

Dijabazi i metadijabazi Radlovačkog metamorfnog kompleksa na Papuku

Putak Juriček, Marija

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:169:794178>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-17**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geologije

**DIJABAZI I METADIJABAZI RADLOVAČKOG METAMORFNOG
KOMPLEKSA NA PAPUKU**

Diplomski rad

Marija Putak Juriček

G–200

Zagreb, 2016.

DIJABAZI I METADIJABAZI RADLOVAČKOG METAMORFNOG KOMPLEKSA NA PAPUKU

MARIJA PUTAK JURIČEK

Rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak:

U metasedimente Radlovačkog kompleksa, smještenog u središnjem dijelu Papuka (Istočna Hrvatska), tijekom završnih faza hercinske orogeneze intrudirale su subvulkanske bazične stijene. Prikupljeno je šesnaest uzoraka bazičnih i metabazičnih intruzivnih stijena te sedam uzoraka okolnih metasedimenata. Mineralni sastav i ostale petrografske karakteristike svih uzoraka utvrđene su polarizacijskom mikroskopijom, a kombinacijom emisijske i masene spektrometrije s induktivno spregnutom plazmom (ICP-ES i ICP-MS) određen je kemijski sastav bazičnih i metabazičnih stijena Radlovačkog kompleksa. Dodatno, baziti i metabaziti su na temelju podataka iz literature geokemijski uspoređeni sa sličnim magmatskim pojavama na području Europe.

Prema petrografskim karakteristikama bazične i metabazične su stijene klasificirane kao dijabazi i metadijabazi, a na temelju kemijskog sastava odgovaraju kalcijsko-alkalijskim bazaltnim andezitima kontinentalnog vulkanskog luka. Zaključeno je da su baziti i metabaziti Radlovačkog kompleksa vjerojatno generirani procesima vezanim uz subdukciju oceanske kore Paleotethysa pod južni rub Laurazije te je predložen općeniti petrogenetski model istraživanih stijena.

Alternativno, baziti i metabaziti Radlovačkog kompleksa mogli bi predstavljati krustalno kontaminirane intrakontinentalne toleitične bazalte čiji je postanak asociran uz inicijalnu dezintegraciju Pangee.

Ključne riječi: dijabaz, metadijabaz, bazalt, bazaltni andezit, subdukcijska zona, kontinentalni vulkanski luk, intrakontinentalni rift, hercinska orogeneza

Rad sadrži: 85 stranica, 2 tablice, 53 slike i 52 reference

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u: knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Mentor: Doc. dr. sc. Vesnica Garašić
Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Vesnica Garašić, RGNF
Doc. dr. sc. Marija Horvat, HGI
Prof. dr. sc. Bruno Tomljenović, RGNF

Datum obrane: 19. rujna 2016.

DIABASES AND METADIABASES OF RADLOVAC METAMORPHIC COMPLEX AT MT. PAPUK

MARIJA PUTAK JURIČEK

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Mineralogy, Petrology and Mineral Deposits
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract:

In the late stages of the Variscan orogeny, hypabyssal basic rocks intruded the metasedimentary sequence of the Radlovac Complex, situated in the central part of Mt. Papuk (Eastern Croatia). Sixteen samples of the intruded basic and metabasic rocks were collected, along with an additional seven samples of the surrounding metasediments. Mineral composition and other petrographic characteristics of all the samples were determined by polarised microscopy, while the chemical analyses of the basic and metabasic rocks were carried out using a combination of inductivity coupled plasma emission and mass spectrometry (ICP-ES and ICP-MS). Utilizing the available data from literature, a comparison of the basic and metabasic rocks from the Radlovac Complex with other similar magmatic occurrences throughout Europe was made.

According to their petrographic characteristics, basic and metabasic rocks of the Radlovac Complex were classified as diabase affected by varying degrees of metamorphism, while the results of the chemical analyses indicate that they correspond to calc-alkaline basaltic andesites of active continental margins. Basic and metabasic rocks from the Radlovac Complex are presumed to be associated with the subduction of Paleotethys under the southern margin of Laurasia. Additionally, a general petrogenetic model for the formation of the investigated magmatic rocks was proposed.

However, an alternate geotectonic setting is possible. Basic and metabasic rocks from the Radlovac Complex may also be interpreted as intracontinental tholeiitic basalts related to the initial disintegration of Pangea and modified by crustal contamination.

Keywords: diabase, metadiabase, basalt, basaltic andesite, subduction zone, continental volcanic arc, intracontinental rift, Variscan orogeny

Thesis: contains 85 pages, 2 tables, 53 figures and 52 references

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Supervisor: Assistant Professor Vesnica Garašić, PhD

Reviewers: Assistant Professor Vesnica Garašić, PhD
Assistant Professor Marija Horvat, PhD
Full Professor Bruno Tomljenović, PhD

Date of defense: September 19, 2016.

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. GEOGRAFSKE ZNAČAJKE PAPUKA	5
3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE PAPUKA.....	6
3. 1. REGIONALNI GEOLOŠKI ODNOSI.....	6
3. 2. GEOLOGIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA.....	9
4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	16
5. ANALITIČKE METODE ISTRAŽIVANJA.....	18
5.1. METODA POLARIZACIJSKE MIKROSKOPIJE.....	18
5.2. USITNJAVANJE UZORAKA	18
5.3. METODE KEMIJSKE ANALIZE	18
6. REZULTATI ANALITIČKIH METODA ISTRAŽIVANJA.....	19
6.1. PETROGRAFSKE ZNAČAJKE STIJENA	19
6.1.1. Lokalitet Radiša.....	19
6.1.2. Lokalitet Češljakovci.....	31
6.1.3. Lokalitet Radlovac	41
6.2. KEMIJSKI SASTAV STIJENA	58
6.2.1. Sadržaji glavnih elemenata	58
6.2.2. Koncentracije elemenata u tragovima.....	60
6.2.2.1. Spider dijagram	61
6.2.2.2. REE dijagram	62
7. DISKUSIJA.....	64
7.1. NAČIN POJAVLJIVANJA I PETROGRAFSKE ZNAČAJKE STIJENA	64
7.2. KEMIJSKA KLASIFIKACIJA STIJENA	66
7.3. ODREĐIVANJE MAGMATSKE SERIJE	68
7.4. ODREĐIVANJE GEOTEKTONSKOG POLOŽAJA	71
7.5. SLIČNE MAGMATSKE POJAVE U EUROPI	74
7.6. PRIJEDLOG PETROGENETSKOG MODELA	77
8. ZAKLJUČAK	80
9. POPIS LITERATURE	81

Popis tablica:

Tablica 6-1. Sadržaji glavnih elemenata u stijenama 58

Tablica 6-2. Koncentracije elemenata u tragovima 60

Popis slika:

Slika 1-1. Kontakt magmatskog tijela s metasedimentima na lokalitetu Radiša 2

Slika 1-2. Odronjeni blok iz kojeg je uzet uzorak RD-1 na lokalitetu Radiša 3

Slika 1-3. Kupolasti pojavni oblik dijabaza na lokalitetu Češljakovci 3

Slika 2-1. Geografski smještaj Papuka..... 5

Slika 3-1. Rekonstrukcija tektonskih pokreta tijekom hercinske orogeneze 7

Slika 3-2. Tektonski smještaj i pojednostavljena karta Papuka 10

Slika 3-3. Isječak OGK SFRJ 1:100 000 list Orahovica..... 15

Slika 6-1. Mikrofotografije uzorka RD–1 s oligofirnom strukturom..... 20

Slika 6-2. Mikrofotografija piritu s povijenim tlačnim sjenama u uzorku RD–2 22

Slika 6-3. Mikrofotografija uzorka RD–3 sa psamitno-klastičnom strukturom 23

Slika 6-4. Mikrofotografija uzorka RD–4 sa psamitno-klastičnom strukturom 24

Slika 6-5. Mikrofotografija uzorka RD–5 s intergranularnom strukturom 25

Slika 6-6. Mikrofotografija uzorka RD–5 s kloritiziranim amfibolom..... 26

Slika 6-7. Mikrofotografija uzorka RD–6 s intergranularnom strukturom 27

Slika 6-8. Mikrofotografija uzorka RD–6 sa pseudomorfozom klorita po amfibolu..... 28

Slika 6-9. Mikrofotografija uzorka RD–7 s krupnim zrnima klinopiroksena..... 30

Slika 6-10. Mikrofotografije uzorka ČŠ–1 s amfibolom i apatit 31

Slika 6-11. Mikrofotografije uzorka ČŠ–2 s fenokristalom plagioklasa..... 33

Slika 6-12. Mikrofotografija uzorka ČŠ–3 s reliktom ilmenita 35

Slika 6-13. Mikrofotografije uzorka ČŠ–4 s vidljivom strukturom i apatitom..... 36

Slika 6-14. Mikrofotografija uzorka ČŠ–4 s granonematoblastičnom strukturom 37

Slika 6-15. Mikrofotografija uzorka ČŠ–5 s fenokristalom plagioklasa..... 38

Slika 6-16. Mikrofotografija uzorka ČŠ–6 s granonematoblastičnom strukturom 40

Slika 6-17. Mikrofotografija uzorka ČŠ–6 s fenokristalom plagioklasa..... 40

Slika 6-18. Mikrofotografija uzorka RL–1 s alteracijom plagioklasa..... 41

Slika 6-19. Mikrofotografija uzorka RL–1 s alteracijom klinopiroksena 42

Slika 6-20. Mikrofotografija uzorka RL–2 s ofitnom do poikilitnom strukturom..... 43

Slika 6-21. Mikrofotografija uzorka RL–2 s akcesornim apatitom 44

Slika 6-22. Mikrofotografija uzorka RL–3 s ofitnom strukturom 45

Slika 6-23. Mikrofotografija uzorka RL–3 s usmjerenim rastom aktinolita..... 46

Slika 6-24. Mikrofotografija uzorka RL–3 s djelomično resorbiranim ilmenitom..... 47

Slika 6-25. Mikrofotografije uzorka RL–4 s ofitnom do poikilitnom strukturom..... 48

Slika 6-26. Mikrofotografija uzorka RL–5 s alteracijom klinopiroksena 49

Slika 6-27. Mikrofotografija uzorka RL–5 s alteracijom plagioklasa..... 50

Slika 6-28. Mikrofotografija uzorka RL–6 s ofitnom strukturom 51

Slika 6-29. Mikrofotografija uzorka RL–7 s psamitno-klastičnom strukturom..... 52

Slika 6-30. Mikrofotografija uzorka RL–7 s akcesornim cirkonom 53

Slika 6-31. Mikrofotografija uzorka RL–8 s pelitno-klastičnom strukturom 54

Slika 6-32. Mikrofotografija uzorka RL–9 s pelitno-klastičnom strukturom	55
Slika 6-33. Mikrofotografija uzorka RL–10 sa psamitno-klastičnom strukturom.....	57
Slika 6-34. Spider dijagram prema Sun (1980).....	62
Slika 6-35. REE dijagram	63
Slika 7-1. TAS dijagram	66
Slika 7-2. Klasifikacijski dijagram Zr/Ti-Nb/Y	67
Slika 7-3. Diskriminacijski dijagram K_2O-SiO_2	68
Slika 7-4. Dijagram $FeO^*/MgO-SiO_2$	69
Slika 7-5. AFM dijagram	69
Slika 7-6. Diskriminacijski dijagram La/10-Y/15-Nb/8	70
Slika 7-7. Dijagrami Zr/117-Nb/16-Th, Hf/3-Nb/16-Th i Hf/3-Ta-Th	71
Slika 7-8. Dijagrami Th/Yb-Nb/Yb i Th/Yb-Ta/Yb.	72
Slika 7-9. Spider dijagram prema Rudnick & Gao (2004)	73
Slika 7-10. Usporedba bazičnih magmatskih pojava u C-P sedimentnim stijenama.....	76
Slika 7-11. Petrogenetski model bazita i metabazita Radlovačkog kompleksa.	79

1. UVOD

Radlovački stijenski kompleks smješten je u središnjem dijelu Papuka, a sastoji se od metasedimentnih stijena, silova i većih nepravilnih tijela bazičnih magmatskih stijena. Na temelju dosadašnjih terenskih istraživanja, općenito se smatra da su stijene Radlovačkog kompleksa transgresivne na Psunjski i Papučki kompleks te su naknadno navučene preko Papučkog kompleksa (Jamičić, 1988).

Metasedimenti Radlovačkog kompleksa izgrađeni su dominantno od izmjene metapješčenjaka sa slejtovima i filitima (Jamičić et al., 1987), a njihova je starost predmet dugogodišnjih diskusija. Dok pojedini autori (Poljak, 1952; Jerinić et al., 1994) spominju nalaze silurskih fosila u metasedimentnim stijenama, Brkić et al. (1974) utvrdili su prisutnost karbonskih fosila u njima, a novija istraživanja temeljena na izotopnom datiranju detritičnog monacita iz metasedimenata *Th–U–Pb* metodom također upućuju na karbonsku starost (Biševac et al., 2013).

Bazične i metabazične intruzije Radlovačkog kompleksa, koje su predmet ovog istraživanja, petrografski odgovaraju dijabazima i metadijabazima te im je na temelju *K–Ar* izotopnog datiranja klinopiroksena iz uzoraka pronađenih u kamenolomu Radlovac pridružena gornjokarbonska starost od 319 Ma (Pamić et al., 1988).

