagioklasa, 14,60 % klinopiroksena, 5,24 % ilmenita, 21,27 % klorita, 5,08 % prehnita i 0,16% kvarca. Ostatak je neodređen (1,43 %) ili pripada pornom prostoru (3,81 %).

Plagioklas je idiomorfnog štapićastog do alotriomorfnog habitusa. Zrna su dimenzija od 1,70x0,25 mm do 0,13x0,07 mm. Uočavaju se karakteristične polisintetske sraslačke lamele i poneki jednostruki sraslac te uklopici apatita. Plagioklas je umjereno alteriran u minerale glina, sericit i klorit. Alteracije su koncentrirane u sredini zrna, ukazujući na drugačiji sastav jezgre od ruba minerala (Slika 7.3). Analizom Beckeove

linije na granicama s kanadskim balzomom dobiveno je da plagioklas ima relativno manji indeks loma što odgovara albitu.



Slika 7.3: Štapići plagioklasa (Pl) s kloritom (Chl) i prehnitom (Prh) u intergranularnom prostoru. Pojedini štapići plagioklasa (Pl) su intenzivno kloritizirani u središtu. Na slici je vidljiva i izmjena plagioklasa u minerale glina. a) Slika bez analizatora (N); b) Slika s analizatorom (N+).

Klinopiroksen je hipidiomorfog do alotriomorfog habitusa. Veličina zrna varira od 3,15x1,55 mm do 0,75x0,45 mm. Rijetko se javljaju jednostruki sraslaci. Zrna klinopiroksena su raspucana, a pri rubu nekih se uočava slaba alteracija u klorit. Ponegdje se vide relikti klinopiroksena u kloritu, što upućuje na potpunu kloritizaciju određenih zrna. Uklopki plagioklasa i imenita su učestali (Slika 7.4).

Ilmenit je hipidiomorfog do alotriomorfog habitusa (Slika 7.4). Dimenzija zrna je u rasponu od 2,20x1,82 mm do 0,22x0,10 mm. Na nekima se uočava karakteristična češljasta struktura. Ilmenit je mjestimično alteriran u leukoksen, sivo-smečkasti kriptokristalasti agregat.

Apatit je idiomorfog šesterostranog do alotriomorfog habitusa u baznom presjeku. Dimenzije zrna su do 0,08x0,05 mm, no većina ih je manja.

Klorit je prvenstveno prisutan u sitnolistićavim agregatima maslinasto zelene boje ali se pojavljuju i krupniji listići klorita koji pokazuju pleokroizam u svjetlozelenim do zelenim bojama. Obje vrste klorita se nalaze u intergranularnom prostoru među štapićima plagioklasa, ali se javljaju i kao alteracije unutar plagioklasa i klinopiroksena (Slika 7.3).

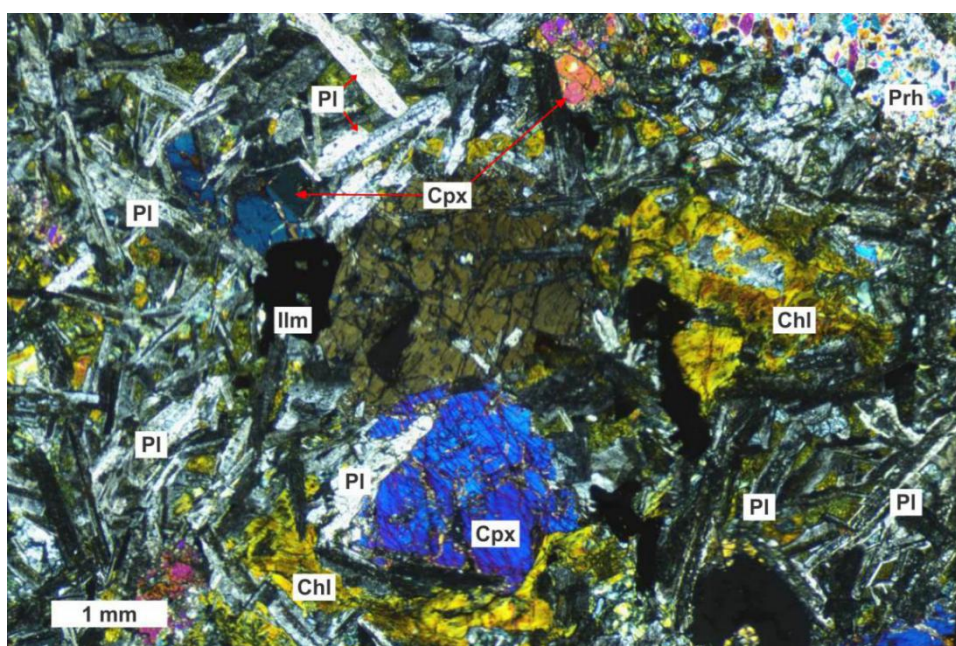
Sericit je produkt trošenja plagioklasa te dolazi u sitnolistićavom habitusu.

Minerali glina su produkti trošenja plagioklasa. Vide se kao sivosmečkaste mrlje na mineralima (Slika 7.3).

Prehnit popunjava jednu veliku pukotinu i par manjih (Slika 7.4). Zrna su alotriomorfno habitusa. Prepoznatljiva su po visokim interferencijskim bojama 2. reda (do ljubičastoplave).

Kalcit se pojavljuje mjestimično uz prehnit u pukotinama.

Kvarc je alotriomorfno habitusa i pojavljuje se unutar par manjih pukotina (uz veliku pukotinu ispunjenu prehnitom).



Slika 7.4: Zrna klinopiroksena (Cpx) s uklopcima plagioklasa (Pl). Štapići plagioklasa (Pl) mjestimice pokazuju alteraciju u klorit u središtu. Klorit (Chl) se nalazi u intergranularnom prostoru i kao veliki agregati. zrno ilmenita (Ilm) je vidljivo pored klinopiroksena (Cpx) u centru slike. U gornjem desnom kutu se uočava prehnit (Prh) u žili. N+

Struktura stijene je **intergranularna** (Slika 7.3), mjestimice **ofitna** (Slika 7.4), a tekstura je homogena. Na temelju mineralnog sastava i strukture stijena je imenovana **spilitom**. Ovaj uzorak je sitnozrnatiji u odnosu na druge istraživane uzorke.

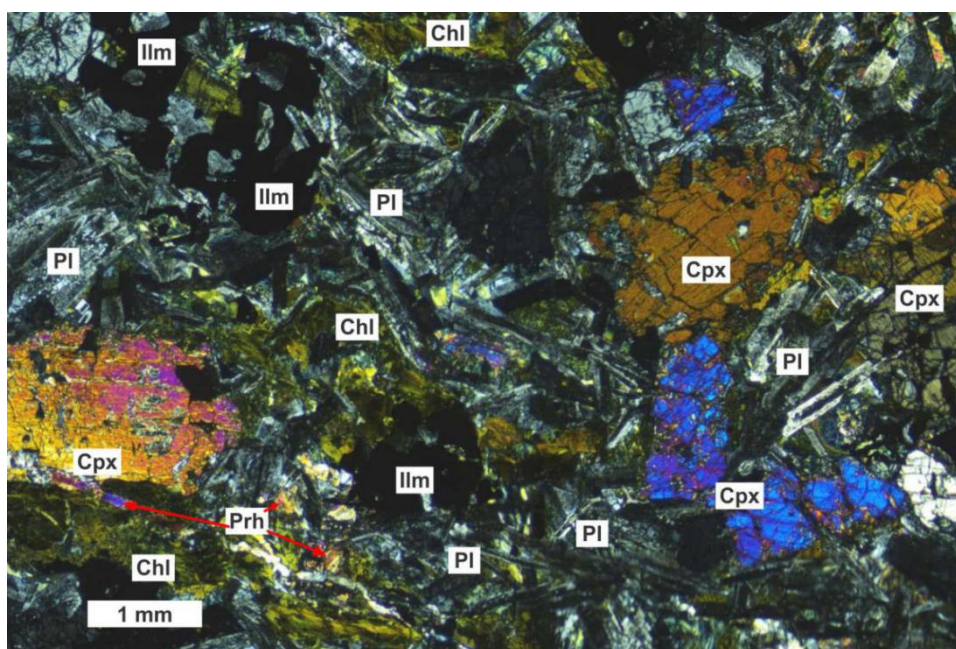
7.1.3. Uzorak HS-22-3

Glavni minerali u uzorku su plagioklas i klinopiroksen. Ilmenit je sporedni, dok je apatit akcesorni. Sekundarni minerali su klorit, sericit, minerali glina, prehnit, kalcit i kvarc.

Udio pojedinih minerala izračunat point counter analizom je sljedeći: 46,62 % plagioklasa, 14,83 % klinopiroksena, 5,11 % ilmenita, 29,32 % klorita, 0,33 % kalcita, 1,65 % prehnita. Preostalo je neodređeno (0,33 %) ili praznine/pore (1,81 %).

Plagioklas je idiomorfnog do hipidiomorfnog štapićastog habitusa. Zrna pokazuju polisintetske i jednostruke sraslace. Veličina im varira od 1,80x0,35 mm do 0,25x0,08 mm. Alteracija u sericit, klorit, i minerale glina je umjerena, i to osobito u jezgri zrna (Slika 7.5). Česti su uklopoci apatita. Na rubu plagioklasa s kanadskim balzomom Beckeova linija se pomiče u kanadski balzam, stoga je zaključeno da se radi o albitu.

Klinopiroksen je hipidiomorfnog do alotriomorfnog habitusa. Većina zrna je umjereno do jako raspucana, te mnoga od njih pokazuju jednostruke sraslace. Dimenzija su od 3,60x2,05 mm do 0,65x0,40 mm. Uočava se slaba alteracija u klorit, primarno na rubovima zrna. Česti su uklopoci plagioklasa i ilmenita (Slika 7.5 i 7.6).



Slika 7.5: Štapići plagioklasa (Pl) u središtu alterirani u klorit (Chl), koji se također pojavljuje u intergranularnom prostoru i velikim agregatima. Zrna klinopiroksena (Cpx) pokazuju slabo trošenje u klorit na rubovima te uklapaju plagioklas (Pl). Ilmenit (Ilm) pokazuje karakterističnu skeletnu strukturu. Prehnit (Prh) se javlja u pukotini i intergranularnom prostoru. N+

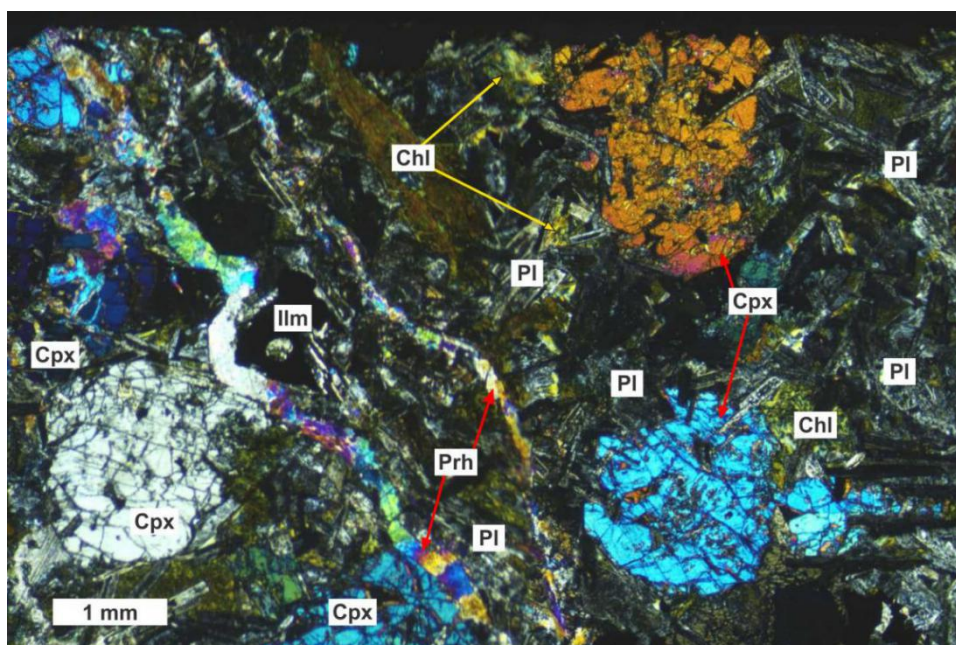
Ilmenit je opaki mineral hipidiomorfnog do alotriomorfnog habitusa. Zrna su različitih veličina, od 1,70x1,25 mm do 0,25x0,20 mm. Mjestimice se opaža skeletna struktura ilmenita (Slika 7.5). Vidljiva je alteracija u smečkasti kriptokristalasti agregat, leukoksen.

Apatit je idiomornog šesterostranog do alotriornog habitusa. Dimenzije su manje od 0,1 mm u promjeru, i uočen je prije svega kao uklopak u plagioklasu.

Klorit je u najvećoj mjeri zastupljen u intergranularnom prostoru, ali javlja se i kao alteracija po rubovima klinopiroksena i u jezgri plagioklasa. Dolazi u sitnolistićavim agregatima smečkastozelene boje te krupnijih listića, koji pokazuju pleokroizam od svijetlo žute do zelene boje (Slika 7.6).

Sericit je sitnolistićavi produkt trošenja plagioklasa.

Minerali glina su produkti trošenja plagioklasa. Vide se kao kriptokristalasti agregati sivo-smečkaste boje.



Slika 7.6: Štapići plagioklasa (Pl) mjestimice pokazuju alteraciju u klorit u središtu. Klorit (Chl) se također vidi u intergranularnom prostoru i kao veliki agregat smeđezelene interferencijske boje. Zrna klinopiroksena (Cpx) su raspucala, uklapaju plagioklas te su slabo alterirana u klorit pri rubovima. Između dvije pukotine ispunjene prehnitom (Prh) se nalazi zrno ilmenita (Ilm). N+

Prehnit se nalazi u nekoliko pukotina u uzorku. Zrna su alotriornog habitusa i imaju karakterističnu interferencijsku boju 2. reda (Slika 7.5 i 7.6).

Kalcit je smješten u pukotinama s prehnitom. Prepoznatljiv je po bijelim interferencijskim bojama viših redova.

Kvarc je nađen u jednoj od pukotina, i to svega par alotriornih zrna.

Stijena je karakterizirana prije svega **intergranularnom**, a samo mjestimično i **ofitnom** strukturom te homogenom teksturom (Slika 7.6). Na osnovi mineralnog sastava i strukture stijena je klasificirana kao **split**. Ova stijena je također u odnosu na druge istraživane stijene sitnozrnatiya.

7.1.4. Uzorak HS-22-4

Glavni minerali u uzorku su plagioklas i klinopiroksen. Ilmenit je sporedni, a apatit je akcesorni. Sekundarni minerali su predstavljeni s kloritom, sericitom, mineralima glina, prehnitom i kalcitom.

Napravljena je point counter analiza uzorka kojom su dobiveni udjeli minerala. Uzorak sadrži 59,20 % plagioklasa, 6,13 % klinopiroksena, 5,98 % ilmenita, 22,09 % klorita, 0,61 % prehnita, dok je 4,75 % neodređeno i 1,23 % su praznine/pore.

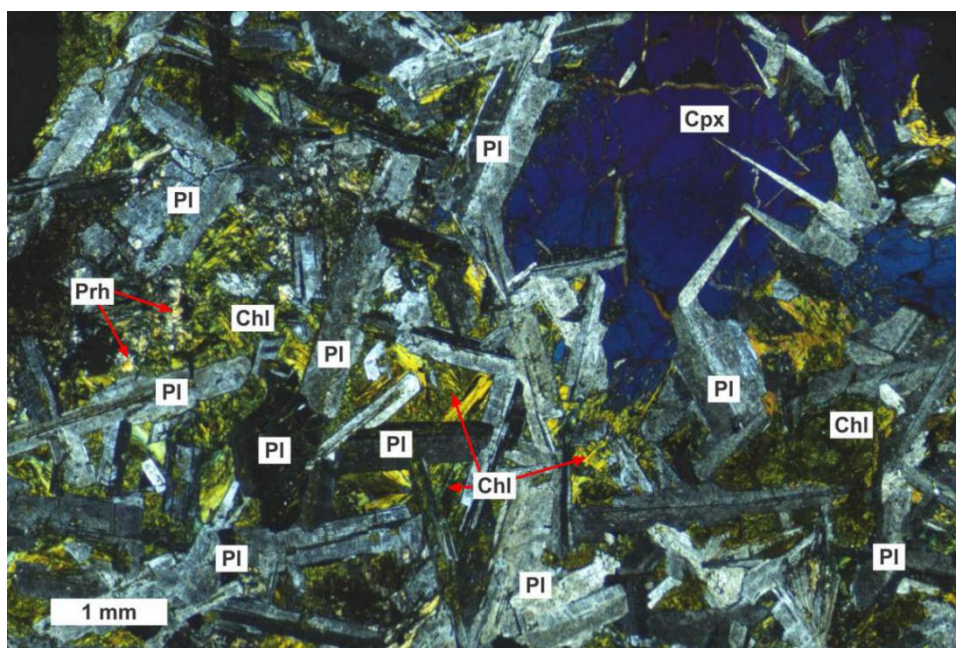
Plagioklas je hipidiomorfno izduženog do alotriomorfno habitusa. Kada je uklopljen u klinopiroksen karakteriziran je igličastim habitusom (Slika 7.7). Zrna imaju izražene sraslace, višestruke i jednostruke. Raspon veličine je od 2,75x0,55 mm do 0,30x0,12 mm. Pokazuje slabo izraženu zonaciju. Plagioklas je umjereno alteriran u sericit i minerale glina, rjeđe u klorit, pri čemu je alteracija intenzivnija u jezgri plagioklasa, a uklapa zrna apatita. Na rubu plagioklasa s kanadskim balzomom Beckeova linija se pomiče u kanadski balzam, stoga je zaključeno da se radi o albitu.

Klinopiroksen je alotriomorfno habitusa. Dimenzija zrna varira od 3,75x3,65 mm do 1,25x0,95 mm. Vidljiva je zonalna građa, a u pojedinim zrnima blago izražen pleokroizam od bezbojne do putenaste boje. Većina zrna klinopiroksena pokazuje slabu kloritizaciju na rubovima. Ponegdje je vidljiv reliktni klinopiroksen preostao nakon što je zrno gotovo u potpunosti alterirano u klorit. Često uklapa plagioklas (Slika 7.7 i 7.8).

Ilmenit je opaki mineral hipidiomorfno do alotriomorfno habitusa. Veća zrna pokazuju karakterističnu skeletnu strukturu (Slika 7.8) i izmjenu u leukoksen. Veličina ilmenita seže od 2,50x2,30 mm do 0,45x0,30 mm.

Apatit se javlja u obliku zrna idiomorfnog šesterostranog do alotriomornog habitusa manjih dimenzija (<0,1 mm promjera) i prvenstveno je uočen kao uklopak u plagioklasu.

Klorit je smješten u intergranularnom prostoru te u zrnima plagioklasa i klinopiroksena kao alteracija. Pojavljuje se u dva tipa, kao sitnolistićavi agregat zeleno smečkaste boje i u većim listićima svijetlo zelene do zelene pleokroitske boje (Slika 7.7).



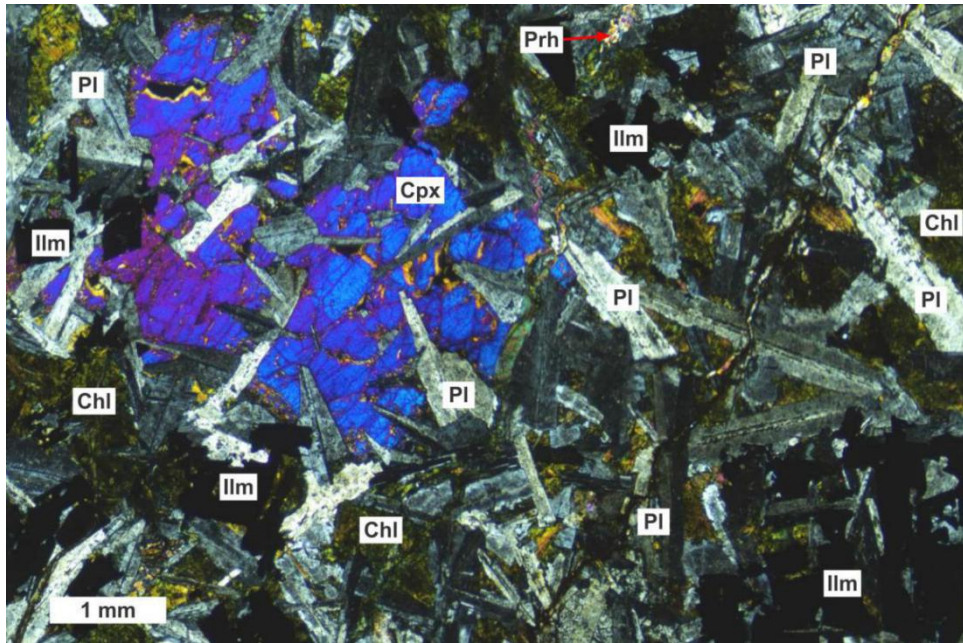
Slika 7.7: Zrna plagioklasa (Pl) su slabo alterirana u klorit i minerale glina. Klorit (Chl) se vidi i u intergranularnom prostoru žutih do zelenih anomalnih interferencijskih boja. Klinopiroksen (Cpx) uklapa iglice i štapiće plagioklasa. Prehnit (Prh) se nalazi na lijevoj strani slike u obliku sitnih agregata. N+

Sericit je sitnolistićavog habitusa, nastao kao produkt alteracije plagioklasa.

Minerali glina su produkti trošenja plagioklasa, a vide se kao sivo smečkasti agregati.

Prehnit ispunjava nekoliko manjih pukotina. Ističe se po jarkim interferencijskim bojama 2. reda i lepezastim agregatima (Slika 7.7 i 7.8).

Kalcit je također vezan isključivo uz pukotine.



Slika 7.8: Klinopiroksen (Cpx) uklapa mnoga zrna plagioklasa (Pl), prikazujući ofitnu strukturu. Zrna plagioklasa (Pl) i klorit (Chl) u prostoru između njih prikazuju intergranularnu strukturu. Ilmenit (Ilm) u donjem desnom kutu slike ima karakterističnu skeletnu strukturu. Pri vrhu slike se vidi prehnit (Prh). N+

Stijena ima homogenu teksturu, te **intergranularnu** do mjestimice izraženu **ofitnu** strukturu (Slika 7.8). Na temelju mineralnog sastava i strukture uzorak je klasificiran kao **spilit**. Uzorak je krupnozrnat.

7.1.5. Uzorak HS-22-5

Glavni minerali u uzorku su plagioklas i klinopiroksen, dok je ilmenit sporedni. Apatit je akcesorni mineral. Klorit, sericit, minerali glina, prehnit, kalcit, epidot i kvarc su sekundarni.

Udjeli minerala izračunati point counter analizom su sljedeći: 58,04 % plagioklasa, 7,89 % klinopiroksena, 4,91 % ilmenita, 23,81 % klorita, 2,23 % kalcita, 0,45 % prehnita i 0,89 % epidota. Neodređeno je 0,45 %, a 1,34% su praznine/pore.