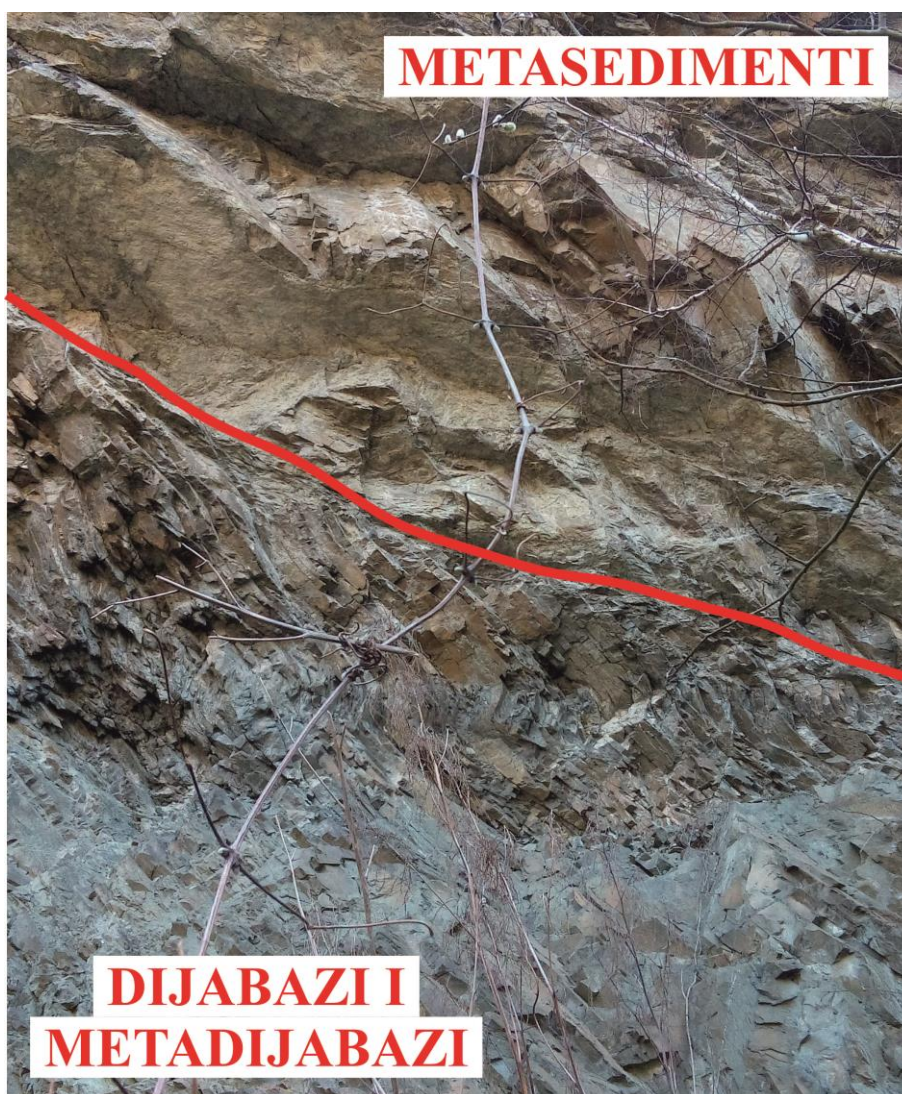
Bazične stijene Radlovačkog kompleksa intrudirale su u završnim fazama hercinske orogeneze ili u inicijalnom stadiju riftne faze Pangee. Krajem karbona i početkom perma u zapadnom se dijelu hercinskog orogena odvija kontinentalna kolizija Gondwane i Laurazije, dok se u istočnim Hercinidima, gdje je bilo smješteno područje Papuka, nastavlja subdukcija Paleotethysa pod južni rub Laurazije (McCann et al., 2006). Istovremeno započinje i otvaranje brojnih ekstenzijskih bazena diljem područja današnje Europe koji se pripisuju inicijalnom stadiju riftne faze Pangee (McCann et al., 2006).

Dosada se smatralo da su baziti i metabaziti Radlovačkog kompleksa jedna od pojava toleitičnih bazičnih stijena nastalih intrakontinentalnim riftanjem vezanim uz početak dezintegracije Pangee (Pamić & Jamičić, 1986).

U međuvremenu su usavršene nove analitičke metode koje pružaju mogućnost analiziranja mnogo šireg spektra elemenata u tragovima te se stoga ponovno pristupilo istraživanju bazita i metabazita Radlovačkog kompleksa s ciljem preciznijeg određivanja izvornog geotektonskog okoliša magmatskih stijena.

Uzorci dijabaza i metadijabaza uzeti su na lokalitetima Radiša i Češljakovci, koji se nalaze u središnjem, te iz kamenoloma Radlovac smještenog u istočnom dijelu Radlovačkog kompleksa.

Na izdanku napuštenog kamenoloma Radiša otkriven je približno 20 m deo sil sitnozrnatih svijetlo sivih metadijabaza intergranularne do porfirne strukture. U metadijabazima je dobro izražen klivaž (Slika 1-1) koji u pravilu ima orijentaciju sličnu kao i folijacija okolnih metasedimenata. U stijeni se uočavaju brojne žile ispunjene dominantno kvarcom (Slika 1-2).



Slika 1-1. Kontakt magmatskog tijela s okolnim metasedimentnim stijenama na lokalitetu Radiša.



Slika 1-2. Odronjeni blok iz kojeg je uzet uzorak RD-1. Označena je žila ispunjena sekundarnim mineralima (lokalitet Radiša).

Na prethodno neistraženom izdanku metabazičnih stijena na lokalitetu Češljakovci, metadijabazi izgrađuju niz kupolastih formi dekametarskih dimenzija (Slika 1-3). Metadijabazi s lokaliteta Češljakovci su krupnozrnatiji u odnosu na one iz napuštenog kamenoloma Radiša. Djelomično su metamorfozirani te često imaju granonematoblastične strukture. Rubni dijelovi magmatskog tijela u većoj su mjeri zahvaćeni metamorfizmom i izmijenjeni u zelene škriljavce s reliktnim magmatskim strukturama (Pamić & Jamičić, 1986).



Slika 1-3. Kupolasti pojavni oblik dijabaza na lokalitetu Češljakovci.

Kamenolom Radlovac obuhvaća neka od najvećih dosada otkrivenih bazičnih magmatskih tijela Radlovačkog kompleksa. Dijabazi su na ovom lokalitetu izrazito krupnozrnati, premda se mjestimično pronalaze i sitnozrnatiji varijeteti, te se odlikuju ofitnom strukturom.

U okviru ovog istraživanja, ukupno je prikupljeno 16 uzoraka dijabaza i metadijabaza te 7 uzoraka okolnih metasedimentnih stijena Radlovačkog kompleksa. Metodom polarizacijske mikroskopije određene su petrografske značajke dijabaza i metadijabaza te okolnih stijena. Šest je uzoraka bazičnih i metabazičnih stijena odabrano za daljnja istraživanja.

Izdvojenim je uzorcima kemijskom analizom određen sadržaj glavnih elemenata i elemenata u tragovima. Na temelju kemijskih analiza opisan je izvorni geotektonski smještaj istraživanih dijabaza i metadijabaza.

Bazične i metabazične stijene Radlovačkog kompleksa uspoređene su s geokemijski sličnim magmatskim pojavama u Europi koje su asocirane s karbonskim i permskim klastičnim naslagama. Dodatno je predložen općeniti petrogenetski model dijabaza i metadijabaza Radlovačkog kompleksa te njima sličnih magmatskih pojava.

2. GEOGRAFSKE ZNAČAJKE PAPUKA

Papuk je smješten u istočnom dijelu Republike Hrvatske (Slika 2-1) te zauzima dijelove teritorija Bjelovarsko-bilogorske, Virovitičko-podravске i Požeško-slavonske županije. Planina ima generalno pružanje ZSZ–IJJ, a najviši vrh joj je Papuk (953 m).

Područje se odlikuje razvedenim reljefom, ima dobro razvijenu hidrografsku mrežu i prekriveno je bujnom šumskom vegetacijom. Zbog obilja biljnih i životinjskih vrsta te netaknute prirode, 1999. godine Papuk je proglašen parkom prirode. Velika geološka raznolikost područja omogućila je osnivanje Geoparka Papuk 2007. godine koji je postao dijelom europske i svjetske UNESCO-ve mreže geoparkova. Na području Papuka također se nalaze brojni arheološki lokaliteti i povijesni spomenici.

Najveći gradovi na području Papuka i okolice su Orahovica, Velika, Kutjevo i Daruvar.



Slika 2-1. Geografski smještaj Papuka. Karta preuzeta s: <https://upload.wikimedia.org>.

3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE PAPUKA

3. 1. REGIONALNI GEOLOŠKI ODNOSI

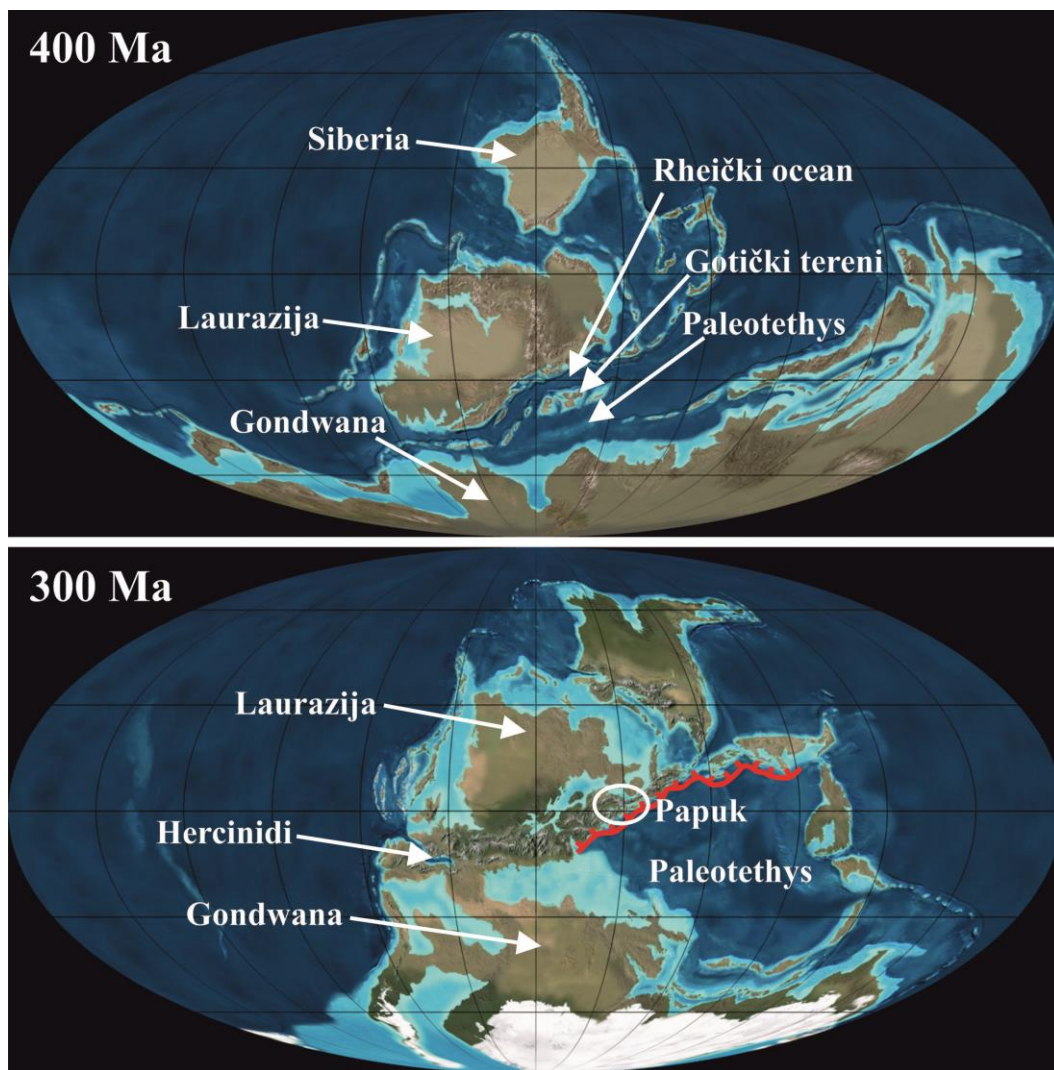
Papuk je smješten na južnom rubu Panonskog bazena i u zoni konvergentne granice Unutarnjih Dinarida i Tisije. Ova je granica, kao i glavnina područja Panonskog bazena, prekrivena miocenskim, pliocenskim i kvartarnim sedimentima što otežava interpretaciju pred-neogenskih regionalnih geoloških odnosa. Premda su regionalni geološki odnosi ovog područja veoma složeni, većina se autora slaže da Papuk predstavlja jedno od izoliranih područja gdje je na površini otkrivena hercinska kristalinska osnova Tisije koje je danas okruženo mlađom sedimentnom ispunom Panonskog bazena (Schmid et al., 2008).

Hercinska je orogeneza dugotrajan i složen tektonski događaj koji obuhvaća akreciju Gotičkih terena uz južni rub Laurazije te kulminira kolizijom Gondwane s Laurazijom i formiranjem superkontinenta Pangee (Dostal et al., 2003).

Termin *Gotički tereni* zajednički je naziv za niz kontinentalnih fragmenata, uključujući i područje Tisije, koji su krajem silura odvojeni od sjevernog ruba Gondwane i subdukcijom Rheičkog oceana priključeni Lauraziji krajem devona i početkom karbona (380-340 Ma; Slika 3-1; Dostal et al., 2003). Tijekom karbona pod Gotičke terene, smještene uz južni rub Laurazije, subducira se Paleotethys te se Gondwana postupno približava Lauraziji (Dostal et al., 2003). U zapadnom dijelu Hercinida krajem karbona dolazi do kontinentalne kolizije Gondwane i Laurazije, dok se istovremeno u istočnom dijelu hercinskog orogena nastavlja subdukcija oceanske kore Paleotethysa pod Lauraziju (McCann et al., 2006; Slika 3-1).

Ubrzo nakon formiranja Pangee započinje njena dezintegracija. Krajem karbona Gondwana počinje rotirati u smjeru obrnutom od kazaljke na satu, istovremeno uz translaciju prema zapadu u odnosu na Lauraziju. Uslijed ovih tektonskih pokreta, konvergentna granica Gondwane i Laurazije mijenja karakter te područje današnje Europe postaje dijelom regionalne zone desnog smicanja (McCann et al., 2006). Mnogi se autori slažu da je translacija Gondwane krajem karbona i početkom perma inicirala riftanje koje je zahvatilo područje hercinskog orogena i kontinentalnu koru Laurazije sjeverno od Hercinida (McCann et al., 2006; Wilson et al., 2004).

U zaleđu Hercinida postupno se otvaraju prostrani sedimentacijski bazeni, dok se u području samog orogena formiraju manji, slatkovodni i zatvoreni bazeni. Sedimentacija je ovim bazenima dominantno klastična (McCann et al., 2006).