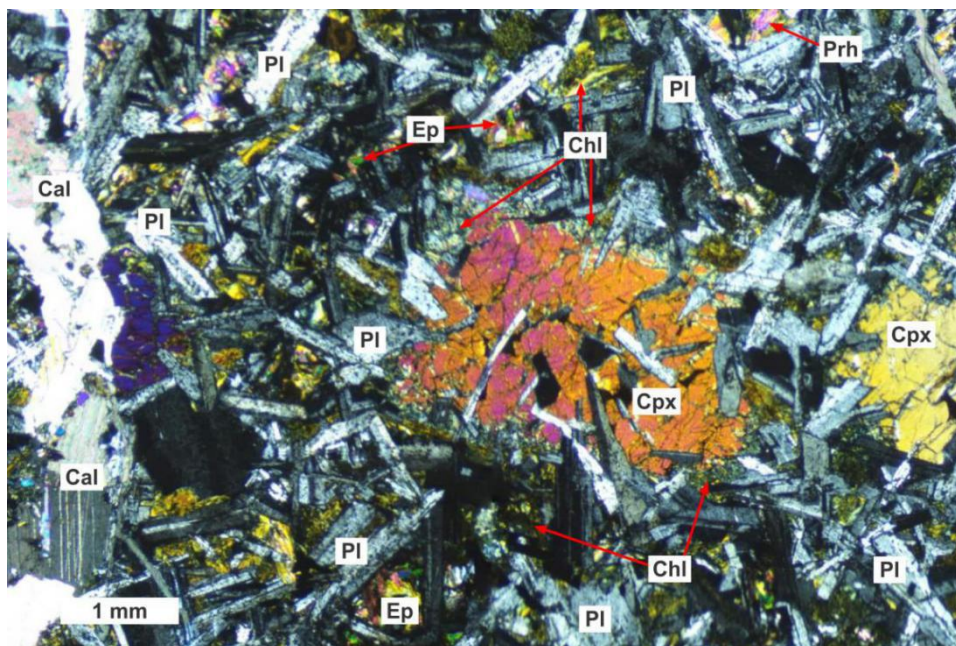
Plagioklas je hipidiomorfog štapićastog do alotriomorfog habitusa. Zrna veličinom variraju od 1,85x0,30 mm do 0,20x0,10 mm. Vidljivi su jednostruki i polisintetski sraslaci. Slabo je zoniran te mjestimice pokazuje resorpciju. Plagioklas je umjereno izmijenjen u minerale glina, sericit i klorit (Slika 7.10). Uklopoci apatita su česti. Na

rubu plagioklasa s kanadskim balzomom Beckeova linija se pomiče u kanadski balzam, stoga je zaključeno da se radi o albitu.

Klinopiroksen je alotriomornog habitusa. Raspon veličina zrna je od 3,10x2,30 mm do 1,10x0,75 mm. Alteracije u klorit su umjerene i koncentrirane na rubove zrna. Klinopiroksen uklapa plagioklas i ilmenit (Slika 7.9).

Ilmenit je opaki mineral hipidiomornog skeletnog do alotriomornog habitusa. Dimenzije zrna su raznolike, od 3,60x3,50 mm do 0,35x0,28 mm. Mjestimice se vidi alteracija u leukoksen koji je sivo smečkaste boje.

Apatit je hipidiomornog šesterostranog do alotriomornog habitusa. Pronalazi se u baznom presjeku. Zrna su vrlo malih dimenzija (< 0,1 mm) i najčešće uklopljena u plagioklasu.



Slika 7.9: Zrno klinopiroksena (Cpx) u centru slike je alterirano u klorit (Chl) na rubovima te uklapa štapiće plagioklasa (Pl) što predstavlja ofitnu strukturu. Klorit (Chl), prehnit (Prh) i epidot (Ep) se nalaze u intergranularnom prostoru između zrna plagioklasa (Pl) i tvore intergranularnu strukturu. Lijevi rub slike prikazuje zrna kalcita (Cal) koja ispunjavaju pukotinu. N+

Klorit dolazi u sitnolistićavim agregatima maslinasto zelene boje, koji su altriomornog oblika, ali i u krupnim listićima koji pokazuju pleokroizam u blijedo žutozelenoj do zelenoj boji. Najčešće zapunjava intergranularni prostor, ali se javlja i kao produkt alteracije plagioklasnih jezgara i rubova klinopiroksena.

Sericit je produkt alteracije plagioklasa. Očituje se kao sitni listići po plagioklasu.

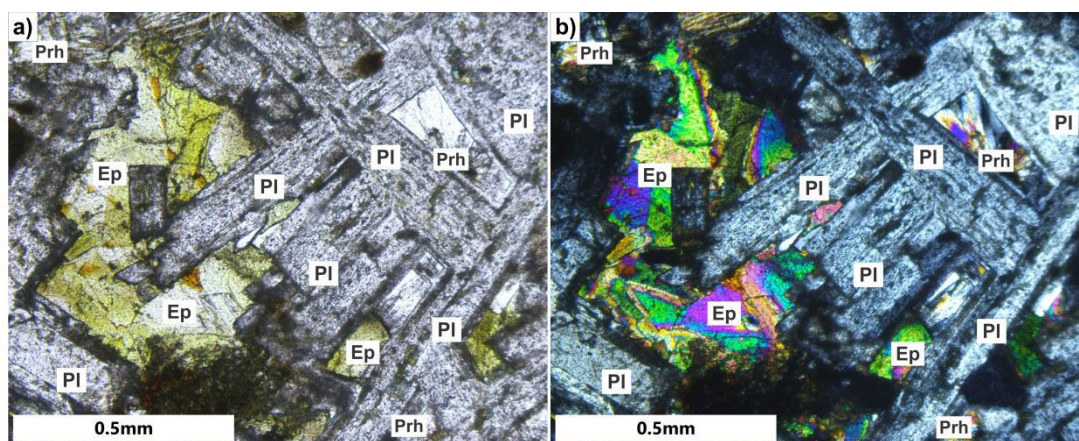
Minerali glina su produkti alteracije plagioklasa te se prepoznaju kao sivo smečkasti kriptokristalasti agregat (Slika 7.10).

Prehnit je alotriomornog habitusa. Pojavljuje se u lepezastim agregatima u intergranularnom prostoru (Slika 7.10).

Kalcit je alotriomornog habitusa. Ispunjava jednu veliku pukotinu i nekoliko manjih (Slika 7.9).

Epidot je alotriomornog habitusa i javlja se u krupnozrnatim agregatima. Nalazi se u intergranularnom prostoru kao i klorit. Ima svijetlo žutozelenu do zelenu pleokroitičnu boju (Slika 7.10).

Kvarc je alotriomornog habitusa i slično kalcitu zapunjava nekoliko manjih pukotina.



Slika 7.10: Zrna plagioklasa (Pl) su alterirana u klorit i minerale glina. U intergranularnom prostoru se vidi epidot (Ep) karakteristične žuto zelene boje te bezbojni prehinit (Prh) radijalno zrakastih agregata. a) Slika bez analizatora (N); b) Slika s analizatorom (N+).

Uzorak HS-22-5 je uzorkovan jer je na makroskopskoj razini već pokazivao interesantne tamne pjege, krupnozrnati ilmenit. Od ostalih se dosadašnjih uzoraka razlikuje pojavom epidota u intergranularnom prostoru. Stijena ima **intergranularnu** do mjestimično **ofitnu** strukturu (Slika 7.9), a tekstura joj je homogena. Na osnovu mineralnog sastava i strukture stijena je imenovana **spilitom**. Uspoređujući zrna plagioklasa i klinopiroksena u drugim uzorcima stijena, ova stijena je sitnozrnatija.

7.1.6. Uzorak HS-22-6

Glavni minerali u uzorku su plagioklas i klinopiroksen, a ilmenit je sporedni. Akcesorni mineral je apatit, dok su sekundarni klorit, sericit, minerali glina, prehnit, kalcit i epidot.

Provedena je point counter analiza uzorka te su dobiveni sljedeći udjeli minerala u uzorku: 52,35 % plagioklasa, 16,77 % klinopiroksena, 6,58 % ilmenita, 21,16 % klorita, 1,25 % prehnita i 0,16 % epidota. 0,78 % uzorka je neodređeno i 0,94 % su praznine/pore.

Plagioklas je hipidiomorfog štapićastog do alotriomorfog habitusa. Veličina zrna varira od 1,85x0,45 mm do 0,25x0,10 mm. Vide se karakteristični jednostruki i polisintetski sraslaci. U nekim većim zrnima vidljiva je slaba zonalnost. Pojedina zrna pokazuju resorpciju na rubovima. Plagioklas je umjereno alteriran u minerale glina i klorit, te slabo izmijenjen u sericit (Slika 7.11). Apatit se javlja kao uklopak u plagioklasu. Na rubu plagioklasa s kanadskim balzomom Beckeova linija se pomiče u kanadski balzam, stoga je zaključeno da se radi o albitu.

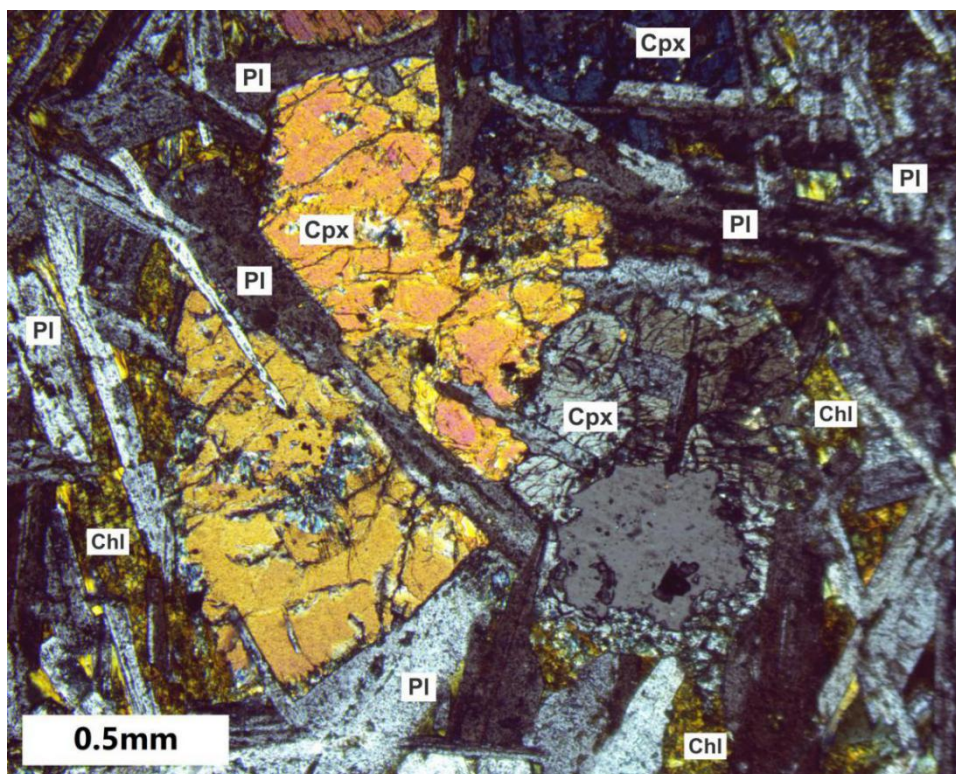
Klinopiroksen je hipidiomorfog do alotriomorfog habitusa. Rijetka zrna pokazuju jednostruke sraslace. Veličinom variraju u rasponu od 2,60x2,05 mm do 0,85x0,45 mm. Klinopiroksen je trošen u klorit, prvenstveno na rubovima, a na kojima pojedina zrna također pokazuju i resorpciju (Slika 7.11). Zrna su dosta raspucana i uklapaju štapiće plagioklasa i zrna ilmenita (Slika 7.11 i 7.12).

Ilmenit je opaki mineral hipidiomorfog skeletnog do alotriomorfog habitusa (Slika 7.12). Mjestimice se uočava alteracija u leukoksen sivo smečkaste boje. Dimenzije zrna su od 1,65x1,30 mm do 0,35x0,25 mm.

Apatit je akcesorni mineral hipidiomorfog šesterostranog do alotriomorfog habitusa. Dimenzije zrna su relativno male (< 0,1 mm) i uobičajeno se javlja kao uklopak u plagioklasu.

Klorit je sekundarni mineral koji se javlja u smeđezelenim sitnolistićavim agregatima ali i u obliku krupnijih listića karakteriziranim sa svjetložutim do zelenim pleokroitskim bojama. Krupniji listići klorita na nekim mjestima uklapaju dijelove smeđezelenih sitnolistićavih agregata, pa je zaključeno da su mlađi. Obje vrste klorita

nalaze se u intergranularnom prostoru između štapića plagioklasa ali se javljaju i kao alteracija na rubovima klinopiroksena (Slika 7.11. i 7.12).



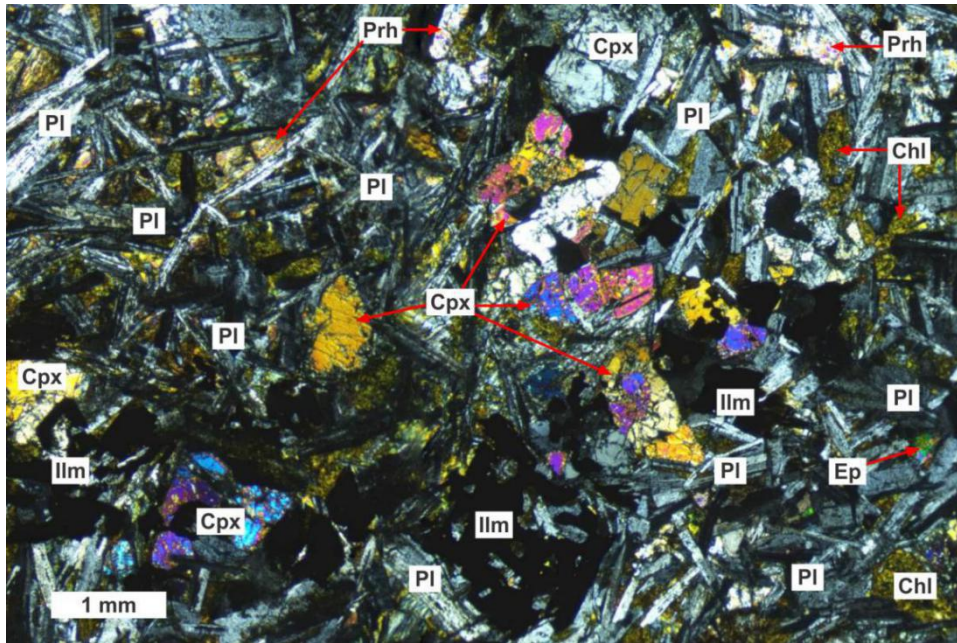
Slika 7.11: Klinopiroksen (Cpx) u središtu uklapa plagioklas (Pl) i pokazuje resorpciju na rubu zrna. Klorit (Chl) se nalazi između štapića plagioklasa (Pl) koji su slabo alterirani u klorit i minerale glina. N+

Sericit je produkt trošenja plagioklasa. Javlja se u obliku sitnih listića.

Minerali glina su produkti trošenja plagioklasa u kojima se vide kao sivo-smečkasti agregati (Slika 7.11).

Prehnit i **kalcit**, za razliku od prethodnih uzoraka, ne dolaze u žilicama već su mjestimice smješteni u intergranularnom prostoru (Slika 7.12).

Epidot se pojavljuje slično kao i u prethodnom uzorku, znači u obliku nepravilnih zrnatih agregata u intergranularnom prostoru, ali u manjoj količini (Slika 7.12).



Slika 7.12: Zrna klinopiroksena (Cpx) mjestimice uklapaju plagioklas (Pl). Štapići plagioklasa (Pl) zajedno s kloritom (Chl), prehnitom (Prh) i epidotom (Ep) u međuprostoru formiraju intergranularnu strukturu. Zrna ilmenita (Ilm) pri dnu slike pokazuju tipičnu skeletnu strukturu. N+

Uzorak HS-22-6 je uzet na terenu za proučavanje iz sličnih razloga kao i prethodni uzorak, tj. makroskopski je pokazivao interesantne pjege. Na mikroskopskoj razini se ipak razlikuje od uzorka HS-22-5 po manjoj količini epidota i manjim zrnima ilmenita. Također pripada u sitnozrnatiye stijene kao i uzorak HS-22-5. Tekstura je homogena, dok je struktura **intergranularna** i mjestimice, premda rijetko, **ofitna** (Slika 7.11). Uzevši u obzir mineralni sastav stijene i strukturu zaključeno je da proučavani uzorak stijene **spilit**.

7.1.7. Uzorak HS-22-7

Glavni minerali u uzorku su plagioklas i klinopiroksen, dok je sporedni ilmenit. Apatit je akcesorni, a sekundarni minerali su klorit, sericit, minerali glina, prehnit i kalcit.

Point counter analizom su određeni volumni udjeli minerala. Uzorak sadrži 42,71 % plagioklasa, 10,27 % klinopiroksena, 5,65 % ilmenita, 17,11 % klorita, 1,93 % kalcita i 3,42 % prehnita. Neodređena ispuna brečiranog dijela uzorka iznosi 18,90 %.

Plagioklas je hipidiomorfog štapićastog do alotriomorfog habitusa. Ponegdje uklopljen unutar klinopiroksena je igličastog habitusa. Dimenzije zrna su od

1,85x0,25 mm do 0,25x0,15 mm. Vidljivi su jednostruki i polisintetski sraslaci. Mjestimice uklapa zrna apatita. Plagioklas je izmijenjen umjereno u minerale glina i klorit te slabo u sericit. Karakteristično je da su alteracije koncentrirane u jezgri plagioklasa. Na rubu plagioklasa s kanadskim balzomom Beckeova linija se pomiče u kanadski balzam, stoga je zaključeno da se radi o albitu.

Klinopiroksen je alotriomorfno habitusa. Zrna veličinom variraju od 3,95x2,10 mm do 0,45x0,30 mm. Pokazuju blagi pleokroizam u bezbojnoj do putenastim bojama, koja je obično karakteristična za Ti-bogat augit. Zrna nisu homogena, već pokazuju zonalnu građu. Rijetko, ali kao i u uzorku HS-22-1, u pojedinim zrnima su uočeni pravilni nizovi opakog minerala (moguće spinela), najvjerojatnije se radi o pojavi eksolucije. Zrna su umjereno raspucala i na rubovima slabo alterirana u klorit. Prisutni su uklopki plagioklasa i ilmenita (Slika 7.14).

Ilmenit je opaki mineral hipidiomorfno skeletnog do alotriomorfno habitusa. Mjestimice se vidi alteracija u kriptokristalasti leukoksen koji je sivo smečkaste boje. Dimenzije zrna ilmenita su raznolike, od 2,20x2,00 mm do 0,35x0,30 mm.

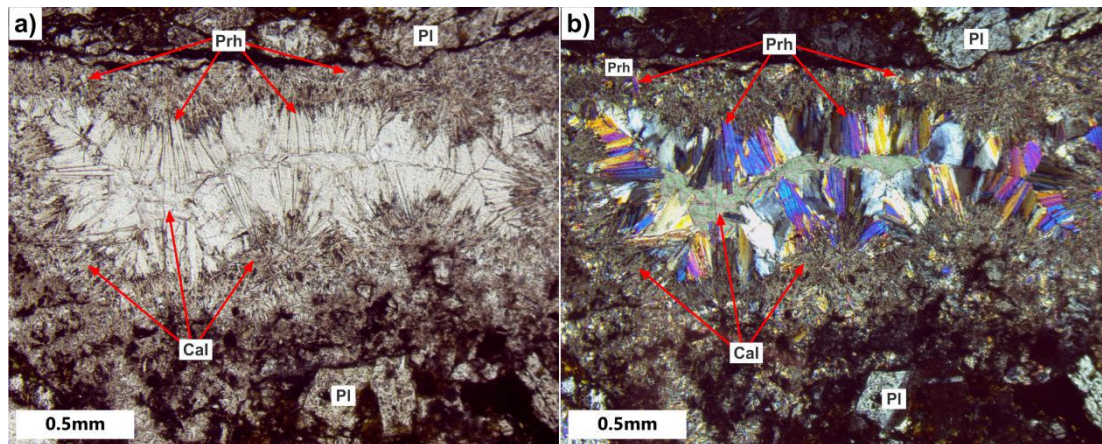
Apatit je idiomorfno šesterostrano habitusa do alotriomorfno habitusa. Najčešće je uočen kao sitni uklopak u plagiokasu, rjeđe u drugim mineralima.

Klorit se i u ovom uzorku javlja većinom kao nepravilni sitnolistićavi smeđezeleni agregat te kao krupniji listići karakterizirani pleokroizmom od žućkastih do zelenih boja, i to u intergranularnom prostoru, ali i kao produkt alteracije plagioklasnih jezgara te rubova klinopiroksena.

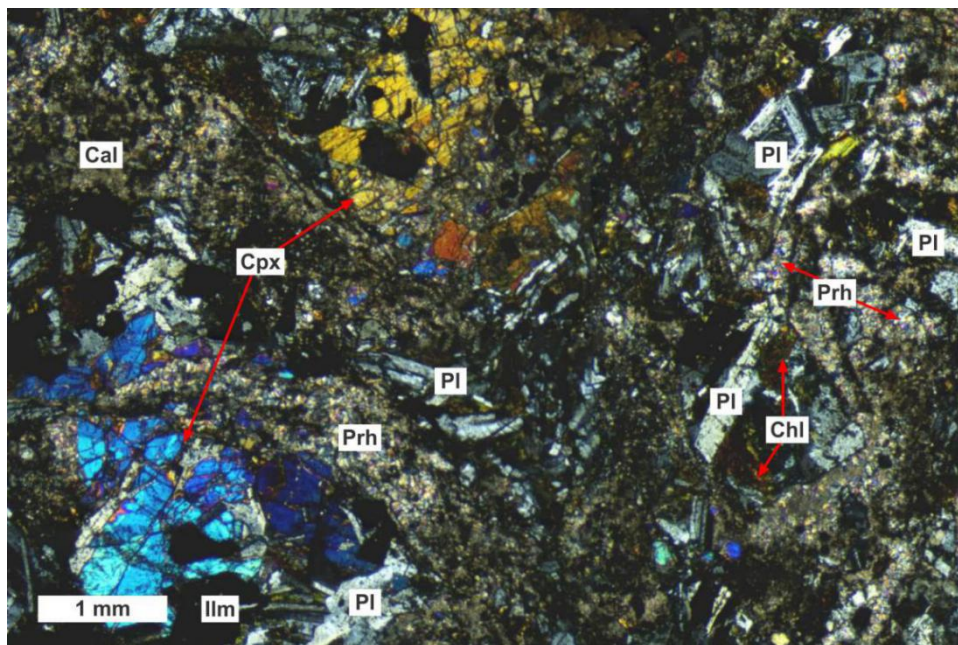
Sericit je produkt trošenja plagioklasa te se javlja u obliku sitnolistićavih agregata.

Minerali glina su produkt trošenja plagioklasa. Prepoznatljivi su po smečkasto sivoj boji agregata.

Prehnit i **kalcit** popunjavaju sve velike pukotine u uzorku. Kalcit je većinom kriptokristalast na rubovima pukotina, a krupnozrnat u njezinoj sredini, dok su zrna prehrita veća i lako uočljiva po svojim jarkim interferencijskim bojama i lepezastoj formi, tvoreći atraktivne lečaste forme (Slika 7.13) na mikroskali.



Slika 7.13: Pukotina na slici je ispunjena kriptokristalastim agregatima kalcita (Cal) na rubu i alotriomorfnim kristalima kalcita (Cal) u sredini pukotine koja su okružena zrakastim agregatima prehnita (Prh). Na rubu pukotine se nalaze i sitnozrnati agregati prehnita (Prh). a) Slika bez analizatora (N); b) Slika s analizatorom (N+).



Slika 7.14: Brečirani dio uzorka u pukotini. Vidi se ispuna od kriptokristalastog kalcita (Cal) i sitnozrnatog prehnita (Prh), krhotina minerala (Cpx, Pl) i stijene. Zrna klinopiroksena (Cpx) uklapaju plagioklas (Pl) i ilmenit (Ilm) te su jako raspucala. Na desnoj strani slike se vidi fragment stijene gdje je označen plagioklas (Pl) i klorit (Chl) zajedno. N+

Ovo je uzorak koji je makroskopski bio jako raspucan te se doimao brečiranim. Na mikroskopskoj razini se vide velike pukotine ispunjene ne samo sekundarnim mineralima (prehnit, kalcit, minerali glina), već i fragmentima glavnih minerala (plagioklas, klinopiroksen) i same stijene (Slika 7.14). U manje trošenim i

nebrečiranim dijelovima uzorka se može prepoznati **intergranularna** struktura, koja mjestimice prelazi u **ofitnu** struktura. Stijena je klasificirana kao **spilit**.

7.1.8. Uzorak HS-22-8

Glavni minerali u uzorku su plagioklas i klinopiroksen. Sporedni je ilmenit, dok je akcesorni apatit. Klorit, sericit, minerali glina i prehnit su sekundarni minerali.

Point counter analizom izračunati su volumni udjeli minerala u uzorku. Plagioklas 62,03 %, klinopiroksen 11,55 %, ilmenit 5,38 %, klorit 16,93 % i prehnit 0,63 %. Neodređeno je 0,47 % minerala, dok 3,01 % pripada prazninama/porama.

Plagioklas je hipidiomorfog štapičastog do alotriomorfog habitusa. Zrna igličastog habitusa javljaju se uklopljena u klinopiroksenu. Dimenzije plagioklasa u uzorku sežu od 2,45x1,40 mm do 0,35x0,18 mm. Primjećuju se karakteristični jednostruki i polisintetski sraslaci. Na pojedinim zrnima je vidljiva resorpcija (Slika 7.16). Plagioklas je umjereno alteriran u sericit, minerale glina i klorit. Alteracije su uobičajeno koncentrirane u jezgri plagioklasa. Plagioklas rijetko uklapa apatit. Na rubu plagioklasa s kanadskim balzomom Beckeova linija se pomiče u kanadski balzam, stoga je zaključeno da se radi o albitu.

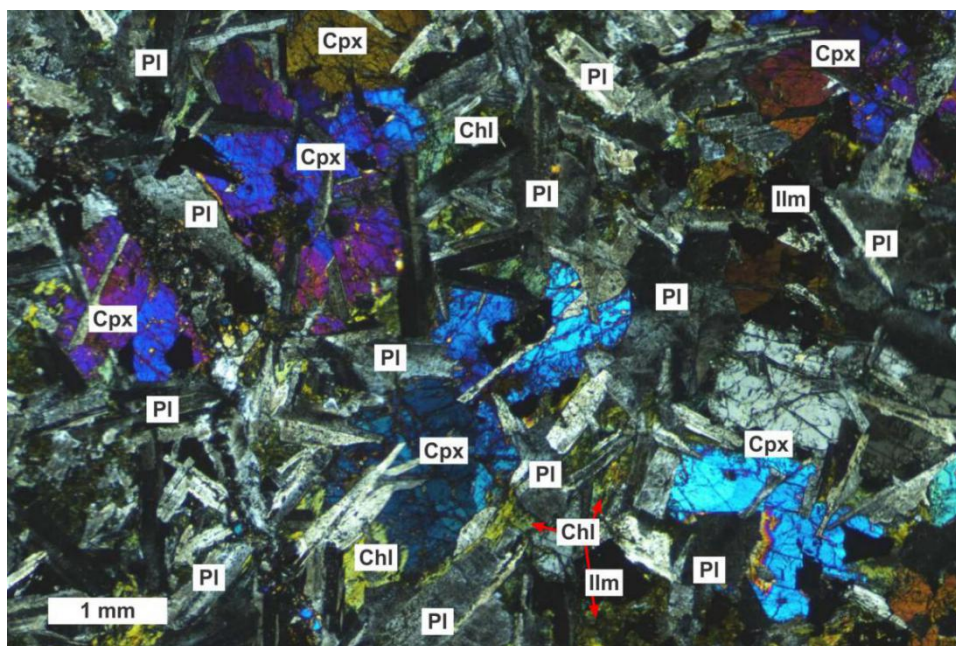
Klinopiroksen je alotriomorfog habitusa, a zrna pokazuju pleokroizam u bezbojnoj do putenoj boji. Snažno je izražena zonalna građa klinopiroksena. Zrna su umjereno do jako raspucala, s puno uklopaka plagioklasa i ilmenita (Slika 7.15). Prisutna je alteracija u klorit koja je izraženija na rubovima. Veličina zrna je od 3,00x1,60 mm do 0,70x0,50 mm.

Ilmenit je opaki mineral hipidiomorfog skeletastog do alotriomorfog habitusa (Slika 7.15). Zrna veličinom variraju od 1,50x1,30 mm do 0,25x0,15 mm. Ponegdje se vidi smečkasto siva boja izmjene ilmenita u kriptokristalasti leukoksen.

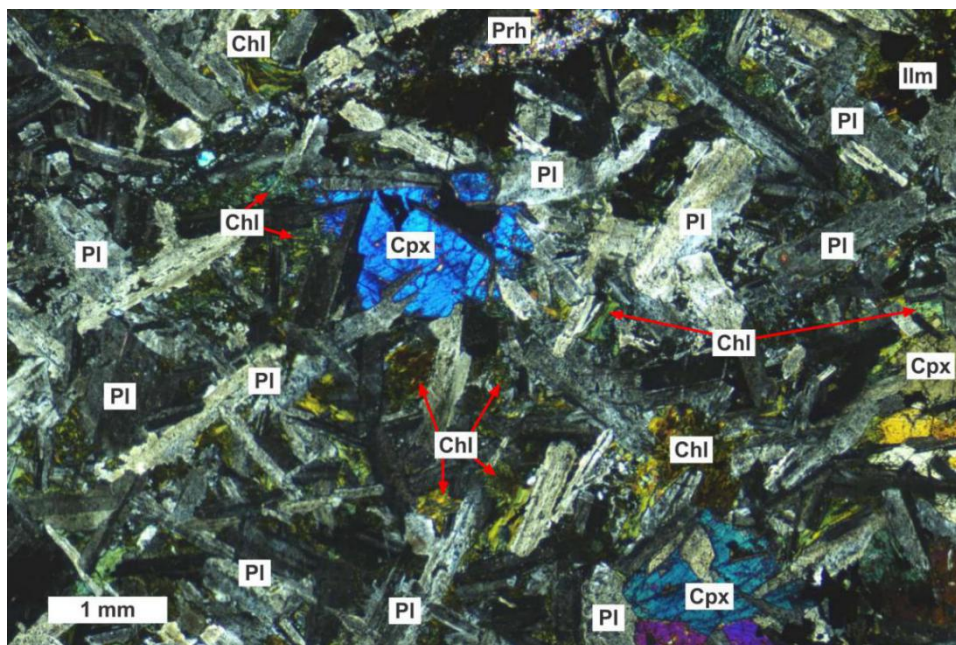
Apatit je idiomorfog šesterostranog do alotriomorfog habitusa. Većinom je prisutan bazni presjek vrlo malih dimenzija (< 0,1 mm) i k tome najlakše uočljiv kao uklopak u plagioklasu.

Klorit se i u ovoj stijeni pojavljuje na dva načina: kao sitnolistićavi maslinasto zeleni agregat, te kao krupniji listići karakterizirani žućkastim do zelenim pleokroitničnim

bojama. Dominantno se pojavljuje u intergranularnom prostoru, dok je u manjoj mjeri produkt alteracije jezgre plagioklasa, odnosno ruba klinopiroksena (Slika 7.15. i 7.16).



Slika 7.15: Plagioklas (Pl) je uklopljen u zonalnom klinopiroksenu (Cpx). Između zrna plagioklasa (Pl) se vidi klorit (Chl). Mjestimice su vidljiva zrna ilmenita (Ilm). N+



Slika 7.16: Štapići plagioklasa (Pl) i klorit (Chl) između njih tvore intergranularnu strukturu stijene. Plagioklasi (Pl) su mjestimice slabo alterirani u klorit u središtu zrna te neki pokazuju resorpciju na rubovima. Manja zrna klinopiroksena (Cpx) uklapaju plagioklas (Pl). U pukotini na gornjem dijelu slike se vidi prehnit (Prh). N+

Sericit je sitnolistićavi produkt trošenja plagioklasa.

Minerali glina su nastali sekundarno trošenjem plagioklasa. Vidljivi su kao kriptokristalasti agregati sivo smečkaste boje.

Prehnit ispunjava jednu manju pukotinu u obliku lepezastih agregata sitnijih zrna (Slika 7.16).

Stijena ima **intergranularnu** (Slika 7.16), a mjestimice izraženu i **ofitnu** (Slika 7.15) strukturu te homogenu teksturu. Dodamo li tome mineralni sastav, jasno je da se radi o **spilitu**. Ovaj je uzorak u odnosu na druge krupnozrnati.

7.1.9. Uzorak HS-22-9

Glavni minerali u uzorku su plagioklas i klinopiroksen. Sporedni mineral je ilmenit, a apatit je akcesorni. Sekundarni minerali su hornblenda, klorit, sericit, minerali glina, prehnit i kalcit.

Volumni udjeli dobiveni point counter analizom su sljedeći: 58,29 % plagioklasa, 9,32 % klinopiroksena, 7,27 % ilmenita, 23,22 % klorita i 0,16 % prehnita. Neodređeno je 1,42 % i 0,32 % praznine/pore.

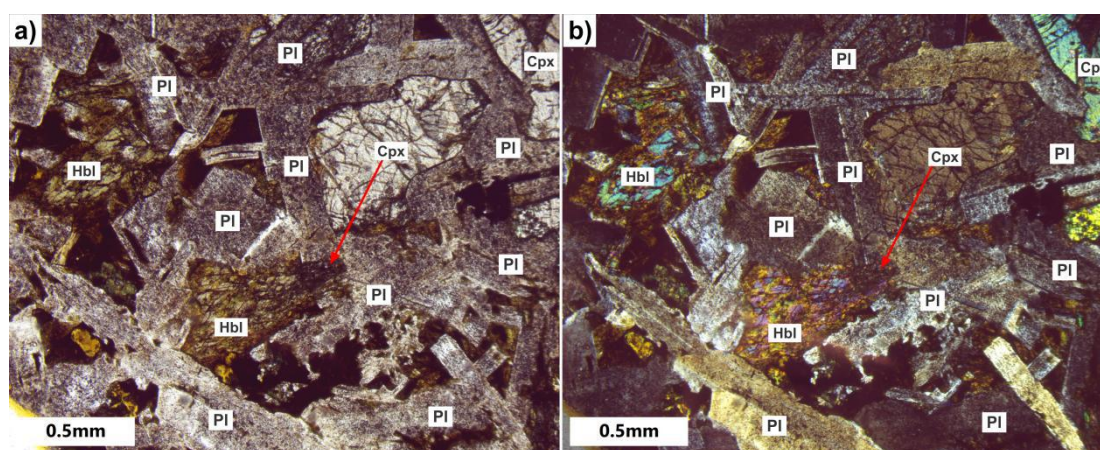
Plagioklas je hipidiomorfno štapićastog do alotriomorfno habitusa. Uklopljen u klinopiroksenu mjestimice ima igličasti habitus. Zrna dimenzijom variraju od 2,05x0,40 mm do 0,20x0,12 mm. Uočavaju se tipični jednostruki i polisintetski sraslaci. Alteracija plagioklasa u sericit je slaba, dok je alteracija u klorit i minerale glina umjerena. Izmjena u klorit tipična je za jezgru plagioklasa (Slika 7.17). Uklopci apatita su rijedi. Na rubu plagioklasa s kanadskim balzomom Beckeova linija se pomiče u kanadski balzam, stoga je zaključeno da se radi o albitu.

Klinopiroksen je hipidiomorfno do alotriomorfno habitusa. Zrna su umjereno do jako raspucala. Njihova veličina je od 3,45x2,65 mm do 0,80x0,63 mm. Zrna pokazuju slabi pleokroizam u bezbojnoj do blijedo putenastoj ružičastoj boji. Također je izražena i nepravilna zonalnost. Slaba do umjerena izmjena u klorit je prisutna prvenstveno na rubovima zrna (Slika 7.17). Klinopiroksen često uklapa plagioklas i ilmenit (Slika 7.18).

Ilmenit je hipidiomornog skeletnog do alotriomornog habitusa (Slika 7.18). Dimenzije zrna su u rasponu od 1,70x1,35 mm do 0,23x0,23 mm. Mjestimice je alteriran u kriptokristalasti agregat, leukoksen.

Apatit je idiomornog šesterostranog do alotriomornog habitusa. Najčešće se pojavljuje kao uklopak malih dimenzija (< 0,1 mm) u plagioklasu.

Hornblenda je u ovom uzorku vidljiva samo na dva mjesta. Ona nastaje na račun klinopiroksena, a sama je djelomično alterirana u klorit, stoga njezin pleokroizam nije tako jasno izražen, ali je prisutan u bojama od svijetlo smeđe do tamnosmeđe. Prepoznata je po karakterističnoj dvostrukoj kalavosti, visokom reljefu i živim interferentnim bojama 2. reda (Slika 7.17).



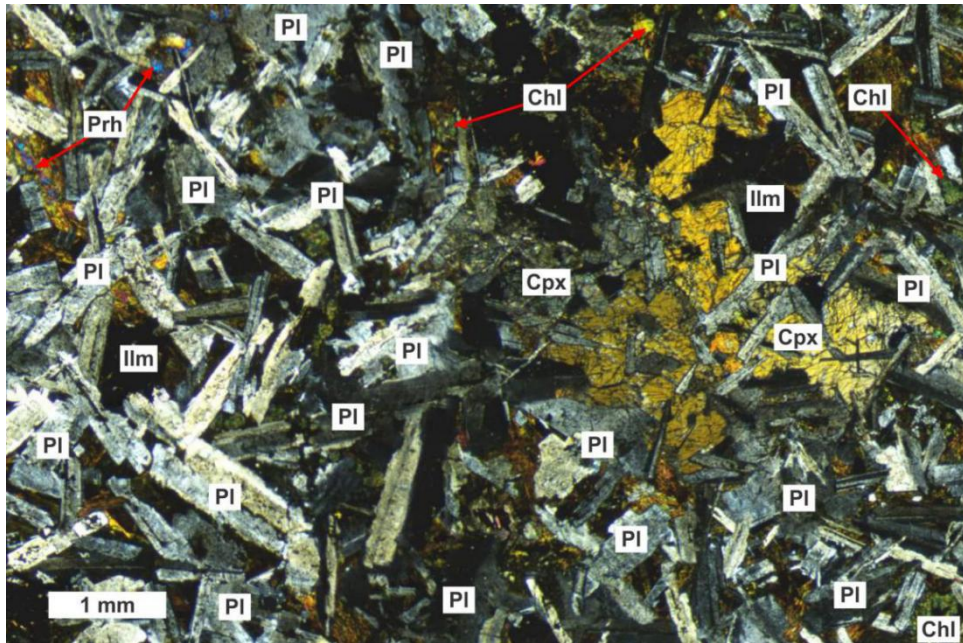
Slika 7.17: Hornblenda (Hbl) s tipičnom dvostrukom kalavošću i smeđom bojom. Dio na koji ukazuje strelica je reliktni klinopiroksen (Cpx). Zrno klinopiroksena (Cpx) na desnoj strani slike je raspucalo i alterirano u klorit na rubovima. Štapići plagioklasa (Pl) su mjestimično slabo alterirani u klorit i umjereno alterirani u minerale glina. a) Slika bez analizatora (N); b) Slika s analizatorom (N+).

Klorit je prisutan u obliku sitnolistićavih agregata tamnosmeđe do maslinasto zelene boje, te u obliku krupnijih listića koji pokazuju pleokroizam od svijetlo žutih do zelenih boja. Obje vrste klorita većinom se javljaju u intergranularnom prostoru (Slika 7.18), vjerojatno kao produkt alteracije klinopiroksena, te u jezgrama plagioklasa i na rubovima klinopiroksena (Slika 7.17).

Sericit je sitnolistićavi produkt alteracije plagioklasa.

Minerali glina su produkti alteracije plagioklasa, sivo smečkaste boje (Slika 7.17).

Prehnita i **kalcita** ima vrlo malo, tek se mjestimice pronalaze u malim pukotinama ili u intergranularnom prostoru (Slika 7.18).



Slika 7.18: Veliko zrno klinopiroseena (cpx) na lijevoj strani slike uklapa plagioklas (Pl) i ilmenit (Ilm). Štapići plagioklasa (Pl) su slabo kloritizirani u sredini zrna. Klorit (Chl) i prehnit (Prh) se vide u intergranularnom prostoru. N+

Tekstura stijene je homogena. Struktura je pretežno **intergranularna**, s rjeđim prijelazima u **ofitnu** strukturu (Slika 7.18). Prema tome i gore navedenom mineralnom sastavu zaključak je da je istraživana stijena **spilit**. Uzorak je relativno krupnozrnat.

7.1.10. Uzorak HS-22-10

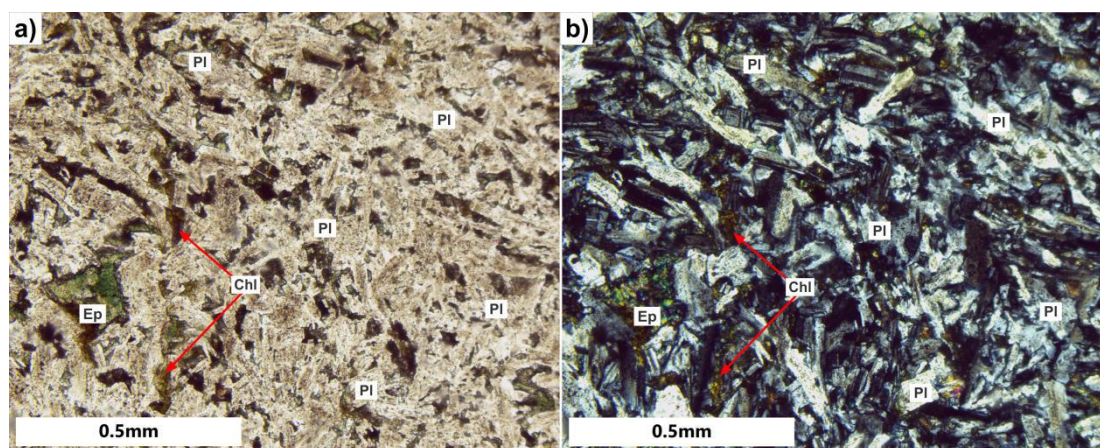
Glavni mineral u uzorku jest plagioklas. Opàki mineral je akcesoran. Klorit, epidot, prehnit, kalcit, kvarc, minerali glina i sericit predstavljaju sekundarne minerale.

Plagioklas je hipidiomorfnog štapićastog do alotriomorfnog habitusa, dimenzija manjih od 0,5 mm u dužinu. Zrna pokazuju jednostruke i polisintetske sraslace te umjerenu alteraciju u klorit, sericit i minerale glina. Klorit je koncentriran u središtu plagioklasa, ponegdje duž sraslačkog šava. Mjestimice je vidljiva pojava resorpcije na rubovima zrna (Slika 7.19). Beckeova linija se na rubu s kanadskim balzomom pomiče u balzam što ukazuje na albitni sastav plagioklasa.

Opàki mineral je vrlo rijedak. Zbog činjenice da je oko njega razvijen kriptokristalasti smeđi agregat nalik leukoksenu, najvjerojatnije se radi o ilmenitu.

Klorit se nalazi u intergranularnom prostoru i kao alteracija u jezgri plagioklasa. Vidljiv je u obliku sitnolistićavih zrna svijetlo zelene do zelene pleokroitske boje te kao sitnolistićavi agregati žutozelene i zelenosmeđe boje (Slika 7.19 i 7.20).

Epidot je smješten u intergranularnom prostoru kao agregat alotriomorfnih zrna. Ima karakteristične pleokroitske boje od svijetlo zelene do zeleno-žute (Slika 7.19).



Slika 7.19: Plagioklas (Pl) je kloritiziran i izmijenjen u minerale glina. Između štapića plagioklasa (Pl) se nalazi klorit (Chl) i epidot (Ep) karakterističnih zeleno žutih boja. a) Slika bez analizatora (N); b) Slika s analizatorom (N+).

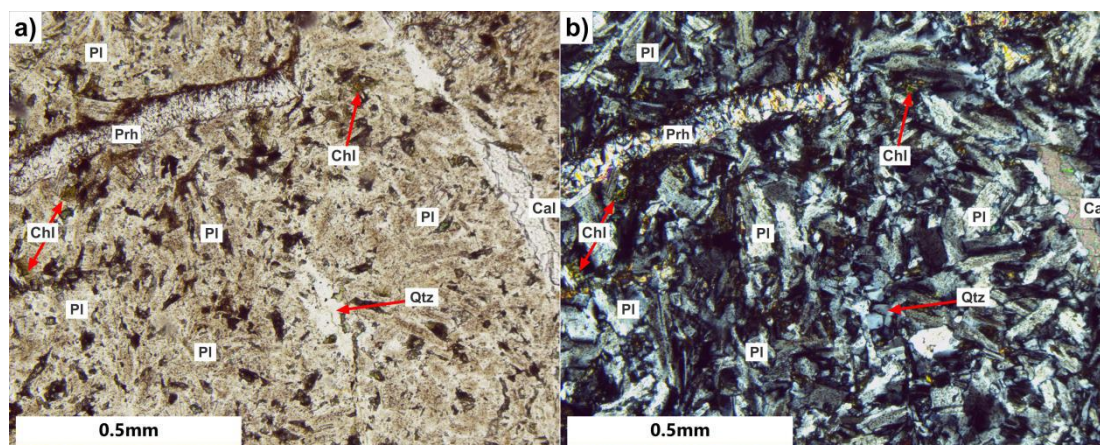
Sericit je sitnolistićavi produkt alteracije plagioklasa.