Slika 3-1. Rekonstrukcija tektonskih pokreta tijekom hercinske orogeneze. Paleogeografske karte preuzete s: <http://cpgeosystems.com>.

Prema Wilson et al. (2004), inicijalno riftanje Pangee popraćeno je brojnim magmatskim pojavama čija je starost približno 300 Ma (kraj karbona i početak perma), a centri magmatske aktivnosti uglavnom su smješteni unutar spomenutih rasjedima omeđenih sedimentacijskih bazena (McCann et al., 2006).

Tisija, na čijem se južnom rubu nalazi Papuk (Schmid et al., 2008), je tijekom inicijalnog riftanja Pangee krajem karbona i početkom perma bila smještena u jugoistočnom dijelu hercinskog orogena u području subdukcijske zone Paleotethysa. Tijekom dezintegracije Pangee u trijasu, područje Papuka ostalo je smješteno uz južni rub Laurazije (Pamić et al., 2003).

Prema Schmid et al. (2008), u srednjoj juri Tisija se odvojila od euroazijske ploče prilikom otvaranja istočnog dijela alpskog Tethysa, rotirala je u smjeru kazaljke na satu te se naknadno ponovno spojila s Euroazijom tijekom izdizanja Karpata u miocenu.

U krajem krede započinje kolizija Tisije i Dinarida kojom se uz južni rub Tisije izdižu hercinske kristalinske stijene koje danas izgrađuju Papuk, Psunj, Krndiju, Dilj goru i Moslavačku goru (Ustaszewski et al., 2010).

Sa sjeverozapadne i sjeverne strane Tisija graniči s megatektonskom jedinicom ALCAPA (Alps-Carpathians-Pannonia), kontinentalnim fragmentom koji uključuje tektonske jedinice istočnih i južnih Alpa te Zapadnih Karpata, a koje su također u najvećoj mjeri prekrivene miocenskim i plio-kvartarnim naslagama Panonskog bazena. Granicu između Tisije i ALCAPA-e čini Zagorsko-srednjotransdanubijska smična zona u kojoj se nalaze tektonske jedinice izgrađene od stijena kontinentalne i oceanske kore, a koje su združene zatvaranjem oceanskog prostora između ALCAPA-e i Tisije u paleogenu, a potom i njihovom lateralnom ekstruzijom prema istoku tijekom neogena (Schmid et al., 2008).

Sa istočne i jugoistočne strane Tisija graniči s Dacijom, kontinentalnim fragmentom koji se tijekom jure djelomično odvojio od euroazijske ploče. Granicu između Dacije i Tisije obilježava ofiolitni kompleks koji je u literaturi često nazivan Istočnom Vardarskom zonom (Schmid et al., 2008).

Uz južni rub Tisije nalazi se Savsko-varcarska zona, gotovo 1000 km dug pojas koji se proteže od Zagreba prema Beogradu, a predstavlja ostatake zalučnog bazena Unutarnjih Dinarida (Pamić, 2002) koji se zatvorio tijekom gornje krede i paleogena (Schmid et al., 2008; Ustaszewski et al., 2010).

Na temelju regionalnih istraživanja susjednih područja, Schmid et al. (2008) pretpostavljaju južnu do jugozapadnu vergenciju kredno-paleogenskih struktura uz južni rub Tisije u okolini Papuka. Suprotno tome, autori Osnovne geološke karte SFRJ 1:100000 list Orahovica (1987) iz rezultata detaljnog geološkog kartiranja zaključuju da je vergencija struktura na području Papuka sjeverna do sjeveroistočna, a isto smatraju Pamić et al. (2003) koji u Geološkom vodiču kroz Park prirode Papuk navode da bušotinski i geofizički podaci ukazuju na podvlačenje južne Tisije pod Dinaride. U ranijim radovima Pamić et al. (1998) također su pretpostavljali južnu do jugozapadnu vergenciju stijenskih masa uz južni rub Tisije.

3. 2. GEOLOGIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Hercinska kristalinska osnova Papuka izrazito je složene građe (Slika 3-3) što je vidljivo na isječku osnovne geološke karte SFRJ 1:100 000 lista Orahovica (Jamičić & Brkić, 1987) na kojoj su označene lokacije uzorkovanja dijabaza i metadijabaza (RD-Radiša, ČŠ-Češljakovci i RL-Radlovac). Podjela hercinske kristalinske osnove Papuka na Psunjski, Radlovački i Papučki kompleks datira iz osamdesetih godina prošlog stoljeća, a zadržala se do danas (Slika 3-2). Sa sjeverne i južne strane na kristalinsku osnovu transgresivno naliježu neogenski i kvartarni sedimenti koji prekrivaju obronke Papuka (Slika 3-2; Slika 3-3).

Psunjski kompleks

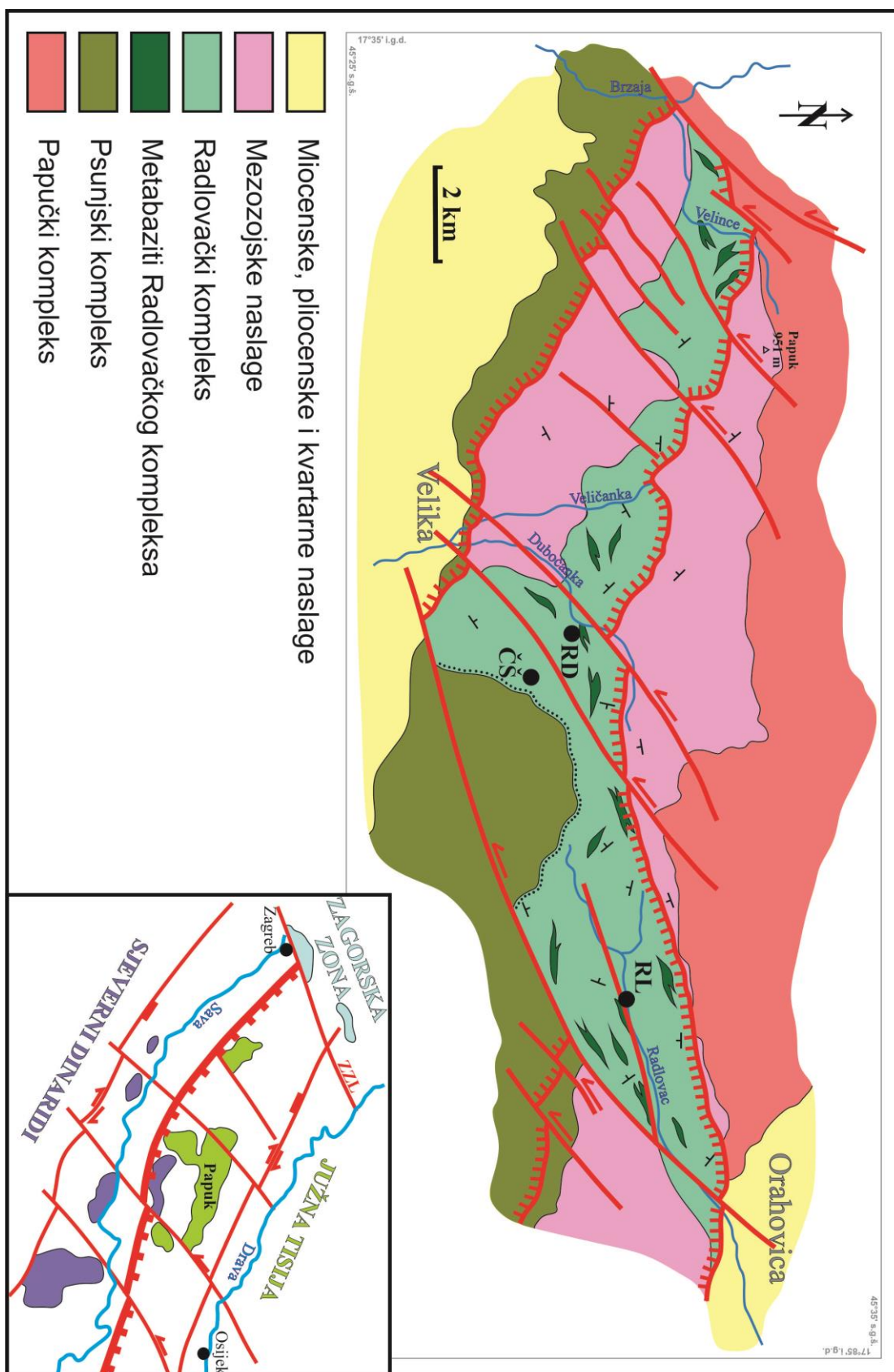
Gnajsevi (Ggs) Psunjskog kompleksa nalaze se u jugoistočnom dijelu izdvojenog područja (Slika 3-3). Svijetlo sive su ili zelenkaste boje te se odlikuju različitim strukturama, stupnjevima škriljavosti i modalnim mineralnim sastavom. Gnajsevi sadrže kvarc, plagioklas, muskovit i biotit te razne akcesorne minerale poput granata, staurolita, distena i silimanita (Jamičić et al., 1987).

U gnajseve su u obliku žila i nepravilnih tijela intrudirali flazerirani granitoidi I-tipa (Pamić et al., 2003). Flazerirani granitoidi (Γ) su uglavnom svijetlo sivi i sitnozrnati, a sadrže kvarc, plagioklas te manje količine K-feldspata, muskovita i biotita (Jamičić et al., 1987).

Osim granitoida, u gnajsevima se nalaze leće amfibolita i amfibolskih škriljavaca (A) koji sadrže varijabilne količine hornblende, plagioklasa i kvarca te akcesorne minerale kao što su epidot, coisit, granat i opâki minerali (Jamičić et al., 1987).

Istočno od Velike, unutar gnajseva se nalazi velika intruzija metagabra (v) s dobro razvijenom škriljavošću uslijed koje je metagabre ponekad teško makroskopski razlikovati od amfibolita i amfibolskih škriljavaca (A). Glavni minerali metagabra su klinopiroksen, plagioklas i hornblenda (Jamičić et al., 1987).

Unutar Psunjskog kompleksa, u blizini potoka Kišljeveca, u gnajseve su intrudirali i srednje do krupnozrnati graniti (γ) za koje Jamičić et al. (1987) navode da nalikuju na granitoide asocirane s migmatitskim gnajsevima na sjevernim obroncima Papuka.



Slika 3-2. Tektonski smještaj (donji desni kut) i pojednostavljena karta Papuka prema Pamić et al. (2003) i Pamić & Jamičić (1986). RD-Radiša; ČŠ-Češljakovci; RL-Radlovac; ZZL-Zagreb-Zemlin Line.

Kloritski škriljavci (Scose), koji se nalaze sjeverno i zapadno od gnajseva, također su dio Psunjskog kompleksa. Sivozelene su boje, izrazito škriljavi te sadrže kvarc, klorit, albit i muskovit u različitim omjerima. Jamičić et al. (1987) pretpostavljaju da između gnajseva i kloritskih škriljavaca postoji postupan prijelaz. Unutar kloritskih škriljavaca mjestimično se pojavljuju proslojci i leće grafitičnih škriljavaca (Sgr) koji sadrže klorit, sericit, kvarc i grafit (Jamičić et al., 1987).

Grafitični su slejtovi, metagrauvake, konglomeratični pješčenjaci i kloritodini škriljavci (D₃) različitih boja od tamno sive do zelene, a glavni su im minerali kvarc, muskovit, kloritoid i klorit (Jamičić et al., 1987).

Na temelju fosilnih nalaza u parametamornim stijenama najnižeg stupnja, određena je silursko-devonska starost Psunjskog kompleksa (Jerinić et al., 1994), a Pamić et al. (1988) su K–Ar metodom izotopnog datiranja na hornblendi i biotitu iz amfibolita i gnajseva odredili starost metamornih procesa od 376–321 Ma (stariji karbon).

Novija istraživanja (Biševac et al. (2009), Biševac et al., 2010) ukazuju da su stijene Psunjskog kompleksa tijekom gornje krede zahvaćene vrlo niskim do niskim stupnjem metamorfizma.

Radlovački kompleks

Radlovački kompleks se nalazi sjeverno od područja Psunjskog kompleksa te je smješten u središnjem dijelu Papuka (Slika 3-3). Jamičić (1988) smatra da stijene Radlovačkog kompleksa transgresivno naliježu na Psunjski kompleks, dok je granica prema Papučkom kompleksu tektonska (Slika 3-2).

Glavnina Radlovačkog kompleksa izgrađena je od slejtova, filita, metapješčenjaka i kvarcita (C,P). Metapješčenjaci se pojavljuju u izmjeni sa slejtovima i filitama koji postaju progresivno učestaliji u gornjim dijelovima serije. Osnovni mineralni sastojci metapješčenjaka su kvarc, plagioklas i muskovit, a vezivo im se sastoji od rekristaliziranog kvarca, muskovita, klorita i kalcita. Glavni minerali zelenosivih do tamno sivih slejtova i filita su kvarc, klorit i albit. Vrlo često se u ovim metasedimentima uočava i karakteristična ljubičasta boja za koju se smatra da potječe od povišenog sadržaja hematita i limonita (Jamičić et al., 1987).

Starost ovih sedimentnih stijena još uvijek je predmet rasprave. Poljak (1952) je u njima pronašao ostatake silurskih graptolita, a Brkić et al. (1974) kasnije su utvrdili prisutnost karbonskih fosila. Jerinić et al. (1994) su mišljenja da su metasedimenti (C,P) nastajali u razdoblju od silura do starijeg karbona. Datiranja detritičnog monacita iz metasedimenata *Th–U–Pb* metodom dala su prosječnu starost 330 Ma (Biševac et al., 2013) što sugerira da su derivirani iz stijena karbonske starosti koje su vjerojatno podrijetlom iz Papučkog kompleksa.

Pamić & Jamičić (1986) u ranijim radovima pretpostavljaju da se metamorfoza metasedimenata morala odvijati krajem hercinske ili početkom alpinske orogeneze, dok kasnije Pamić et al. (2003) navode da su metasedimenti Radlovačkog kompleksa metamorfozirani tijekom istog događaja početkom karbona kojim je deformiran Psunjski kompleks te da se metamorfoza odvijala na dubinama od približno 15 km i temperaturama između 300 i 700 °C (Pamić, 1991).