Minerali glina su produkti trošenja plagioklasa vidljivi u obliku kriptokristalastih smečkastih agregata (Slika 7.19 i 7.20).

Prehnit je alotriomorfnog habitusa te se pojavljuje u intergranularnom prostoru i u nekoliko pukotina u obliku agregata (Slika 7.20).

Kalcit popunjava pukotine (Slika 7.20) u obliku alotriomorfnih kristala.

Kvarc je alotriomorfnog habitusa sa svega nekoliko zrna u uzorku koja se nalaze u pukotinama i intergranularnom prostoru (Slika 7.20).



Slika 7.20: Plagioklas (Pl) je slabo kloritiziran i umjereno alteriran u minerale glina. Klorit (Chl) i kvarc (Qtz) se vide u intergranularnom prostoru. Pukotinu u gornjem dijelu slike zapunjava prehnit (Prh), dok je pukotina na desnoj strani slike ispunjena kalcitom (Cal). a) Slika bez analizatora (N); b) Slika s analizatorom (N+).

Uzorak HS-22-10 predstavlja žilu u uzorkovanoj bazičnoj stijeni, a sastavom je dominantno izgrađena od albita, pa se može nazvati albitit.

7.1.11. Uzorak HS-22-11

Glavni minerali u uzorku su plagioklas i klinopiroksen, dok je sporedni ilmenit. Apatiti je akcesorni, dok su klorit, sericit, minerali glina i prehnit sekundarni minerali.

Point counter analizom su izračunati volumni udjeli minerala. Uzorak sadrži 56,25 % plagioklasa, 9,62 % klinopiroksena, 7,69 % ilmenita i 23,88 % klorita. Ostatak je neodređen (0,80 %) ili su praznine/pore (1,76 %).

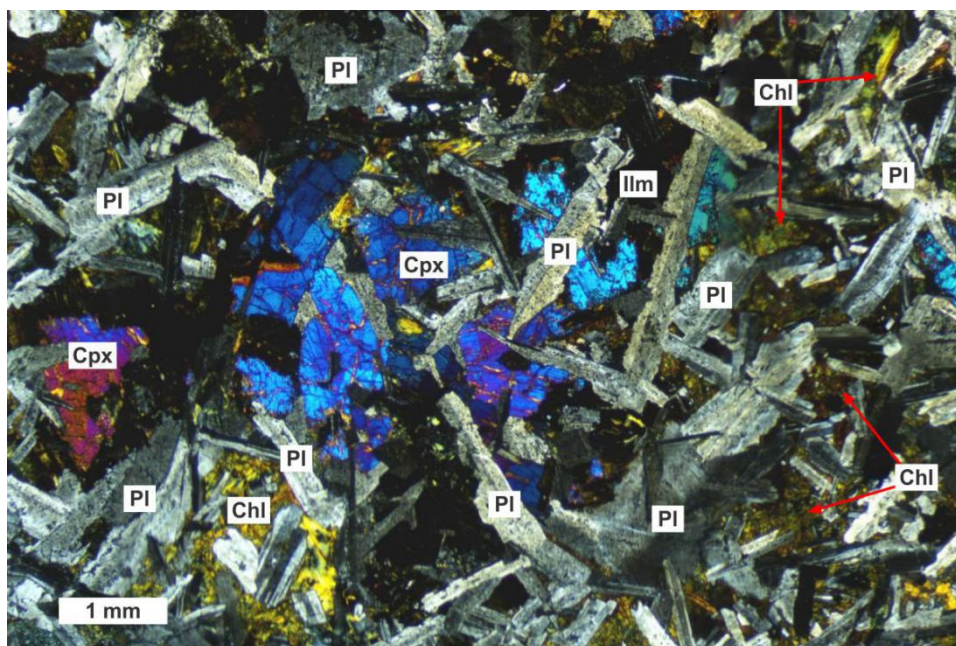
Plagioklas je hipidiomorfno izduženog do alotriomorfno habitusa. Igličasti habitus je mjestimično karakterističan za ona zrna koja su uklopljena u klinopiroksen. Zrna plagioklasa dimenzijama sežu od 2,30x0,35 mm do 0,30x0,10 mm. Vidljivi su jednostruki i polisintetski sraslaci. Mjestimice pokazuje resorbirane rubove (Slika 7.21). Plagioklas je umjereno alteriran u minerale glina, te slabo do umjereno trošen u sericit i klorit, pri čemu je kloritizacija osobito karakteristična za jezgre plagioklasa. Uklapa, premda rijetko, apatit. Na rubu plagioklasa s kanadskim balzomom Beckeova linija se pomiče u kanadski balzam, stoga je zaključeno da se radi o albitu.

Klinopiroksen je alotriomorfno habitusa. Vidljiv je slabo izražen pleokroizam u bezbojnoj do blago ružičastoj boji. U položaju s uklopljenim analizatorom uočljiva je

nepravilna zonalnost zrna (Slika 7.21). Zrna su umjereno do jako raspucala, a veličina im varira od 3,15x2,40 mm do 0,75x0,50 mm. Mjestimice se uočava resorpcija zrna na rubovima. Alteracija u klorit je slabo do umjereno izražena, i to prvenstveno na rubovima klinopiroksena. Klinopiroksen često uklapa zrna plagioklasa i ilmenita (Slika 7.21).

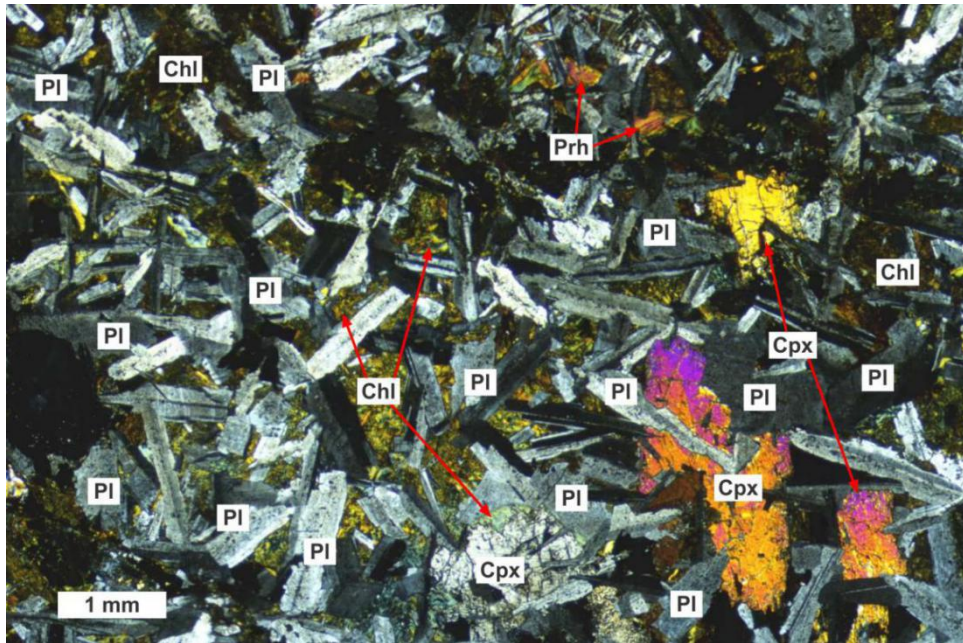
Ilmenit je hipidiomorfan, mjestimice skeletast do alotriomorfan (Slika 7.21). Tipična je njegova izmjena u kriptokristalasti agregat, leukoksen. Zrna ilmenita imaju raspon veličina od 1,75x1,45 mm do 0,25x0,20 mm, i vrlo su česta u uzorku.

Apatit je idiomorfnog šesterostranog do alotriomorfnog habitusa te je smješten kao uklopak u drugim mineralnim zrnima, najčešće u plagioklasu. Vrlo je malih dimenzija (< 0,1 mm).



Slika 7.21: Zonalni klinopiroksen (Cpx) u središtu slike uklapa plagioklas (Pl) te je mjestimice kloritiziran. Klorit (Chl) se vidi u intergranularnom prostoru. Neka zrna plagioklasa (Pl) pokazuju resorpciju na rubovima. Vidi se poneko zrno ilmenita (Ilm). N+

Klorit se, kao i u svim istraživanim uzorcima, javlja u obliku sitnolistićavih agregata tamnosmeđe do maslinasto zelene boje te krupnijih listića, koji pokazuju pleokroizam u blijedo žućkastim do zelenim bojama. Obje vrste klorita većinom su smještene u intergranularnom prostoru, ali se javljaju i u jezgrama plagioklasa i na rubu klinopiroksena (Slika 7.21 i 7.22).



Slika 7.22: Plagioklas (Pl) je slabo kloritiziran u središtu zrna. Klorit (Chl) i prehnit (Prh) se nalaze u intergranularnom prostoru. Klinopiroksen (Cpx) je ponegdje kloritiziran na rubovima zrna. N+

Sericit je sitnolistićavi produkt trošenja plagioklasa.

Minerali glina su produkti trošenja plagioklasa vidljivi kao sivo smečkasti agregati.

Prehnit je rijedak ali vidljiv u jednoj pukotini i mjestimice u intergranularnom prostoru u uzorku (Slika 7.22).

Struktura stijene je **intergranularna**, mjestimično **ofitna** (Slika 7.21), a tekstura je homogena. Stoga je stijena, uzevši u obzir i mineralni sastav, klasificirana kao **spilit**. U odnosu na druge stijene istraživane u ovom radu, ova stijena je krupnozrnata.

7.1.12. Uzorak HS-22-12

Glavni minerali u uzorku su plagioklas i klinopiroksen. Ilmenit je sporedni i apatit je akcesorni. Klorit, sericit, minerali glina, prehnit i kalcit su sekundarni minerali.

Provedena je point counter analiza kojom su dobiveni sljedeći volumni udjeli minerala: 61,04 % plagioklasa, 10,71 % klinopiroksena, 7,47 % ilmenita i 19,32 % klorita. Preostalo je neodređeno (0,81 %) ili su praznine/pore (0,65 %).

Plagioklas je hipidiomorfno izduženog do alotriomorfno habitusa. Dimenzije zrna su od 2,35x0,80 mm do 0,30x0,15 mm. Uočavaju se karakteristični jednostruki i polisintetski sraslaci. Pojedina zrna plagioklasa na rubovima pokazuju znakove

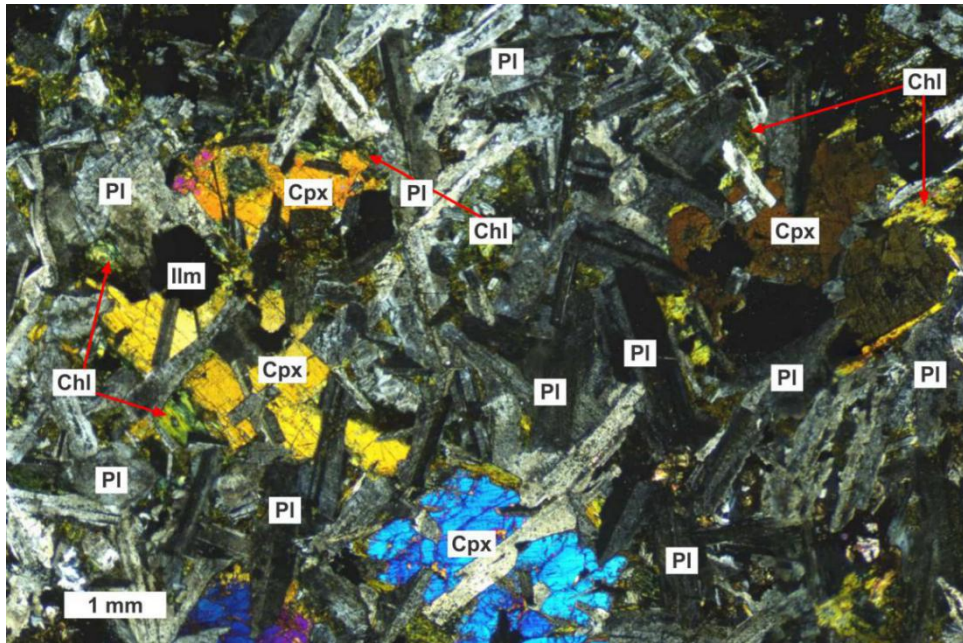
resorpcije (Slika 7.23). Plagioklas je umjereno alteriran u minerale glina, umjereno do jako alteriran u sericit i klorit, pri čemu je alteracija u klorit karakteristična za jezgre plagioklasa (Slika 7.23). Uklopici apatita su rijetko prisutni. Na rubu plagioklasa s kanadskim balzamom Beckeova linija se pomiče u kanadski balzam, stoga je zaključeno da se radi o albitu.

Klinopiroksen je hipidiomorfno do alotriomorfno habitusa, dimenzije variraju od 3,90x2,45 mm do 1,00x0,70 mm. Zrna su umjereno raspucala te pokazuju slabi pleokroizam u bijeloj do ružičasto putenoj boji. U položaju kada je uklopljen analizator, jasno je vidljiva nehomogenost zrna, tj. prisustvo nepravilne zonalne građe klinopiroksena (Slika 7.24). Mjestimice su osobito na rubu zrna vidljivi pravilni nizovi opakih minerala (moguće spinela), najvjerojatnije se radi o eksoluciji. Alteracija u klorit je slaba i dominantno po rubovima minerala. Uklopici plagioklasa i ilmenita su česti (Slika 7.23 i 7.24).

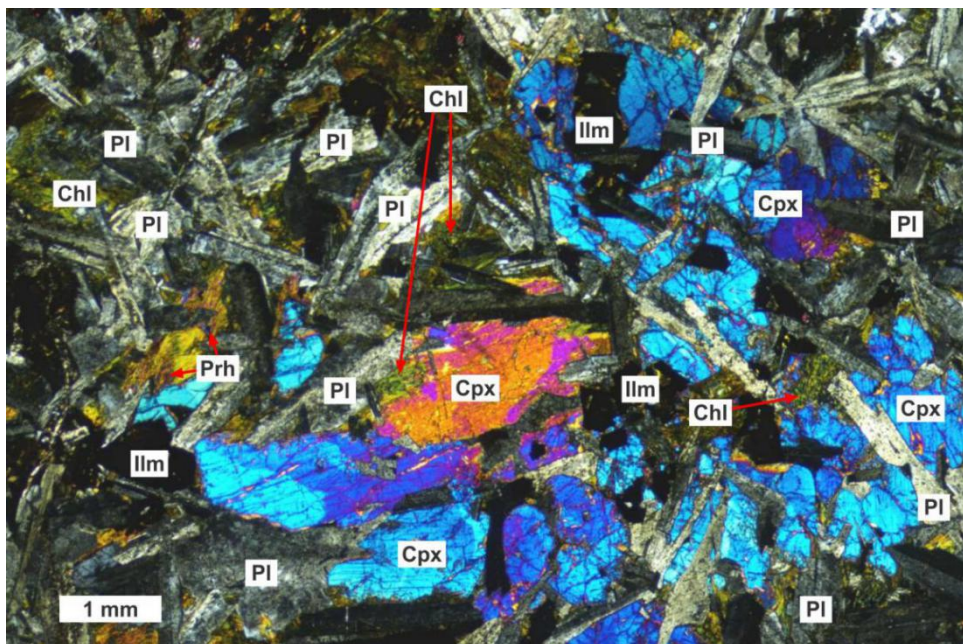
Ilmenit je hipidiomorfno do alotriomorfno habitusa (Slika 7.23 i 7.24). Raspon veličina zrna jest od 2,30x1,40 mm do 0,40x0,35 mm. Mjestimice se vidi alteracija u kriptokristalasti agregat, leukoksen.

Apatit je idiomorfno do šestorostrano do alotriomorfno habitusa. Većinom je uočen kao uklopak u plagioklasu. Jako je malih veličina (< 0,1 mm)

Klorit se nalazi u intergranularnom prostoru u obliku tamnosmeđih do maslinasto zelenih listićavih agregata (Slika 7.24) i krupnijih listića koji pokazuju pleokroizam od blijedo žutih do tamno zelenih boja (Slika 7.23). Obje vrste klorita se također javljaju i kao produkt alteracije plagioklasnih jezgara i rubova klinopiroksena (Slika 7.23 i 7.24).



Slika 7.23: Plagioklas (Pl) je umjereno kloritiziran u središtu zrna te mjestimice pokazuje resorbirane rubove. Klinopiroksen (Cpx) uklapa plagioklas (Pl) i ilmenit (Ilm) te je umjereno kloritiziran na rubovima zrna. Klorit (Chl) ispunjava intergranularni prostor. N+



Slika 7.24: Zonalni klinopiroksen (Cpx) uklapa plagioklas (Pl) i ilmenit (Ilm) te je kloritiziran prvenstveno na rubovima. Plagioklas (Pl) je mjestimice kloritiziran po središtu zrna. Klorit (Chl) i prehnit (Prh) se vide u intergranularnom prostoru.

Sericit je produkt trošenja plagioklasa, karakteriziran je sitnolističavim habitusom.

Minerali glina su produkti trošenja plagioklasa, a vide se kao sivo smečkasti kriptokristalasti agregati.

Prehnit ispunjava par manjih pukotina te se javlja kao alteracija plagioklasa i rijetko u intergranularnom prostoru (Slika 7.24).

Kalcit je rijedak, javlja se u pukotinama i rjeđe integranularnom prostoru.

Struktura stijene je **intergranularna**, mjestimice **ofitna** (Slika 7.23), dok je tekstura homogena. Prema tome, kao i mineralnom sastavu, stijena je klasificirana kao **spilit**. U odnosu na druge istraživane uzorke stijena, ova je krupnozrnata.

7.1.13. Rezultati point counter analize

U tablici 7.1. i 7.2 su objedinjeni rezultati point counter analize.

Tablica 7.1: Rezultati point counter analize. Prikazani volumni udjeli plagioklasa, klinopiroksena, ilmenita, klorita i kalcita.

| Mineral | Plagioklas | Klinopiroksen | Ilmenit | Klorit | Kalcit |
|----------|------------|---------------|---------|--------|--------|
| HS-22-1 | 59,31 | 8,86 | 6,31 | 24,17 | 0,15 |
| HS-22-2 | 48,41 | 14,60 | 5,24 | 21,27 | 0,00 |
| HS-22-3 | 46,62 | 14,83 | 5,11 | 29,32 | 0,33 |
| HS-22-4 | 59,20 | 6,13 | 5,98 | 22,09 | 0,00 |
| HS-22-5 | 58,04 | 7,89 | 4,91 | 23,81 | 2,23 |
| HS-22-6 | 52,35 | 16,77 | 6,58 | 21,16 | 0,00 |
| HS-22-7 | 42,71 | 10,27 | 5,65 | 17,11 | 1,93 |
| HS-22-8 | 62,03 | 11,55 | 5,38 | 16,93 | 0,00 |
| HS-22-9 | 58,29 | 9,32 | 7,27 | 23,22 | 0,00 |
| HS-22-11 | 56,25 | 9,62 | 7,69 | 23,88 | 0,00 |
| HS-22-12 | 61,04 | 10,71 | 7,47 | 19,32 | 0,00 |

Tablica 7.2: Rezultati point counter analize. Prikazani volumni udjeli prehnita, epidota, kvarca, neodređenih minerala i praznina i/ili pora.

| Mineral | Prehnit | Epidot | Kvarc | Neodređeno | Praznina/pora |
|----------|---------|--------|-------|------------|---------------|
| HS-22-1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,30 | 0,90 |
| HS-22-2 | 5,08 | 0,00 | 0,16 | 1,43 | 3,81 |
| HS-22-3 | 1,65 | 0,00 | 0,00 | 0,33 | 1,81 |
| HS-22-4 | 0,61 | 0,00 | 0,00 | 4,75 | 1,23 |
| HS-22-5 | 0,45 | 0,89 | 0,00 | 0,45 | 1,34 |
| HS-22-6 | 1,25 | 0,16 | 0,00 | 0,78 | 0,94 |
| HS-22-7 | 3,42 | 0,00 | 0,00 | 18,90 | 0,00 |
| HS-22-8 | 0,63 | 0,00 | 0,00 | 0,47 | 3,01 |
| HS-22-9 | 0,16 | 0,00 | 0,00 | 1,42 | 0,32 |
| HS-22-11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,80 | 1,76 |
| HS-22-12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,81 | 0,65 |

7.2. GEOKEMIJSKE ANALIZE

7.2.1 Uvod

Geokemijske analize stijena se rade kako bi se dobili detaljni podaci o kemijskom sastavu stijene koji je pod direktnim utjecajem geoloških čimbenika. Ta veza omogućuje interpretaciju dobivenih geokemijskih podataka i zaključivanje o nastanku i evoluciji istraživane stijene.

Geokemijski podaci generalno obuhvaćaju 4 vrste analiza: analizu glavnih elemenata, elemenata u tragovima s elementima rijetkih zemalja, stabilnih izotopa te radioaktivnih izotopa. Ove grupe kemijskih elemenata se različito ponašaju u pojedinim geološkim procesima i zato služe za različite vrste interpretacija. Za potrebe interpretacije, geokemijski podaci se prikazuju tabelarno, ali i grafički pomoću različitih vrsta diskriminacijskih dijagrama koji se mogu koristiti za kemijsku

klasifikaciju stijene, određivanje karaktera magmatske serije te geotektonske pozicije u kojoj je stijena nastala.

Interpretacija često obuhvaća složene i višefazne geološke procese koji se odražavaju u kemijskom sastavu magme i stijene koja kristalizira iz nje. Kemijski sastav magme, a posljedično i stijene koja iz nje kristalizira, će ovisiti o sastavu izvorišne stijene, stupnju parcijalnog taljenja, ali i o procesima koji se zbivaju u magmatskoj komori poput frakcijske kristalizacije ili miješanja magmi, kao i na putu magme prema površini, kao što je kontaminacija. Formirana stijena je izložena okolišnim uvjetima, bilo u podzemlju ili na površini. Utjecaj devolatilizacije, hidrotermalnih fluida, morske vode i/ili oborina često dovodi do alteracija i izmjene kemijskog sastava stijene. Zato je važno odabrati odgovarajuće geokemijske podatke, tj. kemijske elemente koji nisu mobilni uslijed gore navedenih geoloških procesa.

Geokemijski značaj glavnih elemenata u istraživanju magmatskih stijena

Glavni elementi dominiraju u sastavu stijene i temelj su uobičajene klasifikacije stijena. To su elementi Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, P i Mn. Kemijskom analizom se mjere koncentracije kationa, a pretpostavlja se da je dominantni anion kisik zbog čega se koncentracije izražavaju u obliku težinskih postotaka oksida. Zbroj koncentracija oksida elemenata kod ispravne kemijske analize najčešće iznosi između 99 i 100%.

Geokemijski značaj elemenata u tragovima u istraživanju magmatskih stijena

Elementi u tragovima su elementi čije su koncentracije u stijeni niže od 0,1% pa se češće izražavaju u jedinicama ppm-a (eng. *parts per million*) ili ppb-a (eng. *parts per billion*). Mogu se podijeliti u nekoliko grupa prema sličnim kemijskim svojstvima ili ponašanjima u magmatskim sustavima.