Biševac et al. (2010) na temelju datiranja sitnozrnatog veziva iz metasedimenata Radlovačkog kompleksa *K–Ar* metodom zaključuju da su stijene metamorfozirane tijekom gornje krede pri temperaturama 250–300 °C i 2-3 kbar (Biševac et al., 2009), no ne isključuju mogućnost starijih epizoda metamorfizma.

Uz metasedimente se nalaze brojna nepravilna tijela, blokovi i silovi dijabaza i metadijabaza ($\beta\beta ab$) (Jamičić et al., 1987) čije su petrografske i geokemijske značajke predmet ovog istraživanja. Pamić & Jamičić (1986) navode da debljine dijabaznih silova variraju od nekoliko m do više od 100 m. U dijabazima i metadijabazima je često dobro razvijen klivaž te stijena sadrži brojne pukotine ispunjene sekundarnim kvarcom, karbonatima, albitom, kloritom i mineralima grupe epidota-coisita.

Postoji nekoliko varijeteta dijabaza i metadijabaza koji, premda su sličnog mineralnog sastava, imaju različite strukturne značajke. Središnji dijelovi dijabaznih tijela se odlikuju izrazito krupnozrnatim varijetetima ofitne strukture, dok prema rubovima magmatskih intruzija prevladavaju sitnozrnatiji ofitni dijabazi s postupnim prijelazom u dijabaze sitnozrnate intergranularne do porfirne strukture. U manjim su magmatskim tijelima učestaliji sitnozrnati varijeteti (Pamić & Jamičić, 1986). Mjestimično se uz kontakt s okolnim metasedimentima opažaju zeleni škrljaveci s reliktnim ofitnim i porfirnim strukturama dijabaza, a Pamić & Jamičić (1986) navode i dokaze kontaktnog

metamorfizma okolnih sedimentnih stijena u kvarcite te spominju nalaz ksenolita metasedimentnih stijena u dijabazima.

Primarnu mineralnu paragenezu dijabaza čine plagioklasi i klinopirokseni te akcesorni opâki minerali, vjerojatno ilmenit, i apatit. Plagioklasi su alterirali u različite sekundarne minerale od kojih su prepoznati minerali grupe epidota-coisita, zeolit, prehnit, kaolinit i kalcit. Klinopirokseni, za koje je mikrosondskim istraživanjem utvrđeno da je riječ o augitu (Pamić & Jamičić, 1986), su retrogradno izmijenjeni u klorit, epidot i aktinolit. Ilmenit je često obrubljen titanitom koji je djelomično alteriran u leukoksen. Dijabazi i metadijabazi također sadrže značajnu količinu sekundarnog kvarca.

Pamić et al. (1988) su *K–Ar* metodom apsolutnog datiranja na klinopiroksenu ofitnog dijabaza iz kamenoloma Radlovac odredili starost 319 Ma (mlađi karbon).

Papučki kompleks

U sjevernom dijelu kompleksa (Slika 3-3) nalaze se brojni varijeteti migmatitskih gnajseva (Mi) koji se međusobno razlikuju u teksturi i strukturi, a sastoje se od kvarca, K-feldspata, plagioklasa i biotita. Navedeni mineralni sastojci su u migmatitskim gnajsevima prisutni u različitim omjerima (Jamičić et al., 1987). Pamić et al. (1988) apsolutno su datirali migmatite *K–Ar* i *Rb–Sr* metodama te kao rezultat dobili starosti u rasponu 336–324 Ma (stariji karbon).

Granitoidne stijene (G) S-tipa (Pamić et al., 2003) koje tvore izdužena i nepravilna tijela u migmatitnim gnajsevima su s njima prostorno i genetski udružene. Granitoidi i migmatiti imaju identičan mineralni sastav i sličan kemizam (Jamičić et al., 1987). Osim granitoida, u migmatitnim gnajsevima se u obliku žila i nepravilnih tijela također pojavljuju pegmatiti i apliti (Jamičić et al., 1987).

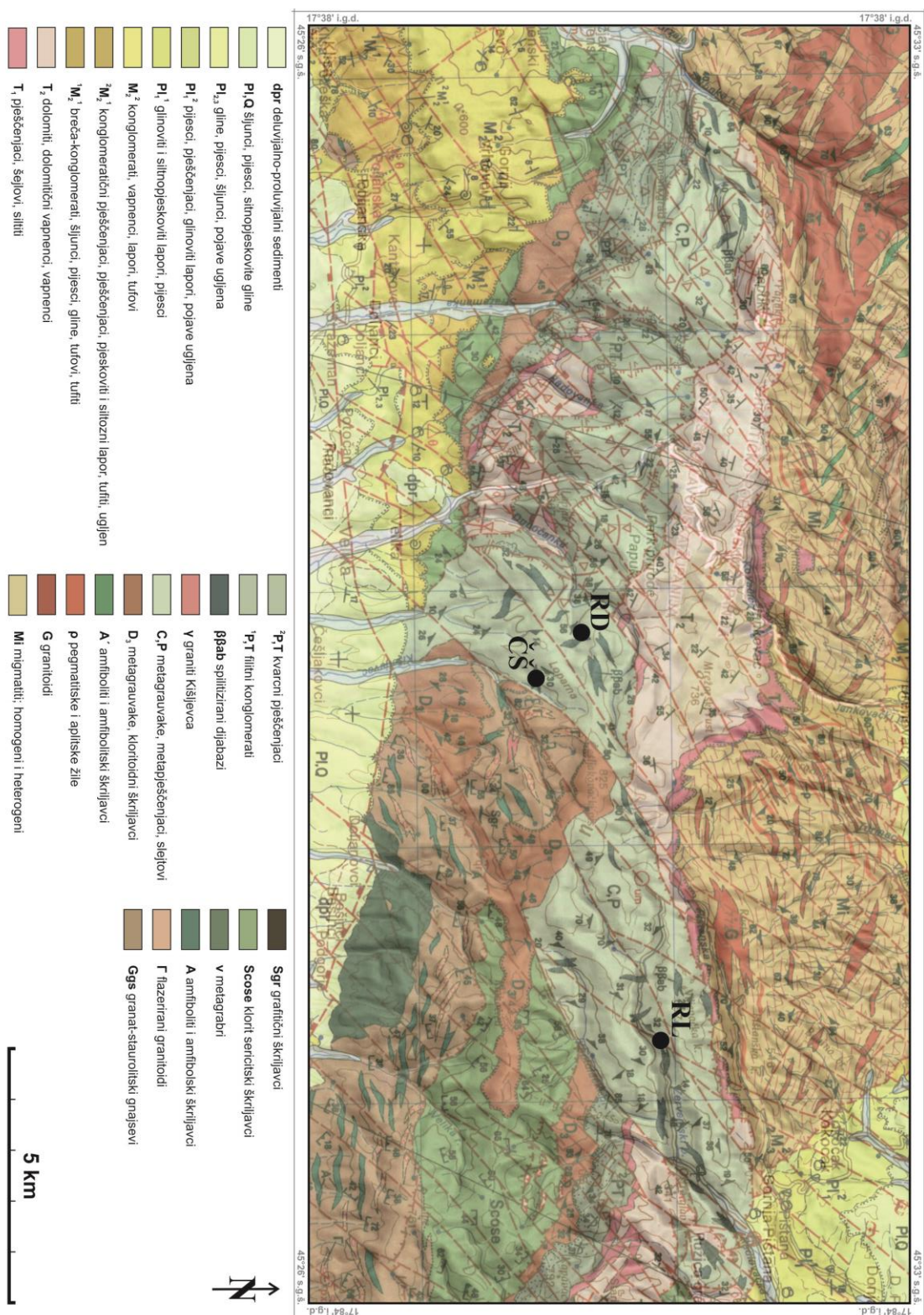
Unutar migmatitskih gnajseva nalaze se i lećasta tijela amfibolita i amfibolskih škriljavaca (A') kojima su glavni minerali amfibol i plagioklas, a sadrže i značajne količine kvarca, diopsida i granata (Jamičić et al., 1987).

Mlađe sedimentne stijene istraživnog područja

U zapadnom dijelu područja na kojem se rasprostire Radlovački kompleks nalaze se sedimentne stijene koje su Jamičić et al. (1987) izdvojili kao filitne konglomerate (¹PT) i kvarcne pješčenjake (²PT) permotrijske starosti (Slika 3-3). Filitni konglomerati transgresivno naliježu na devonske stijene Psunjskog kompleksa i metasedimente Radlovačkog kompleksa te sadrže valutice slejtova, filita i metapješčenjaka (C,P). Kvarcni pješčenjaci kontinuirano slijede na filitne konglomerate, a klasificirani su kao subarkoze s kvarcnim, sericitnim i karbonatnim cementom. Na više lokaliteta je utvrđena normalna granica prema donjotrijaskim naslagama (Jamičić et al., 1987).

Donjotrijaske naslage (T₁) čine djelomično metamorfozirani pješčenjaci, šejlovi i siltiti koji se sastoje od kvarca, feldspata i manjih količina sericita, litičnih fragmenata i klorita te kvarcnog, limonitnog i dolomitnog veziva. Jamičić et al. (1987) utvrdili su kontinuirani prijelaz donjotrijaskih klastita u srednjotrijaske naslage (T₂) koje su uglavnom izgrađene od različitih vrsta tektonski poremećenih karbonatnih stijena. Jurske i kredne stijene na istraživnom području izostaju.

Sjeverni i južni obodi Papuka prekriveni su znatno mlađim sedimentnim naslagama neogenske i kvartarne starosti koje transgresivno naliježu na stariju kristalinsku osnovu. Litološki, to su različite sedimentne stijene koje uključuju brečokonglomerate, konglomerate, pješčenjake, pojave ugljena, lapore, vapnence, tufite, tufove, šljunke, pijeske, siltove i gline (Jamičić et al., 1987).



Slika 3-3. Isječak OGK SFRJ 1:100 000 list Orahovica (Jamičić & Brkić, 1987) s označenim lokacijama uzorkovanja. RD-Radiša; ČS-Češljakovci; RL-Radlovac.

4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Prvo kartiranje kristalinskih stijena Papuka i Krndije proveo je Wodiczka, a rezultate istraživanja objavio je 1855. godine.

Koch 1906. godine prvi puta opisuje dijabaze Radlovačkog kompleksa iz okolice Orahovice i naziva ih diorit-dijabazima. Nekoliko godina kasnije, Tućan (1908) daje detaljniji petrografski opis ovih stijena te ih determinira kao dijabaze. Kišpatić (1916) u svom radu o bazičnim magmatskim stijenama Krndije dodatno opisuje dijabaze i metadijabaze Radlovačkog kompleksa.

Petković 1932. godine objavljuje geološku kartu Kraljevine Jugoslavije 1:1 000 000 list Orahovica.

Dvadesetak godina kasnije, na temelju prethodnih i vlastitih istraživanja, Poljak (1952) opisuje „predpaleozojske i paleozojske“ stijene Papuka i Krndije. U tom radu spominje nalaz silurskih graptolita u metasedimentima Radlovačkog kompleksa.

Bolčić & Jovanović (1954) obavljaju geološki pregled kamenoloma Radlovac.

Barić et al. (1970) opisali su dijabaze koji izdanjuju uz potok Radlovac i objavili prve kemijske analize istih. Također su primijetili ksenolite okolnih metasedimenata u dijabazima.

Brkić et al. (1974) utvrđuju karbonsku starost metasedimenata Radlovačkog kompleksa na temelju nalaza fosilne flore.

Pamić & Jamičić (1986) izdaju članak u kojem utvrđuju način pojavljivanja bazičnih i metabazičnih intruzija Radlovačkog kompleksa, njihov odnos prema okolnim metasedimentnim stijenama te objavljuju dosada najdetaljniji petrografski opis dijabaza. U istom radu prikazuju rezultate kemijskih analiza dijabaza iz kamenoloma Radiša i Radlovac na temelju kojih iznose mišljenje da stijene pripadaju toleitnoj seriji. Prema sadržaju imobilnih elemenata (Ti, Zr, Y i Nb) zaključuju da dijabazi imaju značajke WPB (Within Plate Basalts) te da su prema nekim geokemijskim karakteristikama slični efuzivnim stijenama Istočnoafričkog rifta. Pretpostavljaju da se magmatska aktivnost odvijala krajem hercinske ili početkom alpinske orogeneze te da su dijabazi, zajedno s okolnim metasedimentima, naknadno metamorfozirani u P,T-uvjetima facijesa zelenih škriljavaca.

List Orahovica Osnovne geološke karte SFRJ 1:100 000 tiskan je 1987. godine (Jamičić & Brkić), a pripadajući tumač, u kojem su detaljno opisane kartirane geološke jedinice, objavljen je iste godine (Jamičić et al., 1987).

Pamić et al. (1988) su određivali radiometrijske starosti kristalinskih stijena slavonskih planina. Na klinopiroksenima dijabaza Radlovačkog kompleksa *K–Ar* metodom određena je starost 318,8 Ma.

Nekoliko godina kasnije, Pamić & Lanphere (1991) objavljuju vrlo opširan rad o kristalinskim stijenama Papuka, Psunja i Krndije u kojem se spominju baziti i metabaziti Radlovačkog kompleksa.

Na temelju pronađene asocijacije palinomorfa Jerinić et al. (1994) utvrdili su starost metasedimenata Radlovačkog kompleksa u rasponu od silura do starijeg karbona.

Pamić 1999. godine objavljuje članak o kristalinskim stijenama južnih dijelova Panonskog bazena u kojem spominje bazite i metabazite Radlovačkog kompleksa. Na temelju vlastitih istraživanja, Pamić navodi da su dijabazi i metadijabazi gornjokarbonske starosti.

Pamić et al. (2003) objavljuju Geološki vodič kroz Park prirode Papuk, u kojem je relativno sažeto prikazana geologija istraživnog područja.

Biševac et al. (2009) na temelju kristaliniteta klorita i bijelih tinjaca u metasedimentima Radlovačkog i Psunjskog metamorfnog kompleksa te metamorfnih stijena D_3 odredili su da je područje Papuka bilo zahvaćeno vrlo niskim do niskim stupnjem metamorfizma pri temperaturama 250–300 °C. Mjerenja b_0 -parametra bijelih tinjaca u metasedimentima Radlovačkog kompleksa ukazuju da je tlak za vrijeme metamorfoze bio 2–3 kb.

Biševac et al. (2010) objavljuju rezultate izotopnog datiranja rekristaliziranog sitnozrnatog veziva metasedimenata Radlovačkog kompleksa *K–Ar* metodom. Dobivene starosti (100–80 Ma) ukazuju na gornjokrednu starost metamorfizma.

Biševac et al. (2013) na temelju rezultata *Th–U–Pb* datiranja detritičnog monacita te mineralnog i kemijskog sastava stijena pretpostavljaju da su metasedimenti Radlovačkog kompleksa derivirani dominantno iz okolnih kiselih intruzivnih stijena hercinske starosti, vjerojatno Papučkog kompleksa.

5. ANALITIČKE METODE ISTRAŽIVANJA

5.1. METODA POLARIZACIJSKE MIKROSKOPIJE

Polarizacijskom mikroskopijom određen je modalni mineralni sastav i strukturne značajke bazičnih i metabazičnih stijena Radlovačkog kompleksa. Stijene su klasificirane na temelju svih petrografskih karakteristika utvrđenih mikroskopskim opažanjima. Polarizacijskom su mikroskopijom dodatno istražene i metasedimentne stijene Radlovačkog kompleksa.

Mikroskopska istraživanja provedena su na Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Korišten je polarizacijski mikroskop Leica Microsystem 020-522 101 DM/LSP opremljen s kamerom Leica DC100 za izradu mikrofotografija uzoraka.

5.2. USITNJAVANJE UZORAKA

Na temelju mikroskopskih opažanja za detaljnija istraživanja odabrani su uzorci RD-5, RD-6, ČŠ-2, ČŠ-6, RL-1 i RL-6. Navedeni uzorci su za potrebe kemijske analize samljeveni u prah. Prilikom usitnjavanja uzoraka upotrijebljen je mlin proizvođača Siebtechnik na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

5.3. METODE KEMIJSKE ANALIZE

Kemijske analize uzoraka RD-5, RD-6, ČŠ-2, ČŠ-6, RL-1 i RL-6 napravljene su u Acme Analytical Laboratories Vancouver Ltd. u Kanadi. Koncentracije glavnih elemenata određene su emisijskom spektrometrijom s induktivno spregnutom plazmom (ICP-ES), a koncentracije elemenata u tragovima analizirane su masenom spektrometrijom s induktivno spregnutom plazmom (ICP-MS).

6. REZULTATI ANALITIČKIH METODA ISTRAŽIVANJA

6.1. PETROGRAFSKE ZNAČAJKE STIJENA

6.1.1. Lokalitet Radiša

Na lokalitetu Radiša uzeta su četiri uzorka sitnozrnatog metadijabaza (RD-1, RD-5, RD-6 i RD-7) te tri uzorka okolnih metaklastita (RD-2, RD-3 i RD-4).

Uzorak RD-1

Uzorak je uzet iz nealteriranog odronjenog bloka pronađenog uz dno izdanka.

Tekstura stijene je homogena, a struktura intergranularna do mjestimično oligofirna (Slika 6-1) sa fenokristalima plagioklasa i klinopiroksena u sitnozrnatost intergranularnoj osnovi. Od minerala primarne paragenese, osim plagioklasa i klinopiroksena, također je uočen opaki mineral, vjerojatno je riječ o ilmenitu. Stijena sadrži i značajne količine kvarca.

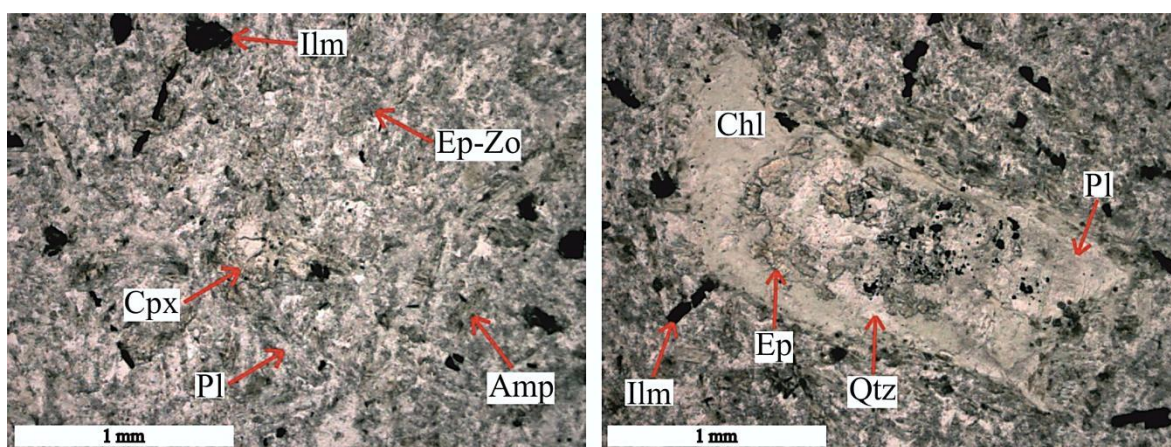
Plagioklas je najzastupljeniji mineral u stijeni. Isprepletena hipidiomorfna štapićasta zrna plagioklasa dimenzija od 0,09 mm × 0,04 mm izgrađuju glavninu intergranularnog matriksa, a rijetki hipidiomorfni fenokristali plagioklasa dosežu veličine do 0,5 mm × 0,2 mm. Plagioklasi su retrogradno izmijenjeni u prehnit te minerale grupe epidota-coisita koji su često koncentrirani uz rubove zrna. Uslijed intenzivne alteracije, polisintetske sraslačke lamele plagioklasa se vrlo rijetko uočavaju. Zbog prisutnosti produkata alteracije nije moguće pouzdano utvrditi je li reljef plagioklasa pozitivan ili negativan.

Stijena sadrži hipidiomorfna štapićasta zrna klinopiroksena dimenzija od 0,06 mm × 0,02 mm do 0,38 mm × 0,1 mm. Klinopirokseni imaju visok reljef, blijedo žutu osnovnu boju bez pleokroizma i velike kuteve kosog potamnjenja, do približno 45°. Interferencijske boje su im većinom žute prvog reda do mjestimično plave drugog reda.

Mnoga zrna klinopiroksena su djelomično, a neka potpuno, uralitizirana u vlaknasti agregat aktinolita i klorita. Aktinolit ima umjeren reljef, pleokroizam od bezbojne do svijetlo zelene boje, sive i žute interferencijske boje prvog reda te koso potamnjenje. Uz uralitizirane klinopiroksene često je asociiran epidot.

Stijena u podređenoj količini sadrži i amfibol izraženijeg pleokroizma od aktinolitita u nijansama svijetlo zelene i zeleno-smeđe boje te nešto višeg reljefa koji je po sastavu vjerojatno sličniji hornblendi.

U stijeni se mjestimično uočavaju agregati sekundarnih minerala hipidiomorfnih do idiomorfnih formi nastalih kao rezultat pseudomorfoze po nekadašnjim fenokristalima (Slika 6-1). Neki agregati sadrže klorit, aktinolit, minerale grupe epidota-coisita, sekundarne opâke minerale i sekundarni kvarc te je vjerojatno riječ o pseudomorfozi po fenokristalima klinopiroksena, dok u drugima prevladavaju minerali grupe epidota-coisita te se pretpostavlja da su oni ostaci alteriranih fenokristala plagioklasa.



Slika 6-1. Mikrofotografije metadijabaza (uzorak RD-1 s lokaliteta Radiša; N). Lijevo: intergranularna osnova. Desno: retrogradno izmijenjeni fenokristal. Amp-amfibol; Chl-klorit; Cpx-klinopiroksen; Ep-epidot; Ep-Zo- minerali grupe epidota-coisita; Ilm-ilmenit; Pl-plagioklas; Qtz-kvarc.

Stijena sadrži brojna zrna opâkog minerala, najvjerojatnije ilmenita. Pojedina zrna opâkog minerala imaju prepoznatljiva češljasta lučenja karakteristična za ilmenit te su obrubljena titanitom koji je počeo alterirati u leukoksen. Uočavaju se i gotovo idiomorfni štapići opâkog minerala isprepleteni s plagioklasom i klinopiroksenom.

Zrna kvarca su alotriomorfna te ispunjavaju intersticije između plagioklasa. Neka imaju dobro izraženo undulozno potamnjenje dok neka tamne gotovo homogeno. Vrlo često uklapaju alteracijske produkte primarnih minerala.

Stijena sadrži mikropukotine ispunjene kvarcom, plagioklasima, karbonatima, kloritom te mineralima grupe epidota-coisita.

Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kao **retrogradno izmijenjeni dijabaz** odnosno **metadijabaz**.

Uzorak RD-2

Uzorak RD-2 je uzet iz svježeg odronjenog bloka pronađenog uz izdanak.

Stijena ima pelitno-klastičnu strukturu i škrljavu teksturu (Slika 6-2). Glavni minerali u stijeni su kvarc, karbonati, aktinolit i klorit. U stijeni se često uočavaju krupnija zrna karbonata i kvarca nastala rekristalizacijom sitnozrnatog materijala. Stijena također sadrži i akcesorni opâki mineral, vjerojatno pirit.

Krupna zrna karbonata ponegdje dosežu dimenzije do $1,9 \text{ mm} \times 0,95 \text{ mm}$, a vjerojatno su nastala rekristalizacijom sitnozrnatog karbonatnog materijala protolita. Karbonatni minerali se prepoznaju po visokom reljefu, bijelim interferencijskim bojama višeg reda i karakterističnoj dvostrukoj romboedrijskoj kalavosti vidljivoj u krupnijim zrnima.

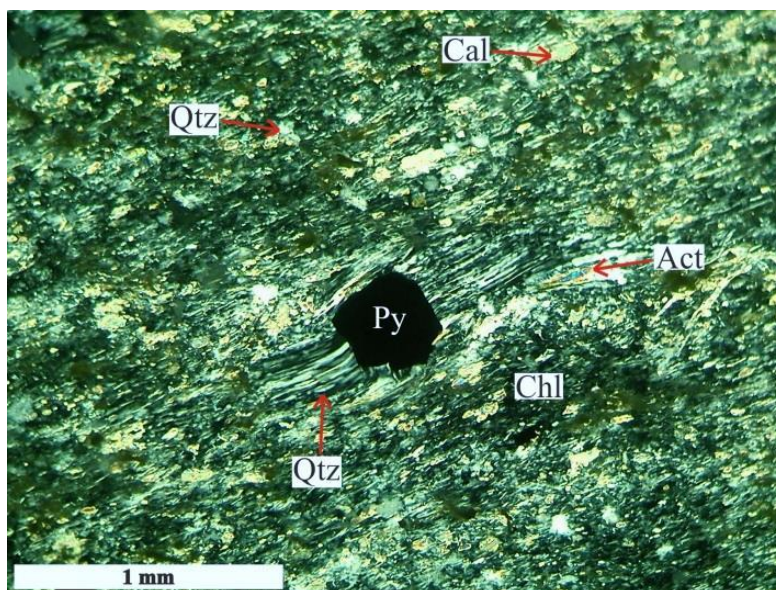
Zrna kvarca su varijabilnih dimenzija. Krupnija zrna dosežu veličine do $0,45 \text{ mm} \times 0,25 \text{ mm}$, no većina je zrna dimenzija silta. Glavnina krupnijih zrna kvarca ima homogeno potamnjenje, dok samo pojedina tamne undulozno.

Listići klorita i iglice aktinolita orijentirane su paralelno škrljavosti. I klorit i aktinolit pokazuju pleokroizam u nijansama od bezbojne do blijedo zelene boje. Iglice aktinolita imaju viši reljef od klorita, male kuteve kosog potamnjenja, do približno 10° , i interferencijske boje većinom narančaste prvog reda.

Stijena sadrži idiomorfna do hipidiomorfna zrna opâkog minerala, često kubičnog habitusa. Vjerojatno je riječ o piritu. Oko pirita su u pravilu razvijene tlačne sjene karakterizirane fibrozim kvarcom (Slika 6-2).

Uz krupnija zrna karbonata, kvarca i opâkog minerala uočava se povijena folijacija koja upućuje da je stijena, osim statičkom stresu, bila izložena i posmičnim deformacijama.

Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kao **metapelit**.



Slika 6-2. Mikrofotografija metapelita (uzorak RD-2 s lokaliteta Radiša; N+). Hipidiomorfni do idiomorfni pirit (Py) s blago povijenim tlačnim sjenama od fibroznog kvarca. Act-aktinolit; Cal-kalcit; Chl-klorit; Qtz-kvarc.

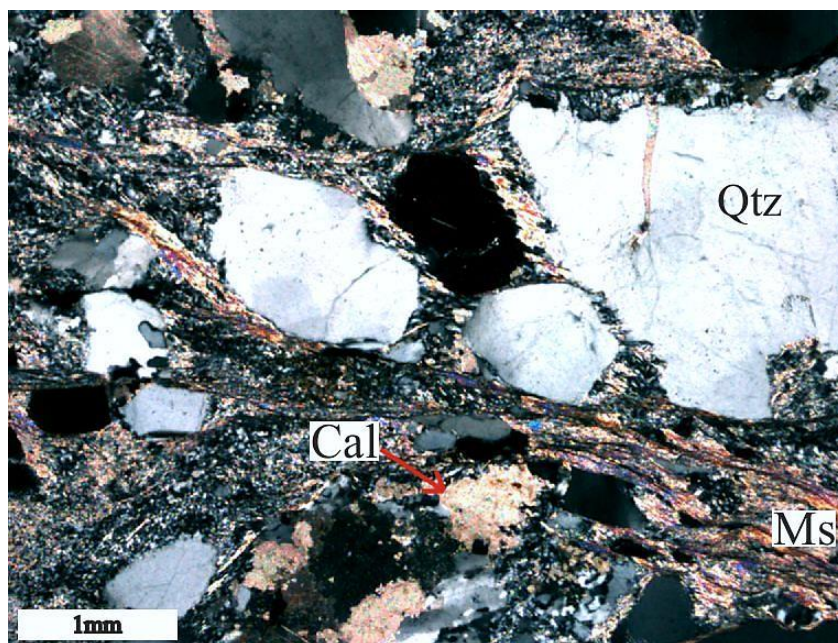
Uzorak RD-3

Uzorak RD-3 je uzet iz nealteriranog odronjenog bloka uz podnožje izdanka.