Elementi u tragovima se u periodnoj tablici grupiraju na elemente platinske grupe, prijelazne metale i lantanide ili elemente rijetkih zemalja. Elementi platinske grupe (PGE) ili plemeniti metali su rutenij (Ru), rodij (Rh), paladij (Pd), osmij (Os), iridij (Ir) i platina (Pt). Prijelazni metali su u periodnoj tablici s atomskim brojevima od 21 do 30 (izuzevši Fe i Mn koji su glavni). Lantanidi (REE) imaju atomske brojeve od 57 do 71, plus skandij (Sc) i itrij (Y).

Ovisno njihovom afinitetu prema taljevini tijekom parcijalnog taljenja, elementi u tragovima se dijele na kompatibilne i inkompatibilne. Kompatibilni elementi pri parcijalnom taljenju pretežito ostaju u mineralnoj fazi, dok inkompatibilni elementi pokazuju afinitet prema taljevini. Važno je napomenuti da (in)kompatibilna priroda nekog elementa ovisi o nizu faktora kao što su sastav taljevine i stijene koja se tali, temperatura, tlak te prisustvo vode. Tako jedan element može biti kompatibilan u jednim uvjetima, a inkompatibilan u drugim.

7.2.2. Sadržaj glavnih elemenata

Rezultati kemijske analize glavnih elemenata su dani u tablici 7.3. i izraženi u težinskim postocima njihovih oksida (tež. %).

Tablica 7.3: Prikaz rezultat kemijske analize glavnih elemenata odabranih uzoraka (tež. %).

| Uzorak | HS-22-1 | HS-22-5 | HS-22-8 | HS-22-10 |
|--------------------------------|---------|---------|---------|----------|
| SiO ₂ | 50,34 | 50,86 | 50,74 | 63,09 |
| Al ₂ O ₃ | 14,63 | 15,64 | 15,08 | 19,03 |
| Fe ₂ O ₃ | 13,68 | 11,62 | 13,14 | 3,29 |
| MgO | 4,04 | 3,63 | 3,92 | 0,55 |
| CaO | 5,77 | 6,73 | 5,22 | 2,09 |
| Na ₂ O | 5,76 | 6,06 | 5,98 | 9,94 |
| K ₂ O | 0,17 | 0,02 | 0,12 | 0,03 |
| TiO ₂ | 2,35 | 1,99 | 2,37 | 0,30 |
| P ₂ O ₅ | 0,21 | 0,18 | 0,29 | 0,04 |
| MnO | 0,22 | 0,19 | 0,22 | 0,03 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,005 | 0,004 | 0,004 | 0,012 |
| LOI | 2,6 | 2,9 | 2,7 | 1,5 |
| Sum | 99,8 | 99,8 | 99,78 | 99,87 |

Uzorci spilita HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-8 imaju sadržaj SiO₂ između 50 i 51 % što odgovara kemijskom sastavu bazičnih stijena. Uzorak HS-22-10 je karakteriziran SiO₂ postotkom od 63,09 % što je tipično za kisele stijene te se podudara s albitnim sastavom žile u ispitivanom uzorku.

Udio Al_2O_3 je u sva tri spilita (HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-8) sličnih vrijednosti, od 14,63 % u HS-22-1 do 15,64 % u HS-22-5. Fe_2O_3 vrijednosti uzoraka su između 13 i 14 % za uzorke HS-22-1 i HS-22-8, dok HS-22-5 ima 11,62% Fe_2O_3 .

Sastav MgO spilita varira od 3,63 % do 4,04 %, dok se udio CaO kreće u rasponu od 5,22 % do 6,73 %.

Od alkalija spiliti sadrže Na_2O u rasponu od 5,76 % do 6,06 %, te K_2O od 0,02 % do 0,17 %.

Sadržaj MgO i CaO je niži od očekivanog za bazičnu stijenu. Visoki udio Na_2O s podjednakim rasponima vrijednosti kao i CaO upućuje na mogućnost izmjene Ca u stijeni s Na u fluidu koji je bio u kontaktu sa stijenom.

Udio TiO_2 u bazičnim uzorcima kreće se od 1,99 % do 2,37 %. Koncentracije glavnih oksida P_2O_5 (0,18 - 0,29 %), MnO (0,19 - 0,22 %) i Cr_2O_3 (0,004 - 0,005 %) se minimalno razlikuju.

Uzorak HS-22-5 ima niže vrijednosti Fe_2O_3 (11,62 %), TiO_2 (1,99 %) i K_2O (0,02 %), a povećane vrijednosti CaO (6,73 %) u odnosu na ostala dva spilita. Uzorci HS-22-1 i HS-22-8 imaju relativno slične sastave glavnih elemenata, a pojedinačne komponente ne razlikuju se u koncentracijama za više od 0,55%.

Uzorak HS-22-10 značajno se razlikuje od uzoraka bazičnih stijena. Ima povišene vrijednosti Al_2O_3 (19,03 %), Na_2O (9,94 %) i Cr_2O_3 (0,012 %) te niže vrijednosti Fe_2O_3 (3,29 %), MgO (0,55 %), CaO (2,09 %), K_2O (0,03 %), TiO_2 (0,30 %) i P_2O_5 (0,4 %) u odnosu na bazične uzorke. Ova razlika je logična s obzirom na sasvim drugačiju, kiselu prirodu uzorka.

7.2.3. Sadržaj elemenata u tragovima

U tablici 7.4. prikazani su rezultati kemijske analize elemenata u tragovima. Koncentracije su iskazane u ppm jedinicama.

Uzorci HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-8 prikazuju relativno ujednačen sastav elemenata u tragovima, osim što uzorak HS-22-5 sadrži manje Ba (32 ppm) u odnosu na druga dva uzorka (110 i 143 ppm) i manje Rb (<0,1 ppm) u odnosu na 1,4 i 2,0 ppm.

Značajnu razliku u odnosu na tri uzorka petrografski definiranih bazičnih stijena pokazuje plagioklasni žilni uzorak HS-22-10. Ima relativno nisku vrijednost Ba (40 ppm) sličnu uzorku HS-22-5 (32ppm) u odnosu na druga dva bazična uzorka (110 ppm i 143 ppm), niže vrijednosti Sc (7 u odnosu na 29-31 ppm), Co (6,4 u odnosu na 30,6-35,5 ppm), Sr (99 u odnosu na 162-251,8 ppm) i V (107 ppm u odnosu na 335-362 ppm). Rb je također sniženih koncentracija slično uzorku HS-22-5 (oba <0,1 ppm u odnosu na 1,4 ppm i 2 ppm). Relativno više koncentracije u uzorku HS-22-10 zabilježene su kod elemenata Hf (12,2 ppm u odnosu na 3,8-5,0 ppm) i Zr (460,9 ppm u odnosu na 135,3-179,6 ppm).

Tablica 7.4: Prikaz rezultat kemijske analize elemenata u tragovima odabranih uzoraka (ppm).

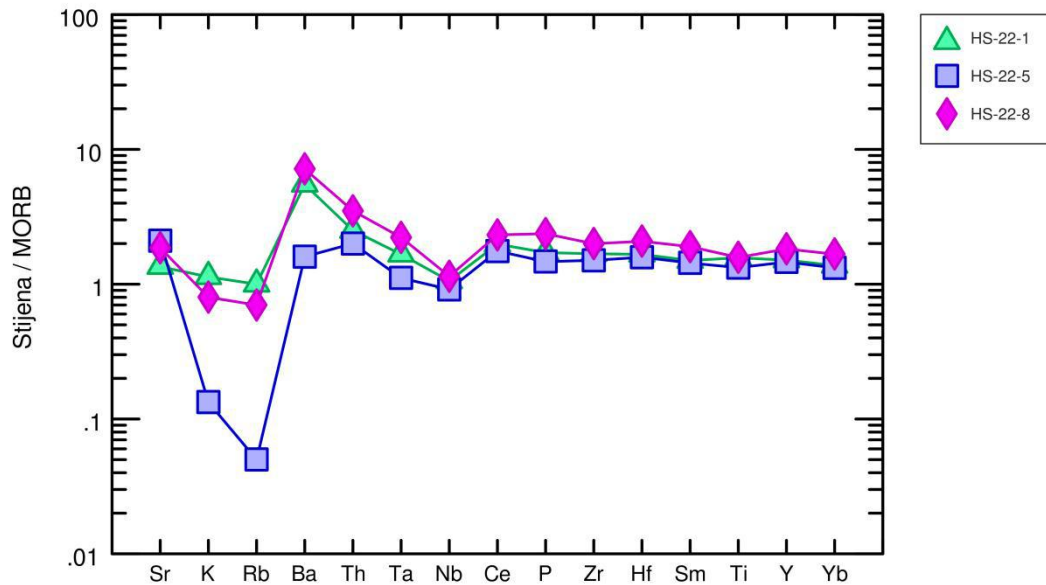
| Uzorak | HS-22-1 | HS-22-5 | HS-22-8 | HS-22-10 |
|--------|---------|---------|---------|----------|
| Ba | 110,00 | 32,00 | 143,00 | 40,00 |
| Ni | <20 | <20 | <20 | <20 |
| Sc | 31 | 29 | 31 | 7 |
| Be | 2 | <1 | <1 | 2 |
| Co | 35,5 | 30,6 | 31,2 | 6,4 |
| Cs | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| Ga | 20,6 | 19,4 | 19,7 | 17,2 |
| Hf | 4,0 | 3,8 | 5,0 | 12,2 |
| Nb | 3,7 | 3,2 | 4,0 | 5,3 |
| Rb | 2,0 | <0,1 | 1,4 | <0,1 |
| Sn | <1 | <1 | <1 | <1 |
| Sr | 162,0 | 251,8 | 223,1 | 99,0 |
| Ta | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,7 |
| Th | 0,5 | 0,4 | 0,7 | 1,9 |
| U | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,6 |
| V | 362 | 335 | 344 | 107 |
| W | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 |
| Zr | 151,1 | 135,3 | 179,6 | 460,9 |
| Y | 45,3 | 43,8 | 54,8 | 77,0 |

7.2.3.1. Spider dijagrami

Spider dijagrami se koriste za prikaz koncentracija elemenata u tragovima. Koncentracije se izražavaju normalizirane u odnosu na neki standard, najčešće hondrit ili plašt, te su prikazane na y-osi. Elementi u tragovima su poredani na x-osi prema karakteristikama mobilnosti i kompatibilnosti. Na lijevoj strani nalaze se mobilni elementi tako da se kompatibilnost povećava s lijeva u desno, dok su na desnoj strani imobilni elementi s trendom povećanja inkompatibilnosti s desna u lijevo. U MORB-normaliziranim spider dijagramima (slika 7.25) mobilni elementi su Sr, K, Rb i Ba, dok su elementi desno od njih imobilni.

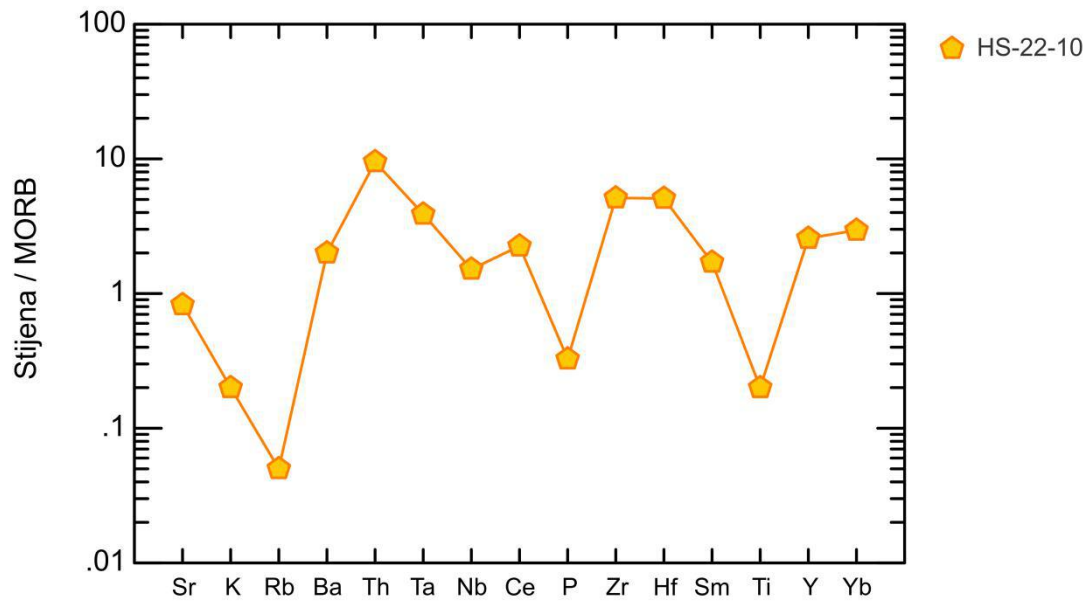
Normalizirane koncentracije predstavljaju odnos koncentracija elemenata u tragu u istraživanoj stijeni i onih u nekom standardu. Vrijednosti iznad 1 interpretiraju se kao obogaćenje uzorka elementom u odnosu na standard, dok vrijednosti ispod 1 predstavljaju osiromašenje uzorka nekim elementom u tragu. Važno je odabrati dobar standard kako bi dobiveni podaci i dijagrami bili relevantni za istraživanu stijenu i interpretaciju. Također je važno imati na umu da je ponašanje elemenata u tragu prikazanih u spider dijagramu vrlo heterogeno. Koncentracije mobilnih elemenata su ovisne o utjecaju fluidne faze, dok na koncentracije imobilnih elemenata više utječe prisutnost mineralnih faza (ROLLINSON, 1993).

Spider dijagram na slici 7.25 je normaliziran na bazalt srednjeoceanskog grebena (MORB) pri čemu su normalizirane vrijednosti preuzete od PEARCE (1983). Većina elemenata u tragu u uzorcima HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-8 pokazuje iste ili do dva puta obogaćene koncentracije u odnosu na MORB. Sva tri navedena uzorka pokazuju iste, premda različitog intenziteta, negativne K, Rb i Nb anomalije, a uzorci HS-22-1 i HS-22-8 i pozitivnu Ba anomaliju. Uzorak HS-22-5 se izdvaja se po jače izraženim negativnim K i Rb anomalijama, te nepostojanjem Ba pozitivne anomalije. Uspoređujući oblike normaliziranih krivulja koncentracija elemenata u tragovima u istraživanim stijenama s onima iz literature (WILSON, 1989), one pokazuju najbolje preklapanje s krivuljama toleilitnih bazalta otočnih lukova.



Slika 7.25: Spider dijagram koncentracije elemenata u tragovima (spider dijagram) normaliziranih u odnosu na bazalt srednjeoceanskog grebena (MORB). Normalizacijske vrijednosti preuzete su iz PEARCE (1983).

Uzorak HS-22-10 je prikazan na posebnom spider dijagramu normaliziran u odnosu na MORB, prema normalizacijskim vrijednostima od PEARCE (1983) na slici 7.26. Na prvi pogled vidi se da je krivulja normaliziranih koncentracija elemenata u tragovima vrlo skokovita. Negativna Rb anomalija, s postepenim osiromašenjem Sr-K-Rb je slična dijagramu na slici 7.25. Još jedna sličnost s uzorcima HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-8 je u negativnoj anomaliji na Nb. Pozitivna anomalija je prisutna na Th, a na Ba izostaje pozitivna anomalija što je slično uzorku HS-22-5. Negativne anomalije na P i Ti su jedinstvene za ovaj uzorak, kao i veće vrijednosti obogaćenja od Nb do Yb (od 1,5 do 6 puta). Oblik krivulje normaliziranih koncentracija elemenata u tragovima ne poklapa se s oblicima u literaturi (WILSON, 1989) za ovu vrstu dijagrama.



Slika 7.26: Spider dijagram koncentracije elemenata u tragovima normaliziranih u odnosu na bazalt srednjeoceanskog grebena (MORB). Normalizacijske vrijednosti preuzete su iz PEARCE (1983).

7.2.3.2. REE dijagrami

Tablica 7.5. prikazuje rezultate kemijske analize elemenata rijetkih zemalja u istraživanim uzorcima. Koncentracije su izražene u ppm jedinicama.

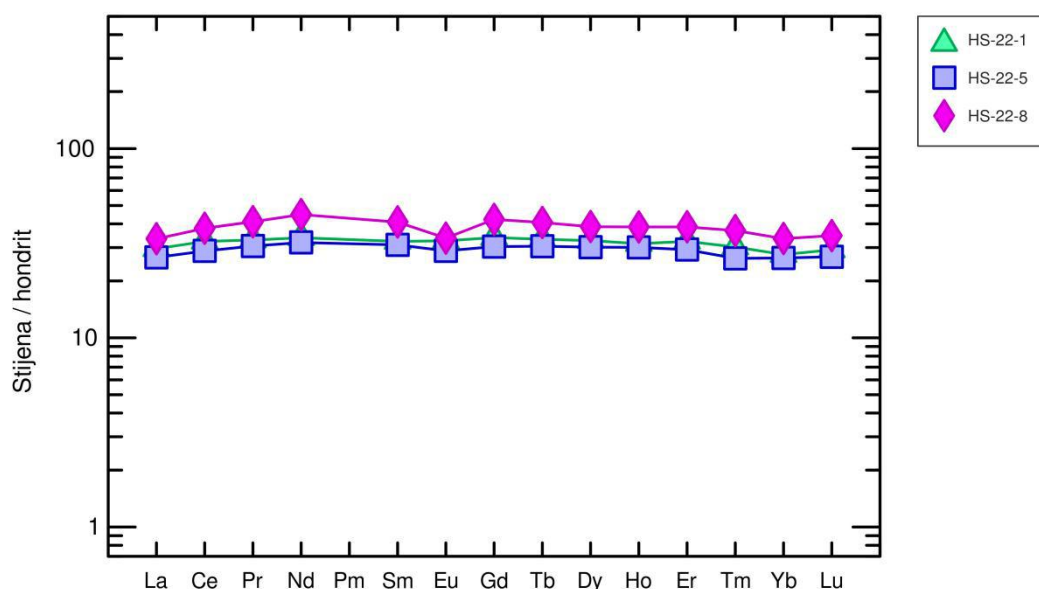
Tablica 7.5: Prikaz rezultat kemijske analize elemenata rijetkih zemalja odabranih uzoraka (ppm).

| Uzorak | HS-22-1 | HS-22-5 | HS-22-8 | HS-22-10 |
|--------|---------|---------|---------|----------|
| La | 7,0 | 6,3 | 7,9 | 7,0 |
| Ce | 19,8 | 17,6 | 23,2 | 22,5 |
| Pr | 3,12 | 2,90 | 3,90 | 3,39 |
| Nd | 15,8 | 14,9 | 20,9 | 16,9 |
| Sm | 4,94 | 4,74 | 6,26 | 5,63 |
| Eu | 1,89 | 1,67 | 1,95 | 1,66 |
| Gd | 6,96 | 6,23 | 8,68 | 8,5 |
| Tb | 1,24 | 1,14 | 1,52 | 1,71 |
| Dy | 8,29 | 7,65 | 9,82 | 12,5 |
| Ho | 1,78 | 1,7 | 2,18 | 2,96 |
| Er | 5,35 | 4,84 | 6,38 | 9,64 |
| Tm | 0,77 | 0,67 | 0,94 | 1,48 |
| Yb | 4,68 | 4,49 | 5,68 | 10,03 |
| Lu | 0,74 | 0,68 | 0,88 | 1,51 |
| ΣREE | 82,36 | 75,51 | 100,19 | 105,41 |
| Eu/Eu* | 0,99 | 0,94 | 0,81 | 0,73 |

Elementi rijetkih zemalja (REE) su grupa elemenata u tragovima, atomskih brojeva od 57 do 71 - od lantana (La) do lutecija (Lu). Posebno se razmatraju zbog međusobno sličnih kemijskih i fizikalnih svojstava. Ta sličnost je uvjetovana činjenicom da se elektronska konfiguracija atoma pojedinog elementa rijetkih zemalja razlikuje za 1 elektron od onog kojem prethodi, ali tek u trećoj ljusci. REE prvenstveno tvore ione naboja 3+ i slične su veličine, s izuzetkom Eu koji može imati i naboj 2+, te Ce koji može imati naboj i 4+. Povećanje atomskog broja i smanjenje ionskog radijusa uzrokuje razlike u ponašanju pojedinih elemenata unutar REE grupe. REE su slabo topljivi u odnosu na druge elemente u tragovima te su imobilni u uvjetima alteracije i

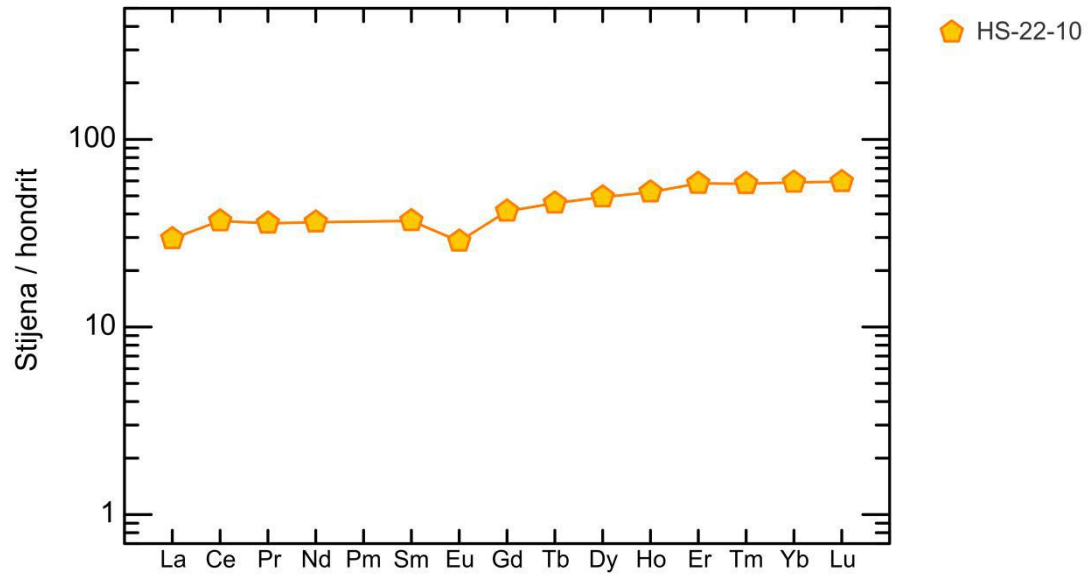
metamorfoze. Sve ove karakteristike čine ih najboljim elementima za interpretaciju geokemijskih podataka i zaključivanje o geološkim procesima.

Za prikaz i interpretaciju koncentracija elemenata rijetkih zemalja se koriste REE dijagrami. Dijagram na slici 7.27 sadrži koncentracije elemenata od lantana do lutecija normalizirane u odnosu na hondrit, prema normalizacijskim vrijednostima SUN & McDONOUGH (1989). Uzorci HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-8 su obogaćeni u odnosu na hondrit 18 do 30 puta. Svi uzorci pokazuju slične normalizacijske krivulje koncentracija, te negativnu Eu anomaliju ($Eu/Eu^*=0,81-0,99$). Proučavajući oblik normalizirane krivulje koncentracija REE-a uočava se poklapanje s krivuljama tipičnima za tolelitne bazalte otočnih lukova (WILSON, 1989).