Stijena ima psamitno do psefitno-klastičnu strukturu (Slika 6-3) s klastima dimenzija od 0,75 mm × 0,5 mm do 4,25 mm × 1,9 mm te homogenu do škriljavu teksturu. Zrna su slabo zaobljena i loše sortirana što upućuje na relativno kratak i brz transport materijala. Klasti su po sastavu većinom kvarcni, a osim kvarca u podređenim količinama su uočeni feldspati i litični fragmenti. Vezivo stijene čini kvarcno-sericitni i karbonatni cement.

Zrna kvarca s izraženim unduloznim potamnjem čine glavninu klastičnog materijala stijene. U nekim klastima se uočava izdvajanje i rotacija više domena te migracija granica zrna pa nije posve jasno je li riječ o fragmentima kvarcita ili o djelomično rekristaliziranim zrnima kvarca.

Od litičnih fragmenata prepoznati su različiti fragmenti kiselih intruzivnih stijena koji se sastoje od kvarca i feldspata, dominantno plagioklasa, te rijetkih femskih minerala (u jednom litičnom fragmentu je uočen biotit).



Slika 6-3. Mikrofotografija metapješčenjaka (uzorak RD-3 s lokaliteta Radiša; N+). Psamitno- do psefitno-klastična struktura. Cal-kalcit; Ms-muskovit; Qtz-kvarc.

U stijeni su također uočeni klasti plagioklasa s karakterističnim polisintetskim sraslačkim lamelama. Klasti alkalijskih feldspata su manje zastupljeni u odnosu na plagioklas. Zrna feldspata su sericitizirana.

Klasti kvarca, litičnih fragmenata i feldspata su obavijeni listićima muskovita koji su međusobno subparalelno orijentirani tvoreći folijaciju. Muskovit je bezbojan s izraženom pseudoapsorpcijom i visokim interferencijskim bojama.

Glavninu veziva stijene čini sitnozrnati kvarcno-sericitni cement. Mjestimično, prostor oko klasta i pukotine u njima ispunjavaju karbonatna zrna.

Klastični materijal stijene dominantno je dimenzija pijeska te je prema petrografskim karakteristikama stijena klasificirana kao **metapješčenjak**.

Uzorak RD-4

Uzorak je uzet iz svježeg odronjenog bloka smještenog uz izdanak.

Stijena ima psamitno do psefitno-klastičnu strukturu (Slika 6-4) i homogenu do škriljavu teksturu. Klasti su varijabilnih dimenzija od 5,1 mm × 2,1 mm do 0,15 mm × 0,05 mm,

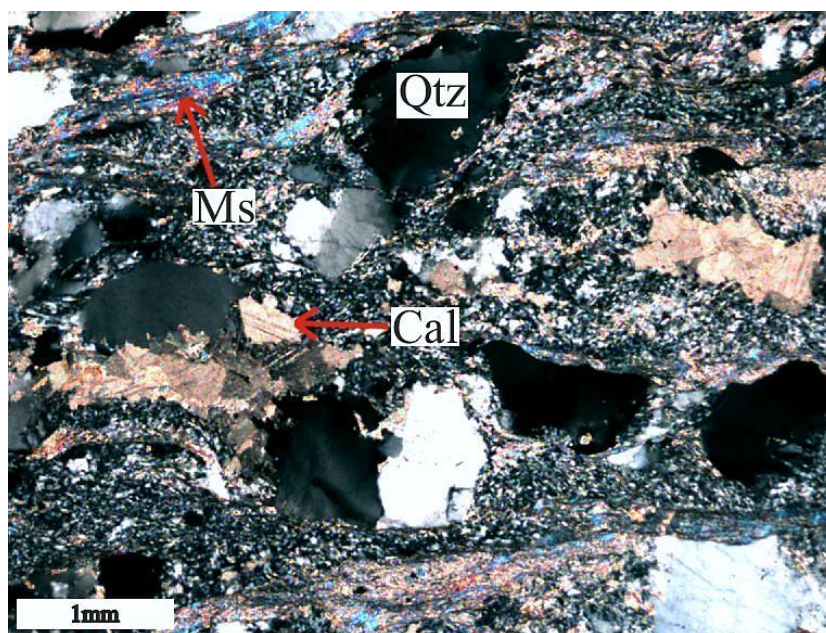
relativno uglati i loše sortirani što upućuje na kratak transport materijala. U sastavu klasta dominantan sastojak je kvarc, a u podređenoj količini stijena sadrži litične fragmente i feldspate. Međuzrnski prostor je ispunjen cementnim vezivom izgrađenim većinom od sitnokristalnog kvarca, sericita i karbonata.

Kvarc ima izraženo undulozno potamnjenje te se u kvarcnim klastima često uočava izdvajanje i rotacija domena te migracija granica zrna. Zrna su mjestimično raspucana, a pukotine su zacijeljene cementom.

Osim kvarcnih zrna, stijena u podređenim količinama sadrži litične fragmente i feldspate. Uočeni su litični fragmenti različitih kiselih intruzivnih stijena, a od feldspata prisutni su plagioklasi i, rjeđe, alkalijski feldspati. Feldspati su u pravilu sericitizirani.

Klastični materijal je obavljen krupnim savinutim listićima muskovita koji se jasno prepoznaje po izraženoj pseudoapsorpciji i visokim interferencijskim bojama. Listići muskovita su međusobno subparalelno orijentirani te tvore isprekidanu folijaciju.

Glavninu veziva čini sitnokristalni kvarcno-sericitni cement, no stijena mjestimično sadrži i karbonatni cement (Slika 6-4). Ponegdje je uočeno uklapanje sitnozrnatog kvarca iz veziva u karbonatne minerale što potvrđuje da je silikatni cement kristalizirao prvi te je naknadno djelomično potisnut karbonatima.



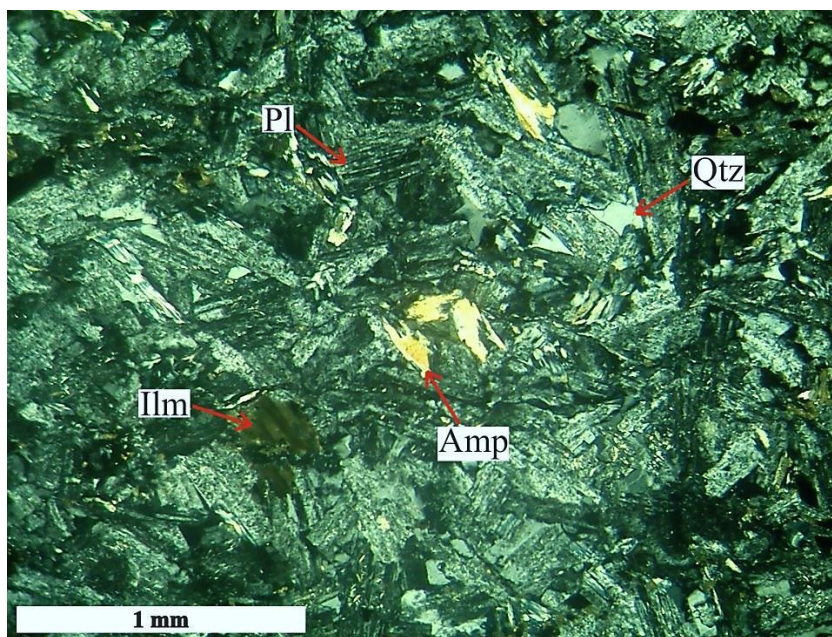
Slika 6-4. Mikrofotografija metapješčenjaka (uzorak RD-4 s lokaliteta Radiša; N+). Psamitno- do psefitno-klastična struktura. Kvarcno-sericitni cement mjestimično potisnut kalcitom. Cal-kalcit; Ms-muskovit; Qtz-kvarc.

Glavnina klastičnog materijala je dimenzija pijeska te je stijena na temelju petrografskih karakteristika klasificirana kao **metapješčanjak**.

Uzorak RD-5

Uzorak RD-5 pronađen je u odronjenom materijalu uz podnožje izdanka.

Stijena ima intergranularnu strukturu i homogenu teksturu (Slika 6-5). Primarni minerali stijene su plagioklas i opâki mineral, najvjerojatnije ilmenit. Najzastupljenija mineralna vrsta u stijeni je plagioklas, dok je opâki mineral prisutan u podređenoj količini. Klinopirokseni su retrogradno izmijenjeni u amfibole, klorit i epidot. Stijena također sadrži i značajne količine kvarca (Slika 6-5).

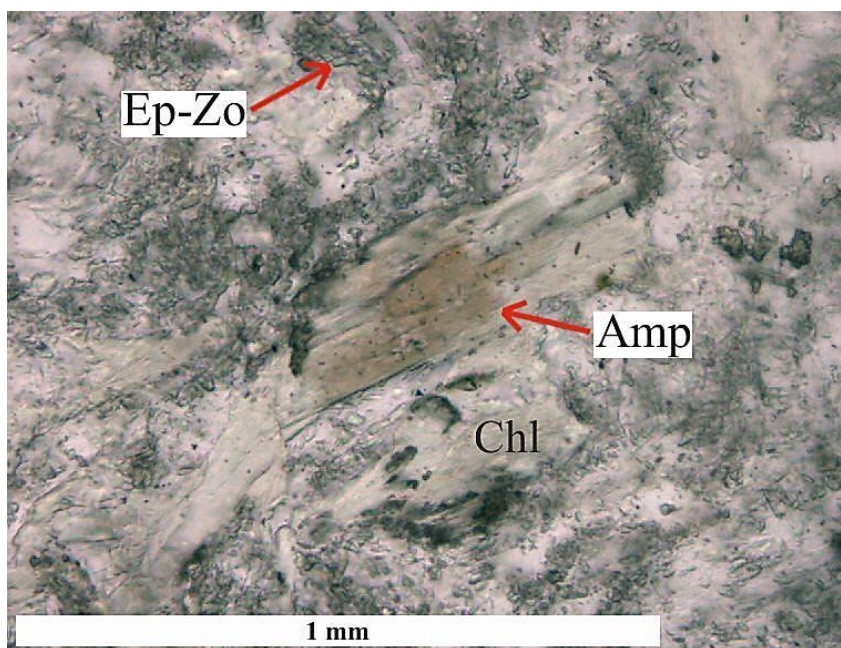


Slika 6-5. Mikrofotografija metadijabaza (uzorak RD-5 s lokaliteta Radiša; N+). Intergranularna struktura i homogena tekstura. Amp-amfibol; Ilm-ilmenit; Pl-plagioklas; Qtz-kvarc.

Štapići plagioklasa su hipidiomorfni i isprepleteni sa dobro uočljivim polisintetskim sraslačkim lamelama. U izbrusku je vidljiv postupan prijelaz dimenzija štapića plagioklasa od približno 0,5 mm × 0,2 mm na jednom do 0,1 mm × 0,04 mm na drugom dijelu preparata. Plagioklas je djelomice alteriran u minerale grupe epidota-coisita koji se često pojavljuju u formi sitnozrnatih agregata visokog reljefa koncentriranih duž polisintetskih sraslačkih lamela. U manjoj mjeri štapići plagioklasa su izmijenjeni u prehnit.

Zrna klinopiroksena su retrogradno izmijenjena u aktinolit, klorit i epidot. Agregati klorita, aktinolita i epidota ispunjavaju hipidiomorfne do idiomorfne forme te predstavljaju pseudomorfoze po klinopiroksenu.

U podređenoj mjeri, klinopiroksen je alterirao u amfibol koji je po sastavu vjerojatno između aktinolita i hornblende. Taj amfibol ima umjeren reljef i izražen pleokroizam u nijansama od bezbojne do zelene ili smeđezelene boje. Tamni koso pod kutevima do 27° i ima interferencijske boje do narančaste prvog reda. Pojedina zrna amfibola su djelomično kloritizirana (Slika 6-6).



Slika 6-6. Mikrofotografija metadijabaza (uzorak RD-5 s lokaliteta Radiša; N). Djelomično kloritizirani amfibol. Amp-amfibol; Chl-klorit; Ep-Zo-minerali grupe epidota-coisita.

Stijena sadrži brojne relativno krupne opâke minerale od kojih neki pokazuju češljaste forme karakteristične za ilmenit, dok su drugi štapićasti i hipidiomorfni. Zrna opâkog minerala, najvjerojatnije ilmenita, su često obrubljena titanitom koji je počeo prelaziti u smeđi agregat leukoksena.

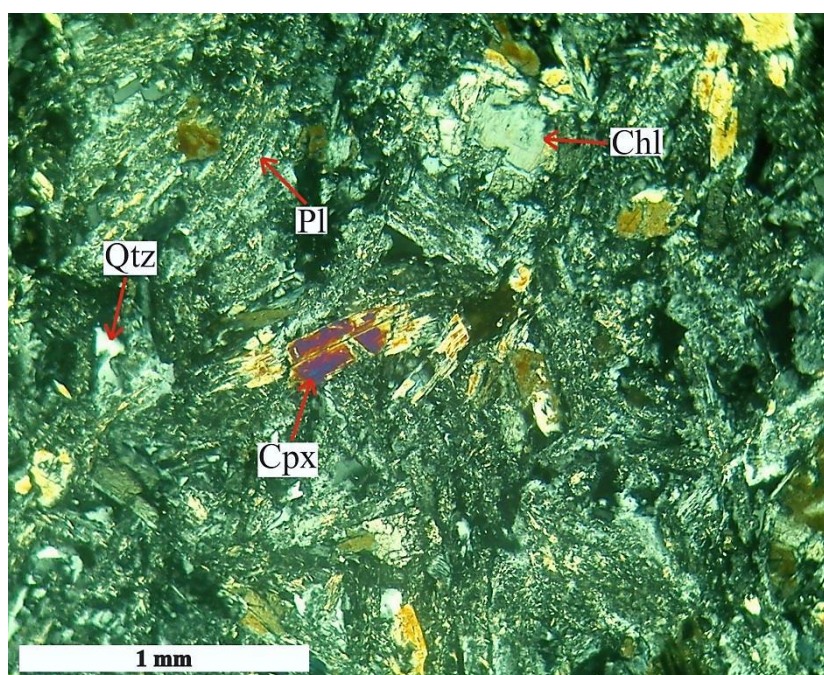
Zrna kvarca ispunjavaju intersticijalni prostor između štapića plagioklasa te su u pravilu alotriomorfna. Pojedina zrna kvarca tamne homogeno, dok druga imaju undulozno potamnjenje. Također je uočeno da kvarc mjestimično uklapa sekundarne minerale, najčešće aktinolit i epidot.

Prema petrografskim karakteristikama stijena je klasificirana kao **metadijabaz**.

Uzorak RD-6

Uzorak je uzet iz nealteriranog odronjenog bloka pronađenog uz podnožje izdanka.

Stijena ima intergranularnu strukturu i homogenu teksturu (Slika 6-7). Najučestaliji primarni mineral u stijeni je plagioklas. Od minerala primarne parageneze, također su prisutne značajne količine klinopiroksena i opâkog minerala, najvjerojatnije ilmenita. U stijeni su dodatno uočeni primarni magmatski apatit te kvarc koji je vjerojatno sekundarnog podrijetla.



Slika 6-7. Mikrofotografija metadijabaza (uzorak RD-6 s lokaliteta Radiša; N+). Intergranularna struktura i homogena tekstura. Chl-klorit; Cpx-klinopiroksen; Pl-plagioklas; Qtz-kvarc.

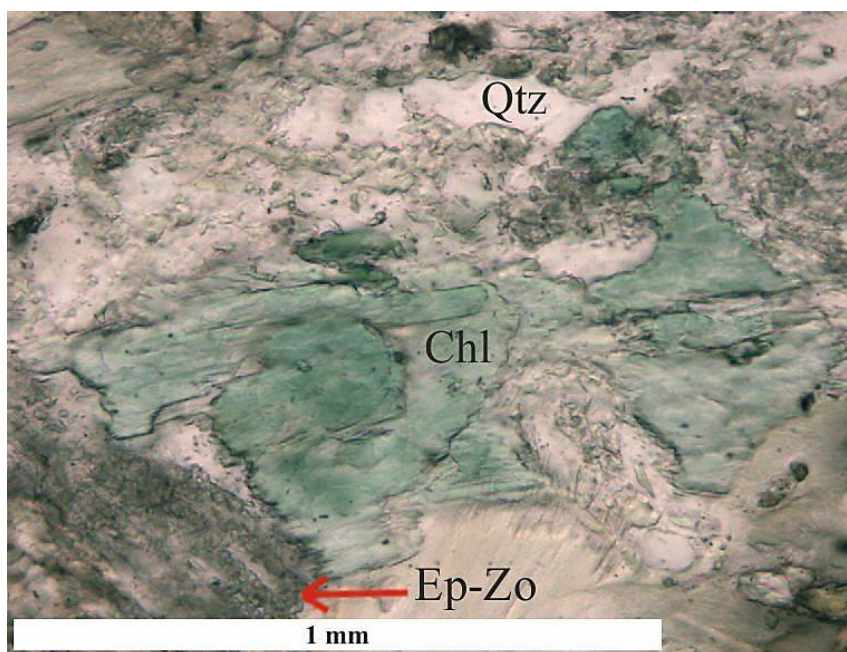
Štapići plagioklasa su hipidiomorfni i međusobno isprepleteni s mjestimično vidljivim polisintetskim sraslačkim lamelama. U preparatu je vidljiva suptilna promjena veličine zrna plagioklasa od približno $0,1 \text{ mm} \times 0,04 \text{ mm}$ na jednom do $0,6 \text{ mm} \times 0,25 \text{ mm}$ na drugom dijelu izbruska. Plagioklas je u velikoj mjeri izmijenjen u prehnit i minerale grupe epidota-coisita koji se često pojavljuju uz rubove zrna plagioklasa ili duž polisintetskih sraslačkih lamela. Uslijed intenzivne alteracije nije moguće pouzdano utvrditi je li reljef plagioklasa pozitivan ili negativan.

Zrna klinopiroksena također su štapićasta i hipidiomorfna dimenzija od $0,1 \text{ mm} \times 0,04 \text{ mm}$ do $0,55 \text{ mm} \times 0,25 \text{ mm}$. Klinopiroksen ima blijedo žućkastu osnovnu boju bez pleokroizma, visok reljef, koso potamnjenje pod kutevima do približno 45° i

interferencijske boje do plave drugog reda. Mjestimično su uočeni sraslaci dvojci klinopiroksena.

Neka su zrna djelomično uralitizirana u vlaknasti agregat aktinolita i klorita. U stijeni su uočeni agregati klorita, aktinolita i epidota koji vjerojatno predstavljaju relikte fenokristala klinopiroksena.

Mjestimično su uočeni amfiboli dobro izraženog pleokroizma u nijansama od svijetlo smeđe do tamnije smeđe ili zeleno-smeđe i višeg reljefa od aktinolita. Vjerojatno je riječ o amfibolu koji je po sastavu između aktinolita i hornblende. Ovaj je amfibol također nastao na račun klinopiroksena. Pojedina su zrna amfibola djelomično ili potpuno kloritizirana (Slika 6-8).



Slika 6-8. Mikrofotografija metadijabaza (uzorak RD-6 s lokaliteta Radiša; N). Pseudomorfoza klorita po amfibolu. Chl-klorit; Ep-Zo-minerali grupe epidota-coisita; Qtz-kvarc.

Stijena sadrži krupna alotriomorfna do hipidiomorfna zrna opâkog minerala, najvjerojatnije ilmenita. Pojedina zrna opâkog minerala su štapićasta, a pojedina pokazuju dobro razvijene češljaste forme karakteristične za ilmenit. Redovito su udruženi sa smeđim alteracijskim produktom, vjerojatno titanitom djelomično alteriranim u leukoksen.

Akcesorni apatit se pojavljuje u formi bezbojnih hipidiomorfni štapića umjerenog reljefa, sivih interferencijskih boja prvog reda, paralelnog potamnjenja i negativne optičke orijentacije izduženja.

Zrna kvarca ispunjavaju međuzrnski prostor između primarnih minerala. Većina kvarcni zrna su alotriomorfna, undulozno tamne te često uklapaju sekundarne minerale.

U stijeni su uočene mikropukotine ispunjene karbonatima i kvarcom.

Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kao **retrogradno izmijenjeni dijabaz** odnosno **metadijabaz**.

Uzorak RD-7

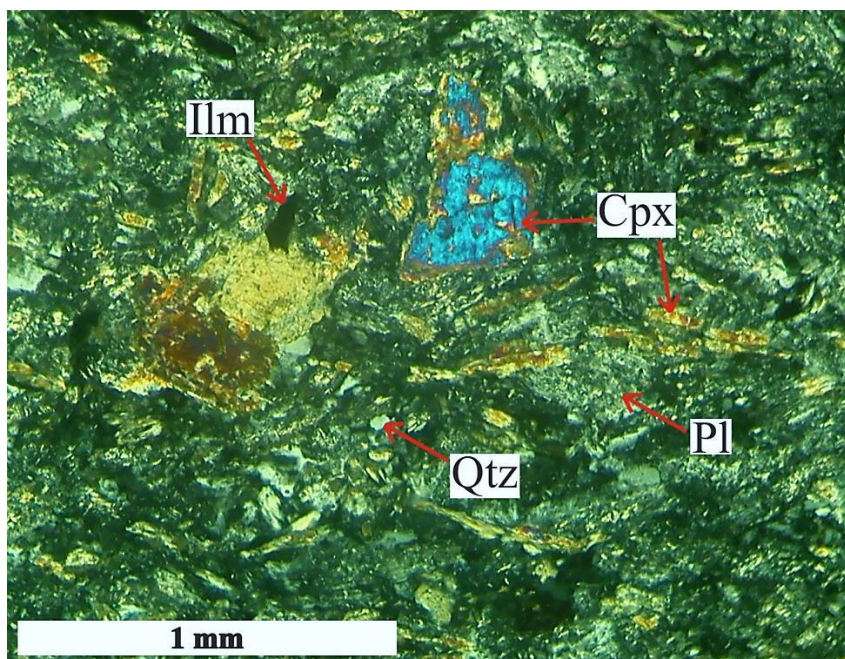
Uzorak RD-7 pronađen je u odronjenom materijalu uz dno izdanka.

Stijena ima homogenu teksturu i reliktnu intergranularnu strukturu. Uslijed izloženosti usmjerenom stresu, došlo je do djelomične strukturne preobrazbe stijene te su se štapićasta zrna plagioklasa i klinopiroksena orijentirala subparalelno.

Primarna mineralna parogeneza stijene ostala je dobro sačuvana te su od primarnih minerala uočeni plagioklas, klinopiroksen i opaki mineral, najvjerojatnije ilmenit (Slika 6-9). Stijena sadrži i značajne količine kvarca.

Zrna plagioklasa su alotriomorfna do hipidiomorfna te štapićasta, a dimenzije im variraju od 0,04 mm × 0,02 mm do 0,38 mm × 0,12 mm. Često se uočavaju polisintetske sraslačke lamele. Dispergirani u zrnima plagioklasa, minerali grupe epidota-coisita se pojavljuju u formi sitnozrnatih agregata visokog reljefa i pretežno sivih interferencijskih boja. Osim minerala grupe epidota-coisita, plagioklasi su također retrogradno izmijenjeni u prehnit.

Klinopirokseni su hipidiomorfni i štapićasti dimenzija od 0,04 mm × 0,02 mm do 0,34 mm × 0,18 mm. Visokog su reljefa, svijetlo smeđe osnovne boje i bez izraženog pleokroizma. Interferencijske boje su im visoke, do plave drugog reda, te tamne koso pod kutevima do približno 45°. Neka su zrna djelomično uralitizirana u vlaknasti agregat aktinolita i klorita.



Slika 6-9. Mikrofotografija metadijabaza (uzorak RD-7 s lokaliteta Radiša; N+). Krupna zrna klinopiroksena. Cpx-klinopiroksen; Ilm-ilmenit; Pl-plagioklas; Qtz-kvarc.

Rjeđe se uočava retrogradna izmjena klinopiroksena u amfibol umjerenog reljefa, s izraženim pleokroizmom u nijansama od žućkaste do smeđe-zelene, visokim interferencijskim bojama i kosim potamnjnjem pod kutevima većim od 20°. Vjerojatno je riječ o amfibolu sastava između aktinolita i hornblende.

Stijena sadrži brojna zrna opâkog minerala, pretpostavlja se da je riječ ilmenitu. Na nekim se alotriomorfnim do hipidiomorfnim zrnima uočava češljasto lučenje karakteristično za ilmenit, dok su neka zrna izdužena, hipidiomorfna i štapićasta. Opâki je mineral često obrubljen titanitom koji je počeo prelaziti u leukoksen.

Zrna kvarca su alotriomorfna i ispunjavaju intersticijalni prostor između plagioklasa i klinopiroksena. Pojedina zrna tamne homogeno, a neka undulozno. Kvarc često uklapa alteracijske produkte primarnih minerala.

Stijena sadrži mikropukotine ispunjene mineralima grupe epidota-coisita, kvarcom, karbonatima i sekundarnim albitom. Pukotine su približno okomite na preferiranu orijentaciju plagioklasa i klinopiroksena.

Zbog preferirane orijentacije zrna i alteracije primarnih minerala, stijena je klasificirana kao **metadijabaz**.

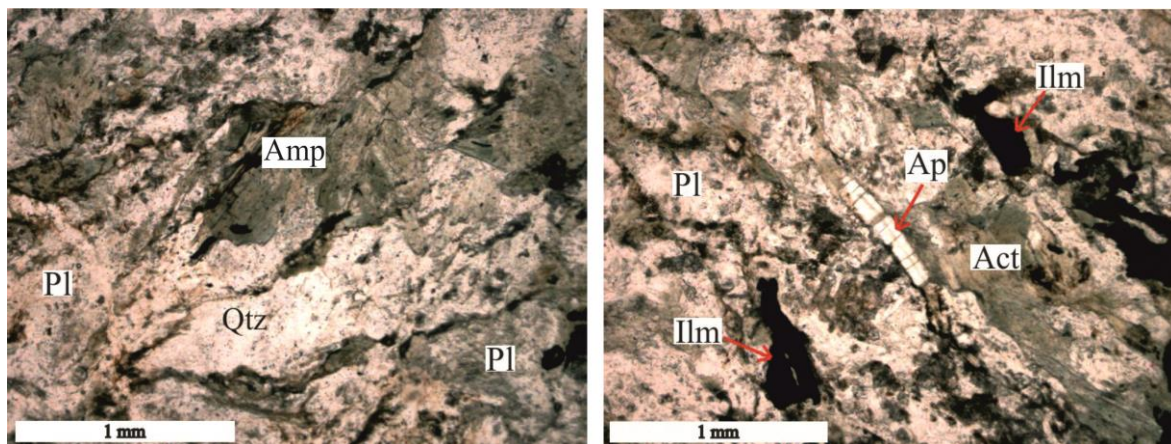
6.1.2. Lokalitet Češljakovci

Na lokalitetu Češljakovci skupljeno je pet uzoraka različitih varijeteta sitnozrnatog metadijabaza (ČŠ-1, ČŠ-2, ČŠ-4, ČŠ-5 i ČŠ-6) te jedan uzorak zelenog škriljavca nastalog metamorfozom dijabaza (ČŠ-3).

Uzorak ČŠ-1

Uzorak ČŠ-1 uzet je izravno sa izdanka.

Stijena ima granonematoblastičnu strukturu te homogenu do trakastu teksturu. Od minerala primarne parageneze uočeni su plagioklas i opâki minerali, najvjerojatnije ilmenit. Klinopirokseni su u potpunosti alterirali u amfibol po sastavu sličan hornblendi (Slika 6-10) koji je retrogradno izmijenjen u aktinolit i klorit. Amfiboli tvore subparalelne lečaste forme i isprekidane trake koje se izmjenjuju s primarnim plagioklasima i njihovim alteracijskim produktima. Stijena također sadrži kvarc (Slika 6-10), akcesorni apatit (Slika 6-11) te sekundarne željezovite minerale.