Slika 7.27: Dijagram koncentracija elemenata rijetkih zemalja normaliziranih u odnosu na hondrit. Normalizacijske vrijednosti su preuzete od SUN & McDONOUGH (1989).

Normalizirane koncentracije žilnog uzorka albitita HS-22-10 prikazane su na slici 7.28. Uzorak je obogaćen s lakim REE (LREE) od 20 do 30 puta u odnosu na hondrit, izražena je Eu negativna anomalija ($Eu/Eu^*=0,73$), te obogaćenje prema teškim rijetkim zemljama (HREE) u rastućem trendu od Gd do Lu i do 60 puta u odnosu na hondrit. Referenciranjem literature ne pronalazimo oblik krivulje koji bi se poklapao s dobivenom krivuljom za HS-22-10 (WILSON, 1989).

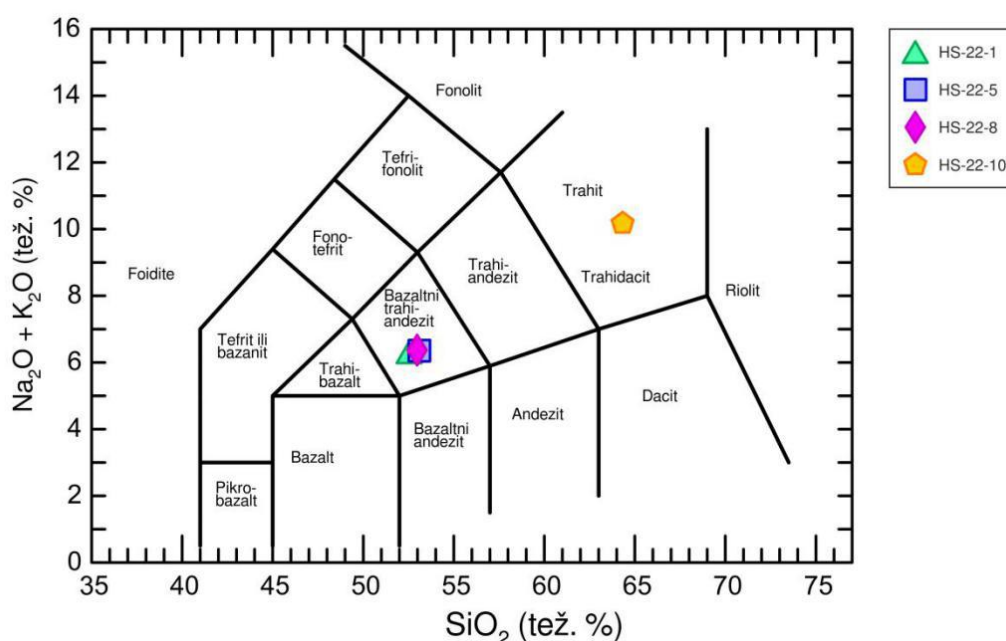


Slika 7.28: Dijagram koncentracija elemenata rijetkih zemalja normaliziranih u odnosu na hondrit. Normalizacijske vrijednosti su preuzete od SUN & McDONOUGH (1989).

8. DISKUSIJA

8.1. KEMIJSKA KLASIFIKACIJA STIJENA

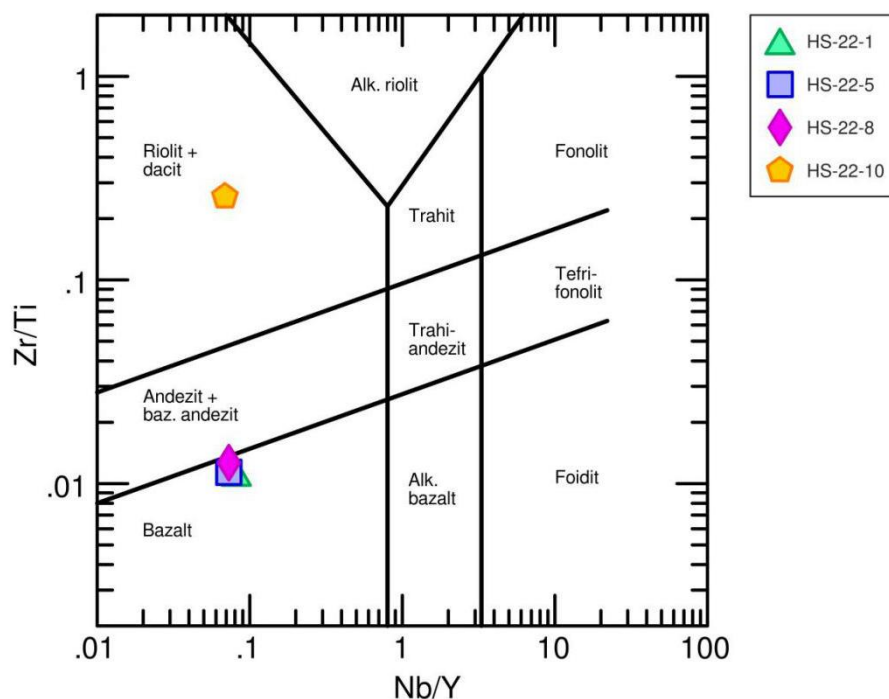
Kemijska klasifikacija za efuzivne stijene TAS (*total alkali and silica*) dijagram na x-osi prikazuje koncentraciju SiO_2 , dok je na y-osi prikazana koncentracija ukupnih alkalija ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$). Slika 8.1 prikazuje TAS dijagram prema Le BAS i dr. (1986) te područje klasifikacije istraživanih uzoraka. Uzorak HS-22-10 pripada u polje trahita do trahidacita, dok su preostala tri uzorka klasificirana kao bazaltni trahiandezit.



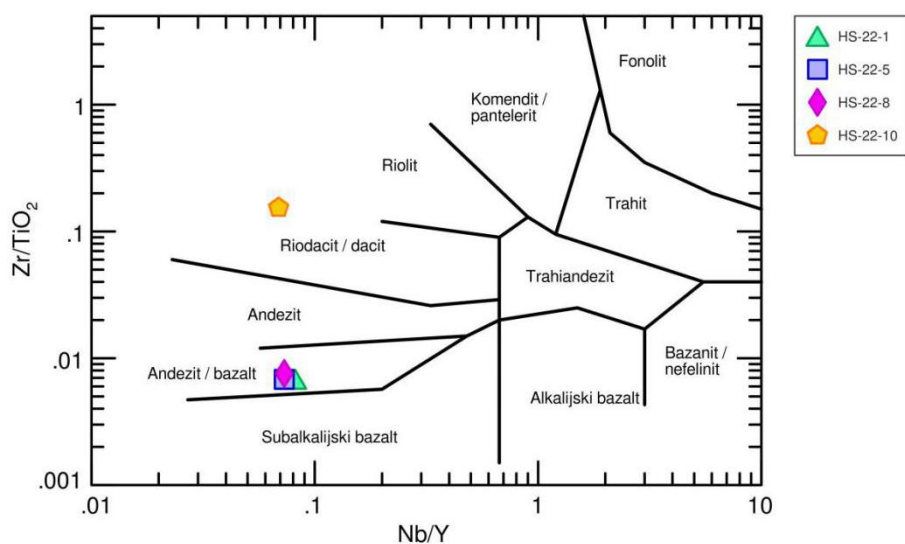
Slika 8.1: Klasifikacijski dijagram ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)- SiO_2 prema Le BAS i dr. (1986).

Potencijalni problem klasifikacije prema glavnim elementima je nemogućnost prepoznavanja sekundarnog trošenja ili alteracija koji mogu bitno izmijeniti originalni sastav stijene. Petrografske analize istraživanih uzoraka iz Hrvatskog Sela ukazuju na visok stupanj alteracije pa je udio glavnih elemenata vjerojatno promijenjen u odnosu na originalni sastav stijene. U takvim se slučajevima koriste dijagrami s elementima u tragovima koji su imobilni i ne podliježu utjecaju trošenja i alteracija. Jedan od takvih dijagrama je klasifikacijski dijagram Zr/Ti-Nb/Y prema PEARCE (1996) u kojem se uzorak HS-22-10 projicirao u polje riolita i/ili dacita, a ostali uzorci u polje bazalta blizu granice s bazaltnim andezitom i andezitom (Slika 8.2). Upotreba

klasifikacijskog dijagrama $Zr/TiO_2-Nb/Y$ prema WINCHESTER & FLOYD (1977) dala je sličan rezultat klasifikaciji prema PEARCE (1996). Uzorak HS-22-10 se projicira u polje dacita ili riodacita, a ostali uzorci na granicu između andezita i bazalta (Slika 8.3).



Slika 8.2: Klasifikacijski dijagram $Zr/Ti-Nb/Y$ prema PEARCE (1996).



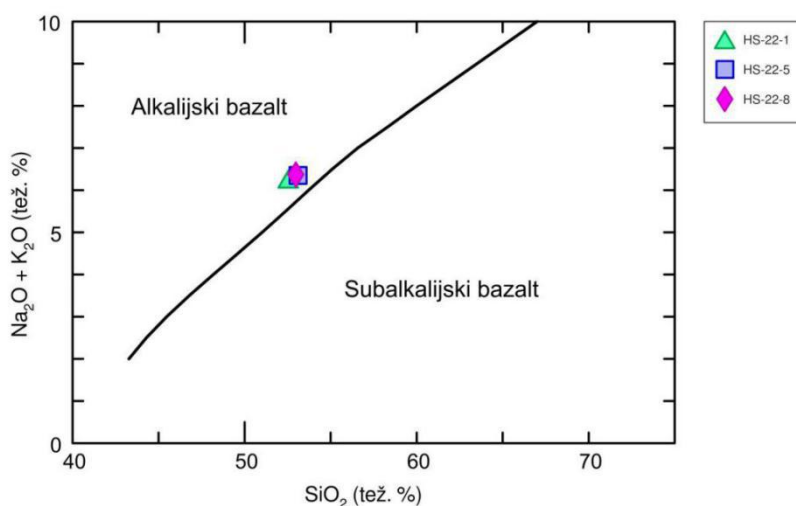
Slika 8.3: Klasifikacijski dijagram $Zr/TiO_2-Nb/Y$ prema WINCHESTER & FLOYD (1977).

U okviru petrografskih istraživanja uzorci HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-8 su određeni kao bazične magmatske stijene, odnosno spiliti, dok je kemijskom analizom determinirano da se radi o bazaltima do bazaltnim andezitima. Činjenica da su se uzorci u klasifikacijskom dijagramu $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\text{-SiO}_2$ prema Le BAS i dr. (1986) projicirali u polje bazalnog trahiandezita objašnjava se visokim sadržajem Na_2O , što je u skladu s petrografski određenim albitnim sastavom plagioklasa.

8.2. ODREĐIVANJE KARAKTERA MAGMATSKE SERIJE

Za određivanje karaktera magmatske serije također se koriste dijagrami s glavnim elementima i dijagrami s elementima u tragovima. Budući da su svi korišteni dijagrami namijenjeni diskriminaciji isključivo bazaltnih stijena, prikazani su samo uzorci determinirani kao bazične magmatske stijene.

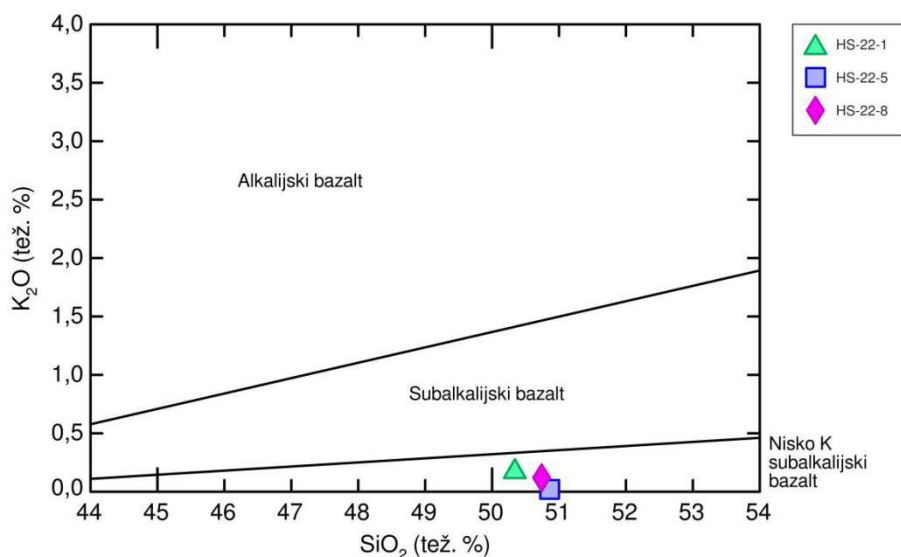
Dijagram prema IRVINE & BARAGAR (1971), u kojem y-os prikazuje zbroj alkalija (Na_2O i K_2O), a na x-osi smješten SiO_2 prikazan je na slici 8.4. Uzorci HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-8, su projicirani u područje alkalijskog bazalta u blizini granice sa subalkalijskim bazaltom (Slika 8.4).



Slika 8.4: Dijagram $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\text{-SiO}_2$ prema IRVINE & BARAGAR (1971).

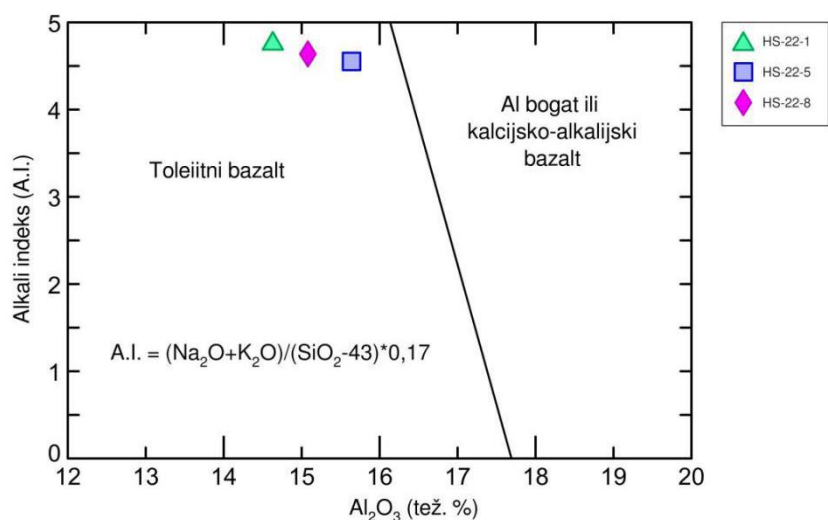
Oprečan rezultat dobiva se upotrebom $\text{K}_2\text{O}\text{-SiO}_2$ dijagrama prema MIDDLEMOST (1975), koji u obzir ne uzima količinu Na_2O . U njemu su uzorci HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-8 projicirani u područje nisko kalijskog subalkalijskog bazalta (Slika 8.5).

Relativno visoke koncentracije Na_2O (tež. %), najvjerojatnije su posljedica naknadne alteracije stijene, prije svega albitizacije plagioklasa što je dovelo do povećanja udjela Na_2O . To bi mogao biti razlog zašto su u dijagramu na slici 8.4. uzorci projicirani kao alkalijski bazalti iako možda to nisu.



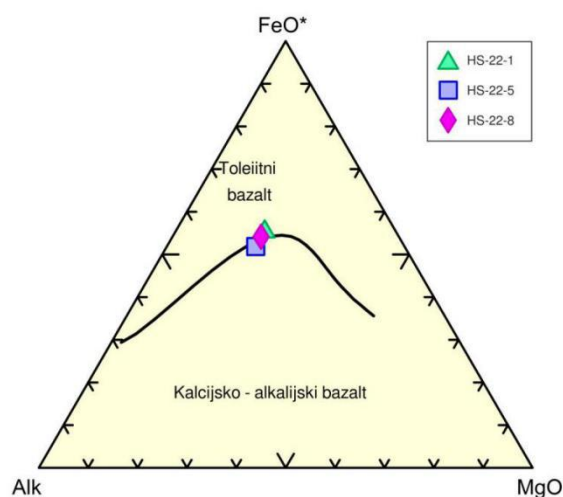
Slika 8.5: Dijagram K_2O - SiO_2 prema MIDDLEMOST (1975)

Subalkalijska magmatska serija se dijeli na toleitiitnu i kalcijsko-alkalijsku. U dijagramu alkalnog indeksa (koji je definiran kao $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/[(\text{SiO}_2-43)*0.17]$) naspram Al_2O_3 (Sika. 8.6) prema MIDDLEMOST (1975) uzorci HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-8 su projicirani u područje toleitiitnog tj, subalkalijskog bazalta. To odgovara prethodnom dijagramu na slici 8.5.



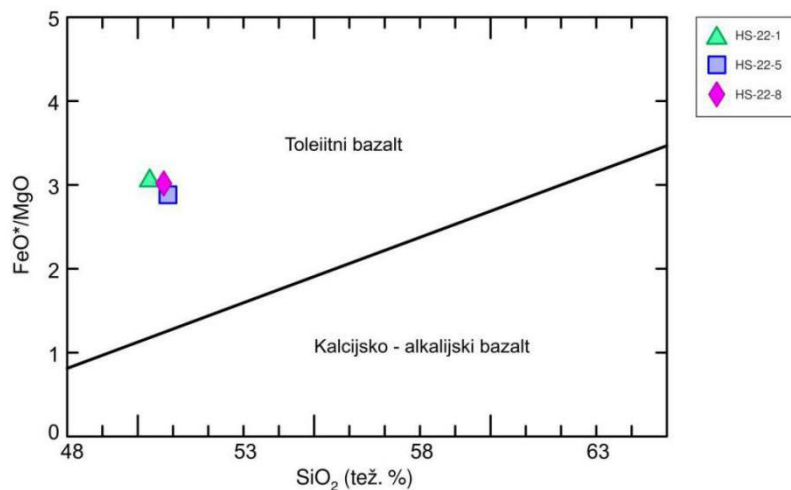
Slika 8.6: Dijagram alkalnog indeksa naspram Al₂O₃ prema MIDDLEMOST (1975).

Jedan od najčešće korištenih dijagrama za određivanje karaktera magmatske serije je AFM (alkalije-FeO-MgO) dijagram prema IRVINE & BARAGAR (1971). U njemu se istraživani uzorci nalaze na samoj granici toleitne i kalcijsko-alkalijske serije. Rezultat se razlikuje od prethodnog dijagrama gdje su uzorci HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-8 jasno projicirani u području toleitne serije. To se može objasniti time što ovaj dijagram uzima između ostalog u obzir i Na₂O koji je sekundarno povišen u istraživanim uzorcima. Također je moguć ovakav rezultat radi načina računanja FeO u dijagramu.



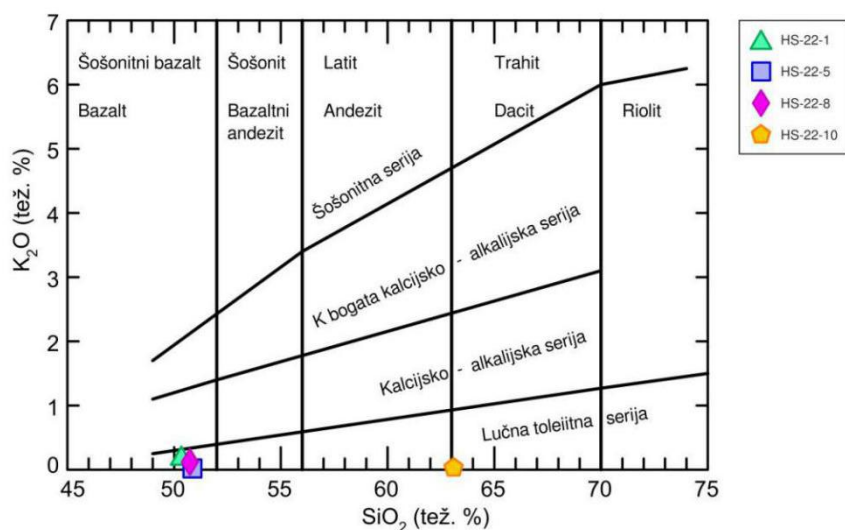
Slika 8.7: Trokomponentni dijagram alkalije (Na₂O+K₂O)-FeO-MgO (AFM) prema IRVINE & BARAGAR (1971).

U dijagramu FeO/MgO-SiO₂ prema MIYASHIRO (1974), uzorci HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-88 su projicirani u području toleitiitnog bazalta (Slika 8.8). To je u skladu s prijašnjim dijagramom na slici 8.6. prema MIDDLEMOST (1975).



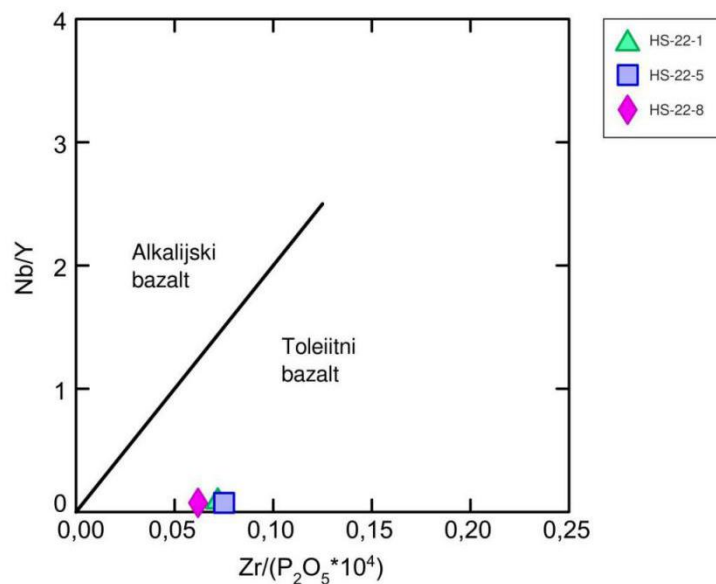
Slika 8.8: Dijagram FeO/MgO-SiO₂ prema MIYASHIRO (1974).

Klasifikacijski dijagram K₂O-SiO₂ prema PECCERILLO & TAYLOR (1976) diskriminira uzorke stijena u magmatske serije na temelju glavnih elemenata. Sva četiri istraživana uzorka projiciraju se u područje lučne toleitiitne magmatske serije (Slika 8.9).



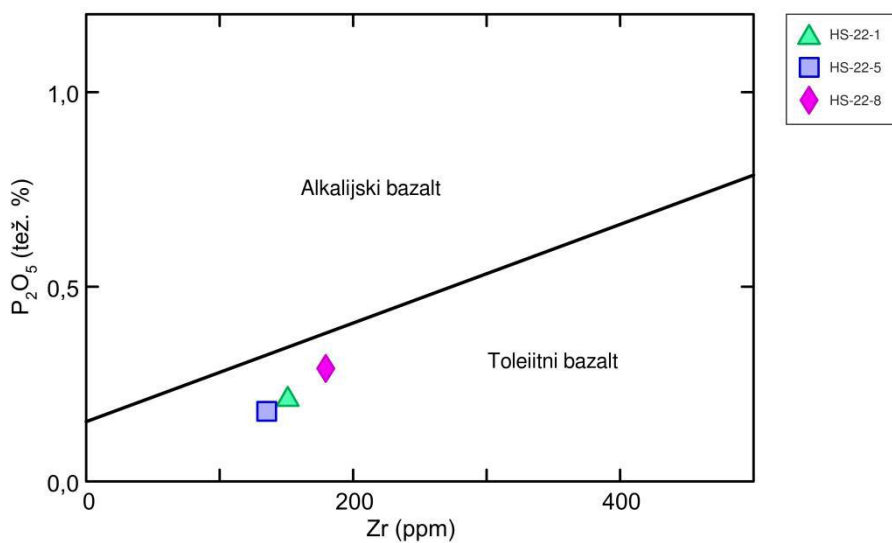
Slika 8.9: Dijagram K₂O-SiO₂ prema PECCERILLO & TAYLOR (1976).

U cilju minimaliziranja efekata alteracije i trošenja za određivanje karaktera magmatske serije istraživanih uzoraka korišten je i dijagram omjera elemenata u tragovima Nb/Y-Zr/(P₂O₅*10⁴) prema WINCHESTER & FLOYD (1976). U njemu su uzorci projicirani u polje toleitiinog bazalta (Slika 8.10).



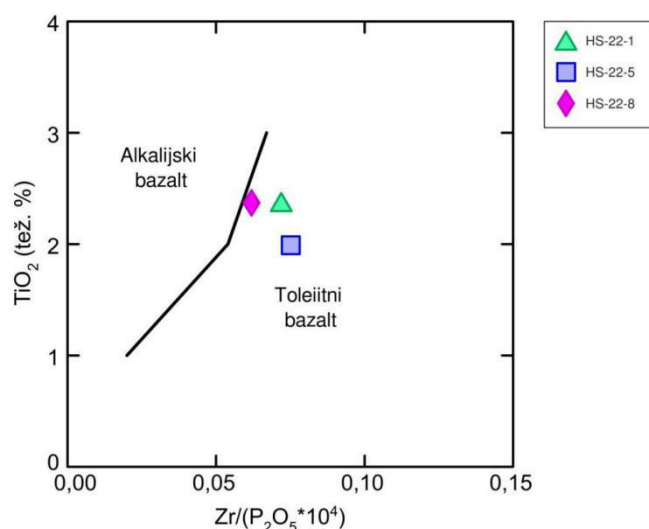
Slika 8.10: Dijagram Nb/Y-Zr/(P₂O₅*10⁴) prema WINCHESTER & FLOYD (1976).

Iste rezultate dao je i dijagram P₂O₅-Zr prema WINCHESTER & FLOYD (1976) prikazan na slici 8.11.



Slika 8.11: Dijagram P₂O₅-Zr prema WINCHESTER & FLOYD (1976).

Dijagram $TiO_2-Zr/(P_2O_5 \cdot 10^4)$ prema WINCHESTER & FLOYD (1976) također potvrđuje toleitiitni karakter istraživanih spilita (Slika 8.12).



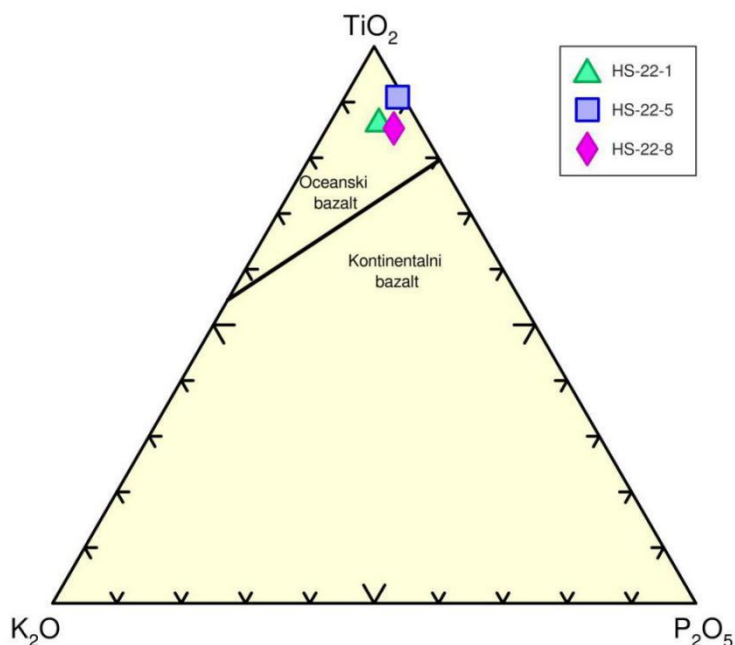
Slika 8.12: Dijagram $TiO_2-Zr/(P_2O_5 \cdot 10^4)$ prema WINCHESTER & FLOYD (1976).

Uzimajući u obzir interpretaciju podatka iz prikazanih diskriminacijskih dijagrama, može se zaključiti da spiliti HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-8 pripadaju subalkalijskoj, točnije toleitiitnoj magmatskoj seriji.

8.3. ODREĐIVANJE GEOTEKTONSKE POZICIJE

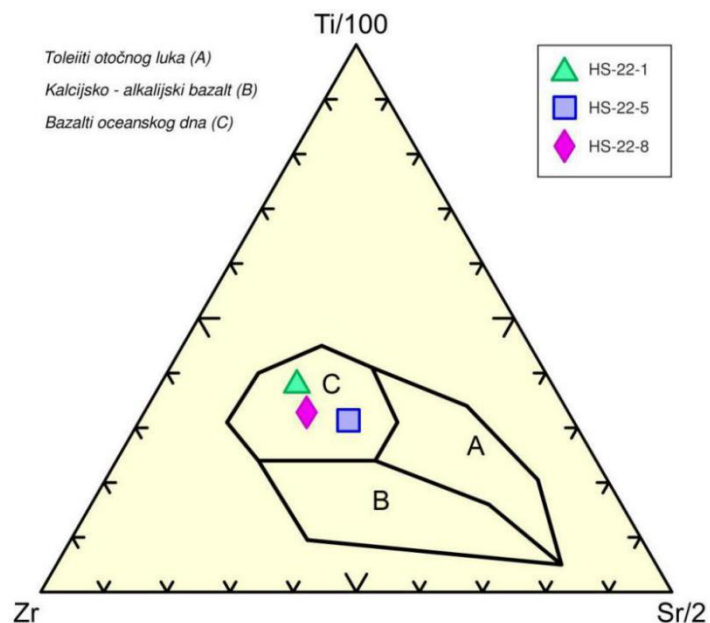
Kemijski sastav magmatskih stijena može također ukazati i na geotektonsku poziciju izvorišta taljevine iz koje je proučavana stijena iskristalizirala. Koriste se diskriminacijski dijagrami, često trokomponentni dijagrami elemenata u tragovima, koji se izabiru zbog njihove imobilne prirode. Najčešće se koriste elementi Ti, Zr, Y, Nb i P jer su stabilni pri alteraciji, u uvjetima trošenja uzrokovanim djelovanjem morske vode te u uvjetima niskog do srednjeg stupnja metamorfizma. Pojedini diskriminacijski dijagrami za određivanje geotektonskog položaja također mogu poslužiti i za određivanje karaktera magmatske serije.

Na slici 8.13. prikazan je diskriminacijski dijagram K_2O - TiO_2 - P_2O_5 prema PEARCE i dr. (1975). Podijeljen je na dva područja: bazalte nastale u oceanu i bazalte nastale na kontinentu. Sva tri istraživana spilita spadaju u područje oceanskog bazalta..

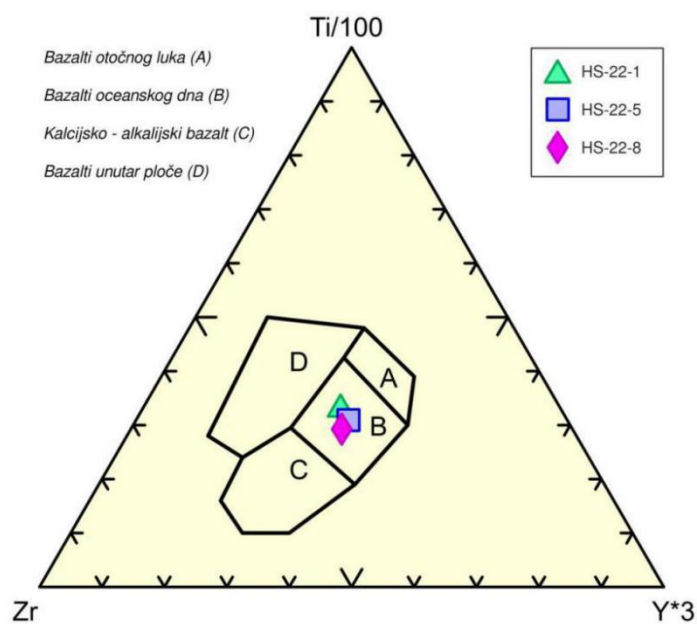


Slika 8.13: Diskriminacijski dijagram K_2O - TiO_2 - P_2O_5 za bazalte prema PEARCE i dr. (1975).

Diskriminacijski dijagrami Zr - $Ti/100$ - $Sr/2$ (Slika 8.14) i Zr - $Ti/100$ - $Y*3$ (Slika 8.15) za bazalte prema PEARCE & CANN (1973) su korišteni za detaljnije razlikovanje geotektonskog položaja. U oba dijagrama su spiliti HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-8 projicirani u područje oceanskog dna, točnije srednjeoceanskog grebena (*MORB - mid ocean ridge basalt*).



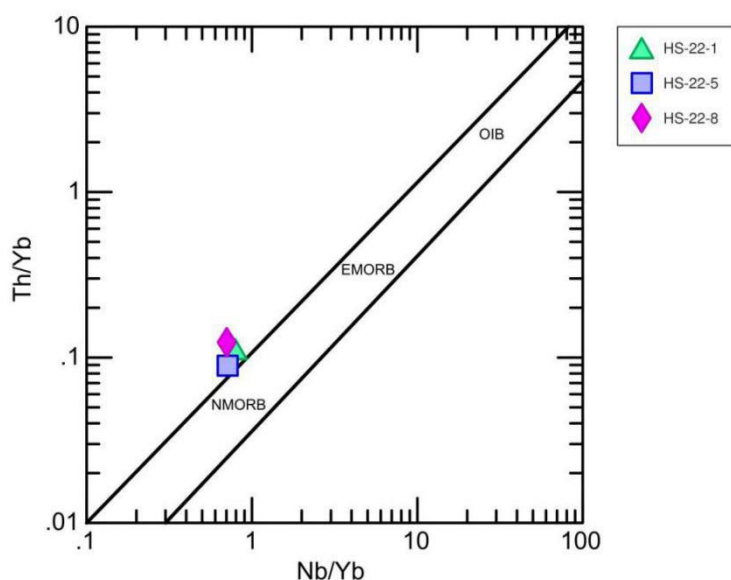
Slika 8.14: Diskriminacijski dijagram Zr-Ti/100-Sr/2 prema PEARCE & CANN (1973).



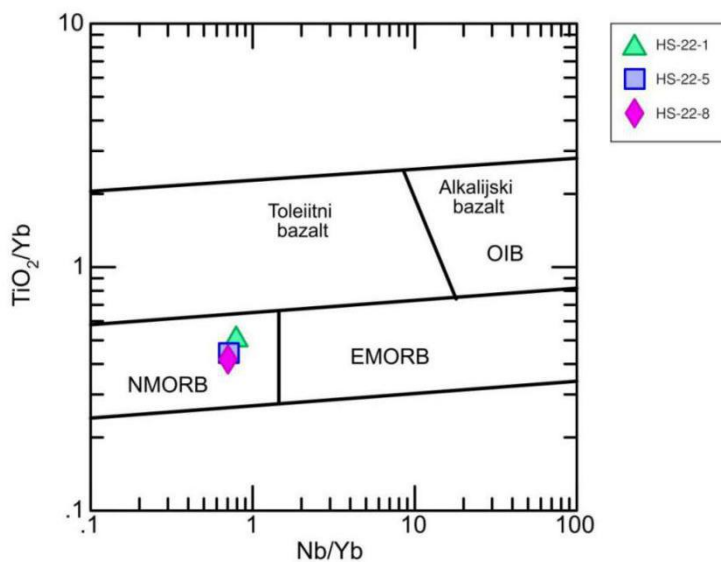
Slika 8.15: Diskriminacijski dijagram Zr-Ti/100-Y*3 prema PEARCE & CANN (1973).

Dijagrami Th/Yb-Nb/Yb (Slika 8.16) i $TiO_2/Yb-Nb/Yb$ (Slika 8.17) prema PEARCE (2008) su upotrijebljeni za razlikovanje tipova bazalta oceanskog dna. Podjela se vrši na N-MORB (normal mid ocean ridge basalt) i E-MORB (enriched mid ocean ridge basalt), tj. na osiromašene i obogaćene bazalte srednjeoceanskih grebena te oceanske

otočne bazalte (OIB - ocean island basalt). Rezultati u oba dijagrama upućuju na N-MORB tip bazalta.

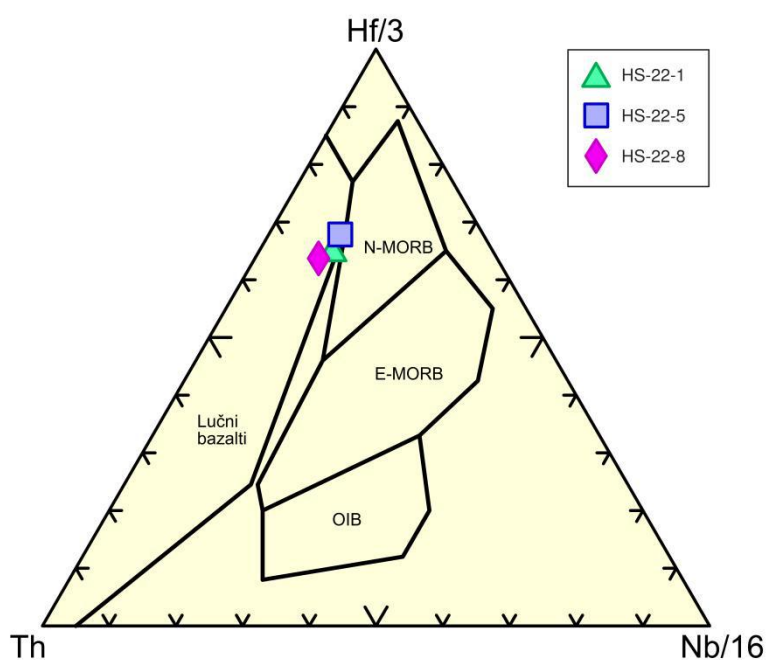


Slika 8.16: Diskriminacijski dijagram $Th/Yb-Nb/Yb$ prema PEARCE (2008). Razlikuju se N-MORB (osiromašeni bazalt srednjeoceanskog grebena), E-MORB (obogaćeni bazalt srednjeoceanskog grebena) i OIB (bazalti oceanskih otoka).

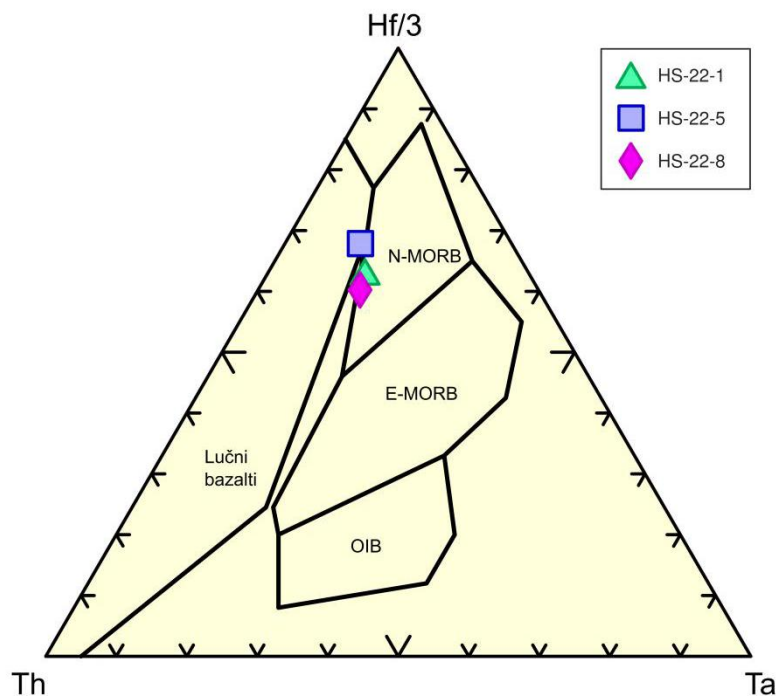


Slika 8.17: Diskriminacijski dijagram $TiO_2/Yb-Nb/Yb$ prema PEARCE (2008). Granice odjeljuju osiromašene bazalte srednjeoceanskog grebena (N-MORB), obogaćene bazalte srednjeoceanskog grebena (E-MORB) i bazalte oceanskih otoka (OIB).

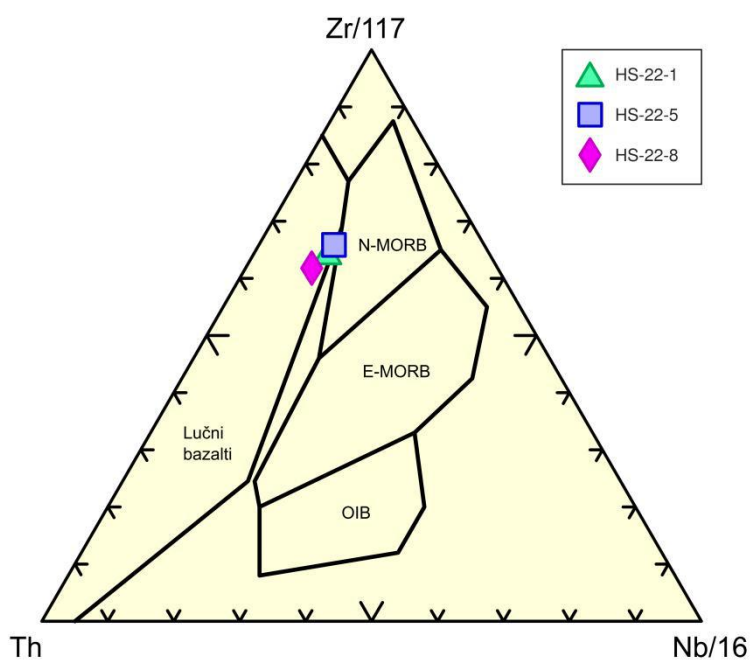
Trokomponentni dijagrami autora WOOD (1980), Th-Hf/3-Nb/16, Th-Hf/3-Ta i Th-Zr/117-Nb/16 prikazani su na slikama 8.18, 8.19 i 8.20. Dijagrami diskriminiraju između bazalta lučnog tipa, bazalta oceanskih otoka (OIB), osiromašenog bazalta srednjeoceanskog grebena (N-MORB) i obogaćenog bazalta srednjeoceanskog grebena (E-MORB). Uzorak spilita HS-22-5 je na granici lučnog bazalta i MORB-a u sva tri dijagrama. Uzorci HS-22-1 i HS-22-8 su ovisno o dijagramu smješteni u lučne bazalte ili u N-MORB, ali uvijek vrlo blizu granice ta dva polja. Dijagrami ne omogućuju jednoznačnu determinaciju geotektonskog okoliša.



Slika 8.18: Diskriminacijski dijagram Th-Hf/3-Nb/16 za bazalte prema WOOD (1980). Prikazana su područja bazalta lučnog tipa, bazalta oceanskih otoka (OIB), osiromašenog bazalta srednjeoceanskog grebena (N-MORB) i obogaćenog bazalta srednjeoceanskog grebena (E-MORB).

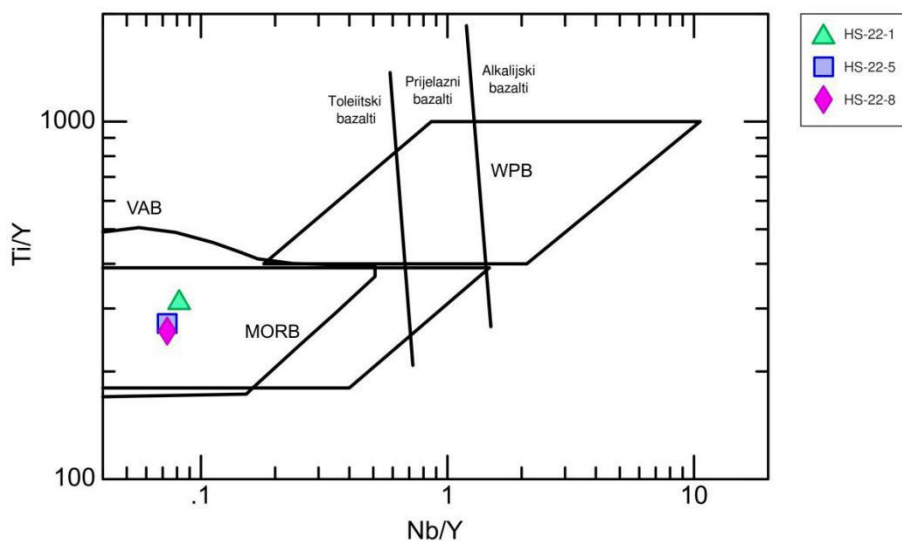


Slika 8.19: Diskriminacijski dijagram Th-Hf/3-Ta za bazalte prema WOOD (1980). Razlikuju se iste tektonske pozicije opisane u dijagramu na slici 8.18.



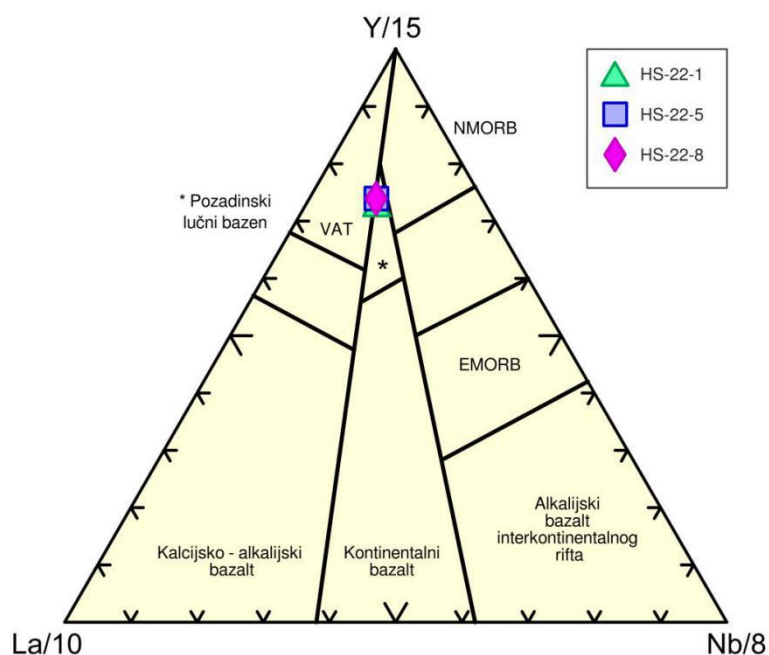
Slika 8.20: Diskriminacijski dijagram Th-Zr/117-Nb/16 za bazalte prema WOOD (1980). Koristi se za određivanje istih geotektonskih okoliša bazalta kao i u dijagramu na slici 8.18.

U diskriminacijskom dijagramu Ti/Y-Nb/Y prema PEARCE (1982) svi uzorci su pozicionirani unutar područja preklapanja srednjeoceanskog bazalta i bazalta vulkanskog luka (Slika 8.21).



Slika 8.21: Diskriminacijski dijagram Ti/Y-Nb/Y prema PEARCE (1982). Ucertana su polja srednjeoceanskog grebena (MORB), bazalta unutar ploče (WPB, within plate basalt) i bazalta vulkanskog luka (VAB, volcanic arc basalts). Područja označena s MORB i VAB se značajno preklapaju.

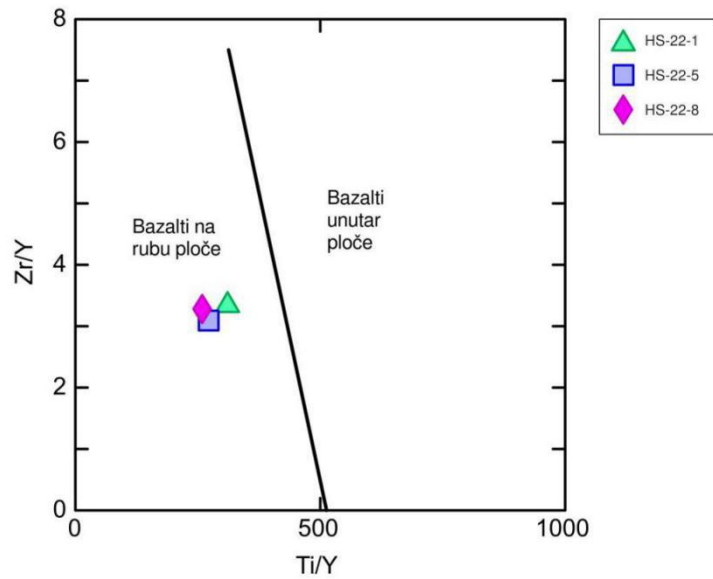
Trokomponentni dijagram La/10-Y/15-Nb/8 (Slika 8.22) prema CABANIS & LECOLLE (1989) ukazuje na poziciju pozadinskog lučnog bazena za sva tri spilita.



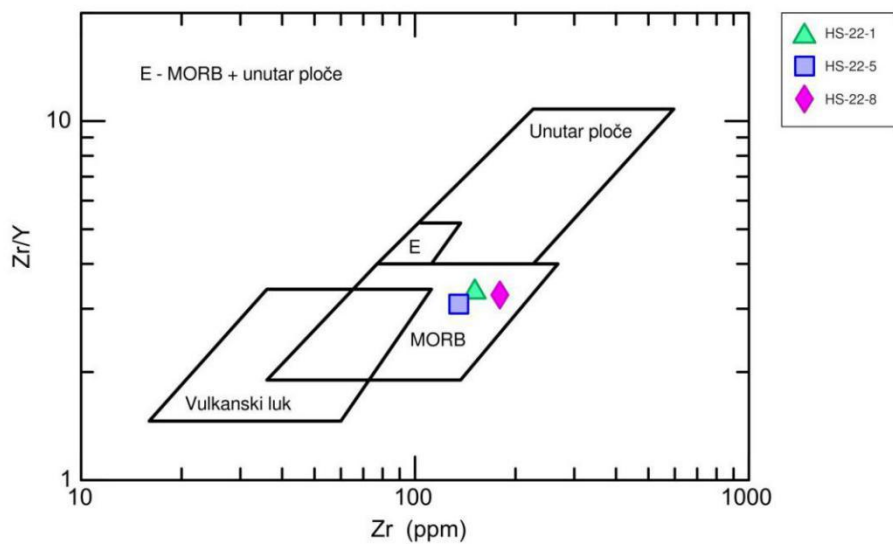
Slika 8.22: Diskriminacijski dijagram $La/10$ - $Y/15$ - $Nb/8$ prema CABANIS & LECOLLE (1989). Oznaka VAT (volcanic arc tholeiites) predstavlja toleitične bazalte vulkanskog luka.

U diskriminacijskom dijagramu Zr/Y - Ti/Y prema PEARCE & CANN (1973) svi istraživani uzorci su projicirani u područje bazalta na rubu ploče (Slika 8.23). To se može odnositi na različite geotektonske okoliše: srednjeoceanski greben (MORB), vulkanski luk ili pozadinski lučni bazen.

Dijagram je Zr/Y - Zr prema PEARCE & NORRY (1979) uzorke spilita pozicionira u područje srednjeoceanskog grebena (Slika 8.24).



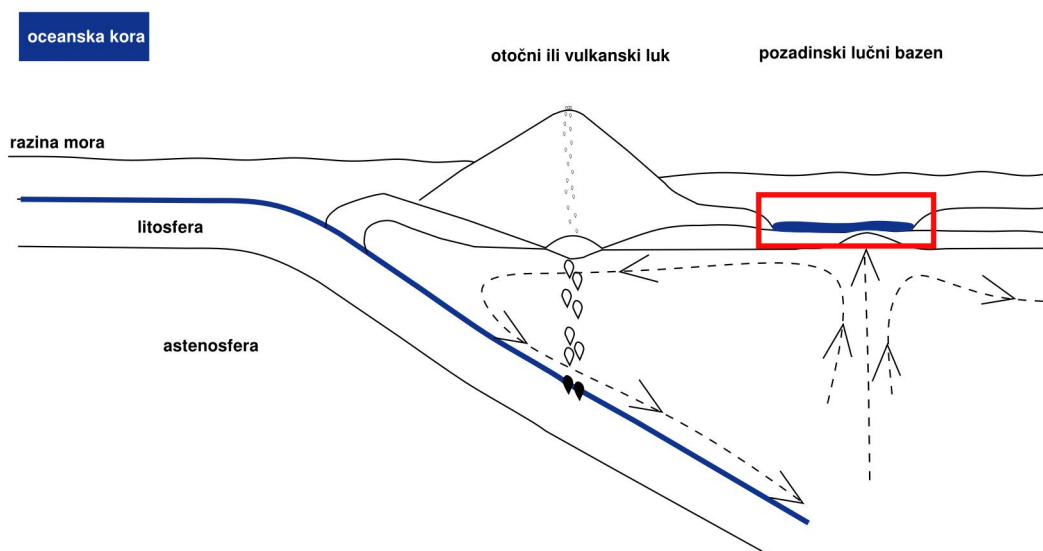
Slika 8.23: Diskriminacijski dijagram Zr/Y-Ti/Y prema PEARCE & CANN (1973).



Slika 8.24: Diskriminacijski dijagram Zr/Y-Zr prema PEARCE & NORRY (1979).

Analiza diskriminacijskih dijagrama ukazuje na geotektonski okoliš oceanskog dna na rubu ploče, međutim, interpretacija nije jednoznačna. Uzorci spilita HS-22-1, HS-22-5 i HS-22-8 projiciraju se u područje MORB-a, ali i pozadinskog lučnog bazena, ovisno o korištenom dijagramu, a često se nalaze na samim granicama između dva navedena područja (Slike 8.19, 8.20 i 8.21). Tendencija ispitivanih spilita prema MORB-u upućuje na postanak stijena u ekstenzijskom geotektonskom okolišu, dok REE i spider dijagrami upućuju na tolejitne bazalte otočnih lukova, u zaleđu kojih

nastaju pozadinski lučni bazeni. Ovakvi geokemijski “signali” mogli bi se očekivati u područjima pozadinskih lučnih bazena koji spadaju u ekstenzijski okoliš, a istovremeno mogu biti pod utjecajem lučnog magmatizma. Stoga je i vjerojatna geotektonska pozicija nastanka ovih stijena unutar pozadinskog lučnog bazena ili njemu bliskog prijelaznog okoliša (Slika 8.25).



Slika 8.25: Skica geotektonske pozicije otočnog (ili vulkanskog) luka s pozadinskim lučnim bazenom. Crvenim kvadratom je označeno područje unutar pozadinskog lučnog bazena gdje su spiliti nastali.

8.4. USPOREDBA S PRETHODNIM ISTRAŽIVANJIMA

Dobiveni rezultati i geokemijske analize spilita iz Hrvatskog Sela mogu se vrlo dobro korelirati s recentnim istraživanjima sličnih stijena na Banovini. U narednom tekstu napravljena je usporedba spilita iz Hrvatskog Sela s bazičnim stijenama Banovine koje su proučavane u sklopu završnih radova IVKIĆ (2014) i VUKOVSKI (2016).

IVKIĆ (2014) je proučavala pojave jastučaste lave na lokalitetu Vratnik u Brezovom polju u Banovini. Petrografskom analizom istraživane stijene je odredila kao bazalte (spilite), a na temelju kemijske klasifikacije zaključila da se radi o subalkalijskom bazaltu. Na temelju rezultata geokemijskih analiza uzorke je determinirala kao E-MORB tip, odnosno obogaćeni tip srednjeoceanskog bazalta (Slika 8.26a).

VUKOVSKI (2016) je istraživao bazične stijene kamenoloma Lasinja u neposrednoj blizini istoimenog mjesta. Petrografskom analizom determinirao je stijene kao spilite, dok se na temelju rezultata kemijske analize dio uzoraka projicirao u polje bazalta a dio u polje bazaltnih andezita na granici između bazičnih i neutralnih stijena. VUKOVSKI (2016) je za geotektonski okoliš formiranja magme odredio N-MORB, odnosno da se radi o osiromašenom tipu srednjeoceanskog bazalta (Slika 8.26a).

Krivulje normaliziranih koncentracija elemenata u tragovima stijena s lokaliteta Hrvatsko Selo, Lasinja i Vratnik su prikazani na slici 8.26b. Vidljivo je poklapanje oblika krivulja uzoraka stijena iz Hrvatskog Sela i Lasinje, a takav oblik je u literaturi opisan kao karakterističan za toleitične bazalte otočnih lukova (WILSON, 1989). Krivulja normaliziranih koncentracija elemenata u tragovima uzoraka stijena iz lokaliteta Vratnik ima drugačiji oblik. Ona je karakterizirana obogaćenjem lakih REE u odnosu na HREE, i takav oblik REE krivulja je tipičan, kako je IVKIĆ (2014) zaključila za E-MORB tip bazalta.

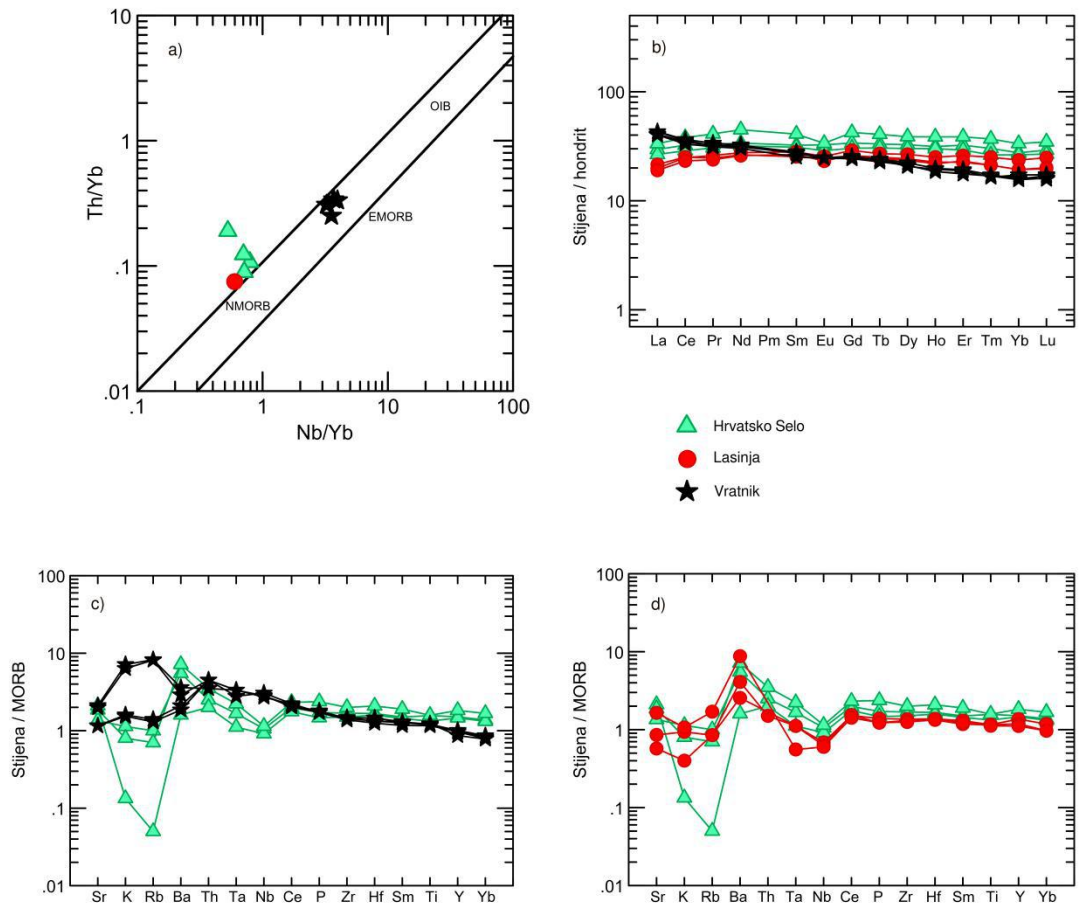
IVKIĆ (2014) i VUKOVSKI (2016) su za prikaz koncentracija elemenata u tragovima koristili i spider dijagrame normalizirane na hondrit. Budući da su za magmatske stijene Hrvatskog Sela korišteni spider dijagrami normalizirani na MORB, u cilju usporedbe spider dijagrama magmatskih stijena Hrvatskog Sela i Lasinje (Slika 8.26d) te magmatskih stijena Hrvatskog Sela i Vratnika (Slika 8.26c), iz kemijskih analiza danih u radovima gore spomenutih autora, napravljeni su spider dijagrami normalizirani na MORB s vrijednostima preuzetim od PEARCE (1983).

Na slici 8.26c prikazani su spider dijagrami uzoraka stijena Hrvatskog Sela i Vratnika. Najveća razlika u izgledu krivulja normaliziranih koncentracija elemenata u tragovima se zapaža u elementima od Sr do Ce. Krivulje normaliziranih koncentracija elemenata u tragovima u uzorcima stijena Hrvatskog Sela pokazuju negativnu Rb anomaliju, te osiromašenje K u nekim uzorcima, dok krivulje uzoraka stijena Vratnika pokazuju suprotno - pozitivnu anomaliju na Rb, s obogaćenjem K i Rb. Na krivuljama uzoraka stijena Vratnika se ponegdje vide negativne anomalije na Ba, dok su na krivuljama uzoraka stijena Hrvatskog Sela vidljive pozitivne anomalije na Ba. Krivulje normaliziranih koncentracija elemenata u tragovima u stijenama Vratnika također ne pokazuju anomaliju na Nb koja je tipična na krivuljama spilita iz

Hrvatskog Sela. Od elemenata Ce do Yb normalizirane koncentracije se kreću u sličnim vrijednostima obogaćenja do maksimalno 2 u odnosu na MORB. Normalizirane koncentracije elemenata u tragovima u stijenama Vratnika pokazuju trend opadanja od Ce do Yb pri čemu Y i Yb pokazuju osiromašenje u odnosu na MORB s vrijednostima manjim od 1.

U spider dijagramu s uzorcima stijena Hrvatskog Sela i Lasinje vidljivo je podudaranje oblika krivulja normaliziranih koncentracija, inače tipičnih za toleitične bazalte otočnih lukova (Slila 8.26d). Na krivuljama normaliziranih koncentracija većine uzoraka stijena s oba lokaliteta uočljiv je pozitivan pik odnosno anomalija na Ba te negativan pik na Nb. Uzorci Lasinje i većina uzoraka Hrvatskog Sela imaju izraženu negativnu anomaliju na K, dok oni Hrvatskog Sela imaju izraženu negativnu anomaliju na Rb. Osim Rb i Ba, normalizirane vrijednosti koncentracija elemenata u tragovima od Sr do Nb na spider dijagramu se kreću od 0,3 do 3. Od elemenata Ce do Yb obogaćenje stijene elementima u tragovima jest maksimalno do 2 puta.

Iz opisanih usporedbi vidljivo je veliko podudaranje normaliziranih koncentracija i oblika krivulja u spider i REE dijagramima između spilita iz Hrvatskog Sela i spilita iz Lasinje. Također, uzorci stijena lokaliteta Hrvatsko Selo i Lasinja su kemijski klasificirani slično, u bazalte i/ili bazaltne andezite. Dodatno, određena je ista vrsta magmatske serije, toleitične magmatske serije, i sličan geotektonski okoliš, N-MORB s elementima zalučnog bazena. Uzimajući u obzir navedeno, može se zaključiti da su stijene kamenoloma Lasinje i stijene kamenoloma u blizini Hrvatskog Sela genetski povezane. Uzorci stijena Vratnika, se po svom sadržaju elemenata u tragovima, obliku krivulja u REE i spider dijagramima, kao i po svojoj poziciji u Th/Yb-Nb/Yb dijagramu, jasno razlikuju od istraživanih spilita Hrvatskog sela, stoga je jasno da genetski stijene ova dva lokaliteta nisu povezane.



Slika 8.26: Dijagrami korišteni za usporedbu spilita Hrvatskog Sela istraživanih u ovom radu i stijena istraživanih u završnim radovima IVKIĆ (2014) i VUKOVSKI (2016). a) Diskriminacijski Th/Yb-Nb/Yb dijagram prema PEARCE (2008); b) REE dijagram normaliziran na hondritni meteorit, normalizacijske vrijednosti su od SUN & McDONOUGH (1989); c) Spider dijagram normaliziran u odnosu na MORB, normalizacijske vrijednosti preuzete od PEARCE (1983); d) Spider dijagram normaliziranih u odnosu na MORB, normalizacijske vrijednosti su od PEARCE (1983).

9. ZAKLJUČAK

Istraživane bazične stijene (HS-22-1 do HS-22-12, izuzev HS-22-10) kamenoloma Hrvatskog Sela su petrografskom analizom determinirane kao spiliti intergranularne strukture, mjestimično s ofitnom strukturom. Kemijske analize su potvrdile takvu petrografsku klasifikaciju, jasno ukazujući na visok sadržaj natrija koji je posljedica izmjene plagioklasa. Kemijska klasifikacija determinira istraživane stijene kao bazalte i/ili bazaltne andezite. Magmatska serija određena je kao toleitiitna, a geotektonski okoliš u kojem je formirana stijena je ekstenzijski, točnije pozadinski lučni bazen ili njemu blizak prijelazni okoliš.

Uzorak HS-22-10, koji predstavlja žilu u uzorku spilita, petrografski je determiniran kao albitit, a kemijski kao trahit/trahidacit ili riodacit. Geneza ove žile nije riješena, međutim njen kemizam ukazuje na bitno drugačije uvjete postanka od spilita koje presijeca.

10. POPIS LITERATURE

CABANIS, B. & LECOLLE, M. (1989): Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de melange et/ou de contamination crustale. *C.R. Acad. Sci. Ser. II*, 309, 2023-2029.

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

IVKIĆ, I. (2014): Petrogenetske karakteristike jastučastih lava Vratnika, Banija. Završni rad.

JURKOVIĆ, I. (1958): Metalogenija Petrove Gore. - *Geol. vjesnik, Zagreb*, 11, 143-228.

KIŠPATIĆ, M. (1899): Nastavak bosanske serpentinske zone u Hrvatskoj. - *Rad JAZU, Zagreb*, 139, Mat.-prir. Razred 27, 44-73.

Le BAS, M. J., Le MAITRE, R. W., STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B. (1986): A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *F. Petrol.* 27, 745-50.

MAJER, V. & TIŠLJAR, J. (1973): Spilit i andezin-dijabaz Velike Trepče u Pokuplju i spilit Hrvatskog Sela kod Topuskog u Baniji (Hrvatska, Jugoslavija). *Geološki vjesnik* 26, 552. 3 (161. 16. 45).

MIDDLEMOST, E.A.K. (1975): The basalt clan. *Earth Sci. Rev.* 11, 337-64.

MIYASHIRO, A. (1974): Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Am. F. Sci.* 274, 321-55.

PEARCE, J. A. & CANN, J. R. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth Planetary Science Letters*, 19, 290-300.

PEARCE, T. H., GORMAN, B. E. & BIRKETT, T.C. (1975): The TiO₂-K₂O-P₂O₅ diagram: a method of discriminating between oceanic and non-oceanic basalts. *Earth Planetary Science Letters*, 24, 419-426.

PEARCE, J. A. & NORRY, M.J. (1979): Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.* 69, 33-47.

PEARCE, J. A. (1982): Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Torpe R. S. (ed.), *Andesites*. Wiley, Chichester, pp. 25-548.

PEARCE, J. A. (1983): Role of the sub-continental lithosphere in the magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth C.J. and Norry M.J (eds.), *Continental basalts and mantle xenoliths*. Shiva, Nantwich, pp. 230-249.

PEARCE, J. A. (1996): A users guide to basalt discrimination diagrams. In: Wyman, D. A. (ed.) *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Application for Massive Sulphide Exploration*. Geological Association of Canada, Short Course Notes, 12, 79-113.

PEARCE, J. A. (2008): Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, 100, 14–48.

PECCERILLO, A. & TAYLOR, S.R. (1976): Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.* 58, 63-817.

ROLLINSON, H. R. (1993): *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Edinburgh Gate: Longman Scientific & Technical.

SUN, S. S. & McDONOUGH, W. F. (1989): Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society, Special Publication, 42, 313-345.

ŠIKIĆ, K. (1990): Osnovna geološka karta Republike Hrvatske, M 1:100 000, list Bosanski Novi, L33-105. Hrvatski geološki institut Zagreb, 2014.

ŠIKIĆ, K. (1990): Osnovna geološka karta Republike Hrvatske, M 1:100 000. Tumač za list Bosanski Novi 1:100 000, L33-105. Hrvatski geološki institut Zagreb, 2014.

VUKOVSKI, M. (2016): Petrogenetske karakteristike spilita Lasinje, Pokuplje. Završni rad.

WILSON, M. (1989): Igneous Petrogenesis - A Global Tectonic Approach. Chapman & Hall.

WINCHESTER J. A & FLOYD, P. A. (1976): Geochemical magma type discrimination application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. Earth and Planetary Science Letters, 28, 459-469.

WINCHESTER, J. A. & FLOYD, P. A. (1977): Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology 20, 325-343.

WOOD, D. A. (1980): The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. Earth and Planetary Science Letters 50, 11-30.