Slika 6-10. Mikrofotografije metadijabaza (uzorak ČŠ-1 s lokaliteta Češljakovci; N). Lijevo: amfibol nastao retrogradnom izmjenom klinopiroksena. Desno: akcesorni apatit. Act-aktinolit; Amp-amfibol; Ap-apatit; Ilm-ilmenit; Pl-plagioklas; Qtz-kvarc.

Zrna plagioklasa su alotriomorfna do hipidiomorfna dimenzija od 1,95 mm × 1,9 mm do 0,12 mm × 0,06 mm sa mjestimično vidljivim polisintetskim sraslačkim lamelama. Pojedina zrna plagioklasa su vrlo krupna, a vjerojatno je riječ o reliktima nekadašnjih fenokristala. Plagioklas je izmijenjen u minerale grupe epidota-coisita i prehnit.

Amfiboli su alotriomorfni do hipidiomorfni te varijabilnih veličina od 0,55 mm × 0,25 mm do 0,04 mm × 0,02 mm. Izraženog su pleokorizma u nijansama od svijetlo žute ili smeđe

do tamnije smeđe-zelene boje, umjerenog reljefa, interferencijskih boja do plave drugog reda te tamne koso pod kutevima do 28° . Mjestimično se uočava dvostruka amfibolska kalavost. Vjerojatno je riječ o amfibolu po sastavu sličnom hornblendi. Uz rubove zrna se često pojavljuje aktinolit nastao retrogradnom izmjenom ovog amfibola. Aktinolit ima umjeren reljef, slabo izražen pleokroizam u nijansama svijetlo zelene boje, visoke interferencijske boje i relativno male kuteve kosog potamnjenja.

Mnoga su zrna amfibola djelomično kloritizirana uslijed čega su interferencijske boje amfibola anomalne žutozelene. Uz djelomično kloritizirana zrna amfibola često su asocirane smjese narančastih sekundarnih željezovitih oksida i hidroksida.

Zrna opâkih minerala su alotriomorfna do štapićasta i hipidiomorfna. Pojedina se zrna odlikuju češljastom formom karakterističnom za ilmenit koja je mjestimično plastično deformirana. Zrna opâkog minerala su često obrubljena titanitom koji je počeo alterirati u leukoksen.

Stijena sadrži kvarc koji ispunjava međuzrnski prostor između plagioklasa i amfibola. Zrna kvarca su alotriomorfna, tamne undulozno te često uklapaju alteracijske produkte primarnih minerala.

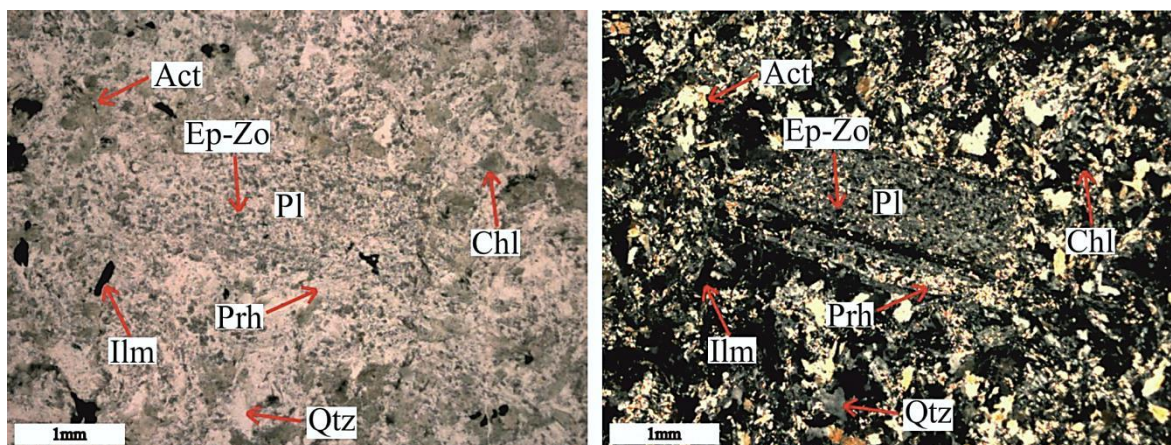
Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kao **metadijabaz**.

Uzorak ČŠ-2

Uzorak ČŠ-2 uzet je iz potoka koji teče podnožjem izdanka.

Stijena ima intergranularnu do porfirnu strukturu (Slika 6-11.) i homogenu teksturu. Plagioklas i opâki mineral ostatci su primarne mineralne parageneze stijene, dok je klinopiroksen alterirao u amfibol sastava sličnog hornblendi, aktinolit, klorit i epidot. Kvarc je prisutan u stijeni u značajnoj količini, a dodatno je uočen i akcesorni apatit.

Zrna plagioklasa su alotriomorfna do hipidiomorfna varijabilnih veličina. Intergranularni matriks čine sitna isprepletena i često štapićasta zrna dimenzija od približno $0,2 \text{ mm} \times 0,1 \text{ mm}$, no stijena sadrži i vrlo krupne fenokristale plagioklasa (Slika 6-11.) koji dosežu veličine do $2,85 \text{ mm} \times 1,5 \text{ mm}$. Mjestimično se uočavaju polisintetske sraslačke lamele. Plagioklasi su izmijenjeni u minerale grupe epidota-coisita i prehnit.



Slika 6-11. Mikrofotografije metadijabaza (uzorak ČŠ-2 s lokaliteta Češljakovci). Lijevo(N): alteracija fenokristala plagioklasa u minerale grupe epidota-coisita. Desno(N+): fenokristal plagioklasa. Act-aktinolit; Chl-klorit; Ep-Zo-minerali grupe epidota-coisita; Ilm-ilmenit; Pl-plagioklas; Prh-prehnit; Qtz-kvarc.

Zrna amfibola po sastavu sličnog hornblendi imaju dimenzije od $0,05 \text{ mm} \times 0,02 \text{ mm}$ do $0,45 \text{ mm} \times 0,2 \text{ mm}$, umjeren reljef i izražen pleokroizam u nijansama od svijetlo žutozelene do tamnije zelene ili smeđe. Mjestimično se uočavaju poprečni presjeci s dvostrukom amfibolskom kalavošću. Interferencijske boje amfibola su većinom narančaste prvog, no ponegdje do plave drugog reda. Kutevi kosog potamnjjenja su im između 20° i 30° . Amfibol je djelomično retrogradno izmijenjen u aktinolit, klorit i epidot.

Stijena sadrži brojna zrna opâkog minerala, najvjerojatnije je riječ o ilmenitu. Neka su zrna opâkog minerala hipidiomorfni štapićastih formi, a neka hipidiomorfna do alotriomorfna sa slabo izraženom češljastom formom karakterističnom za ilmenit. Opâki je mineral često obrubljen smeđim alteracijskim produktima, vjerojatno titanitom koji je djelomično izmijenjen u leukoksen.

Kvarc je alotriomorfan, tamni undulozno i ispunjava intersticijalni prostor između plagioklasa i amfibola. Često uklapa alteracijske produkte primarnih minerala te se pretpostavlja se da je sekundaran.

Rijetka zrna apatita su nealterirana, hipidiomorfna i bezbojna s umjerenim reljefom. Imaju sive interferencijske boje prvog reda i paralelno potamnjjenje.

U stijeni su uočene mikropukotine ispunjene kvarcom, kloritom i albitom.

Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kao **metadijabaz**.

Uzorak ČŠ-3

Uzorak retrogradno izmijenjenog dijabaza ČŠ-3 je pronađen uz cestu koja prolazi kroz magmatsko tijelo.

Stijena ima nematolepidogranoblastičnu strukturu i škriljavu teksturu (Slika 6-12). Glavni minerali stijene su kvarc i klorit te u podređenoj količini aktinolit i epidot. Stijena također sadrži opâki mineral, najvjerojatnije ilmenit.

Sitna izometrična zrna kvarca proraštena listićima klorita i iglicama aktinolita izgrađuju glavninu stijene. Mjestimično se u stijeni uočavaju i krupnija alotriomorfna zrna kvarca unduloznog potamnjenja.

Klorit ima slabo izražen pleokroizam u nijansama vrlo blijedo zelene boje, niskog je reljefa, anomalnih smeđih interferencijskih boja, često s izraženom pojavom izotropizacije.

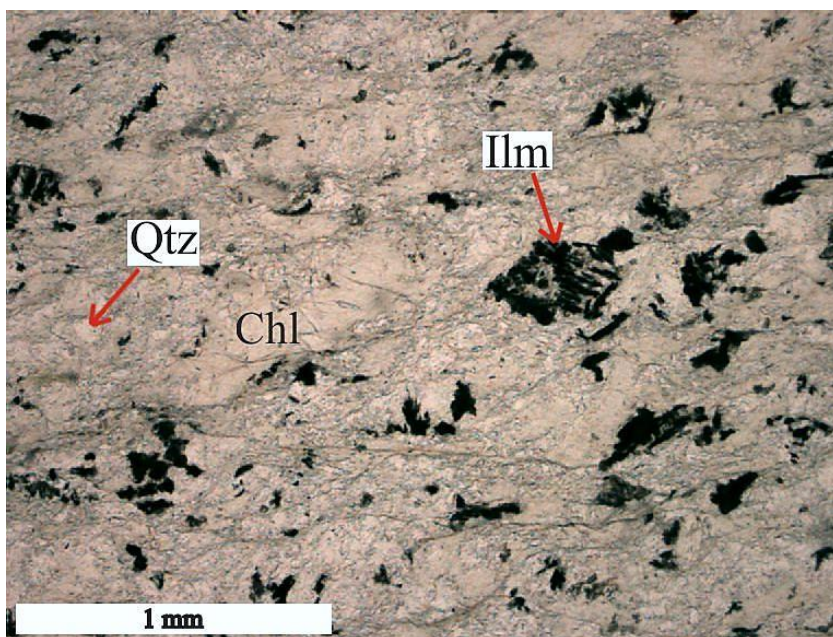
Iglice aktinolita su sitne i hipidiomorfne sa pleokroizmom u nijansama svijetlo zelene boje i visokim interferencijskim bojama, mjestimično do plave drugog reda. Kutevi kosog potamnjenja aktinolita su vrlo mali te iznose svega nekoliko stupnjeva.

Mjestimično se u stijeni zapažaju i zelenkasto-smeđa zrna epidota koja se odlikuju visokim reljefom i živim interferencijskim bojama.

U stijeni se često opažaju lećaste do štapićaste forme ispunjene kloritom i kvarcom koje su vjerojatno nastale retrogradnom izmjenom fenokristala klinopiroksena.

Stijena sadrži zrna opâkog minerala obrubljena tamno smeđim sitnozrnatim agregatom. Zrna opâkog minerala mjestimično imaju češljaste forme (Slika 6-12). Pretpostavlja se da je riječ o primarnom magmatskom mineralu, najvjerojatnije ilmenitu, koji je intenzivno izmijenjen u leukoksen.

Protolit ove stijene najvjerojatnije je bio dijabaz. Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kao **zeleni škriljavac**.



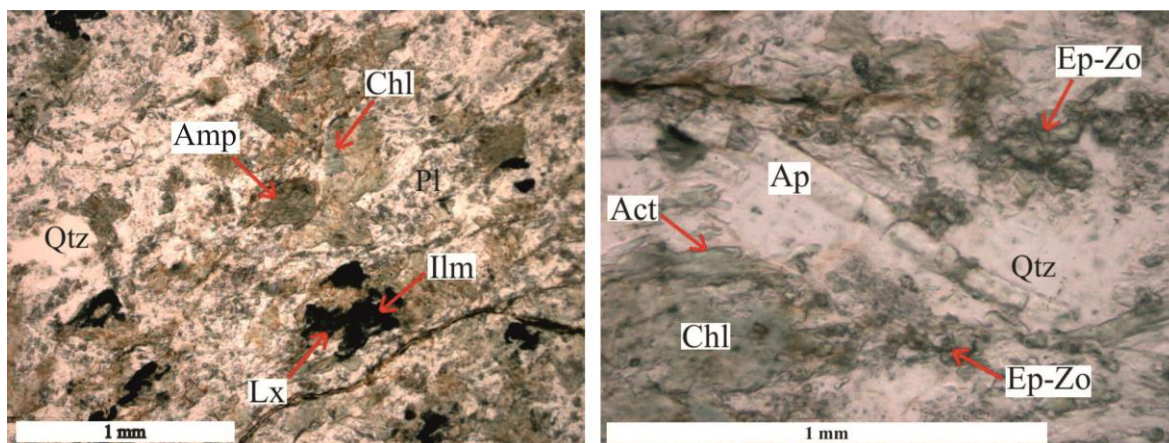
Slika 6-12. Mikrofotografija zelenog škriljavca (uzorak ČŠ-3 s lokaliteta Češljakovci; N). Škriljava tekstura. Reliktne češljaste strukture karakteristične za ilmenit. Chl-klorit; Ilm-ilmenit; Qtz-kvarc.

Uzorak ČŠ-4

Uzorak ČŠ-4 uzet je uz cestu koja prolazi kroz magmatsko tijelo.

Struktura stijene je granonematoblastična (Slika 6-13) do reliktna porfirna, a tekstura homogena do trakasta. Od primarnih minerala stijene sačuvani su plagioklas i opâki mineral. Klinopiroksen je u potpunosti retrogradno izmijenjen u amfibol, klorit i, rjeđe, epidot. Stijena sadrži akcesorni apatit (Slika 6-13) i značajnu količinu kvarca.

Zrna plagioklasa su alotriomorfna do hipidiomorfna varijabilnih dimenzija od sitnijih zrna veličine približno $0,1 \text{ mm} \times 0,08 \text{ mm}$ do razmjerno velikih fenokristala plagioklasa koji dosežu dimenzije do $1,9 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$. U fenokristalima su ponegdje uočljive polisintetske sraslačke lamele. Plagioklas je intenzivno retrogradno izmijenjen u prehnit i minerale grupe epidota-coisita.



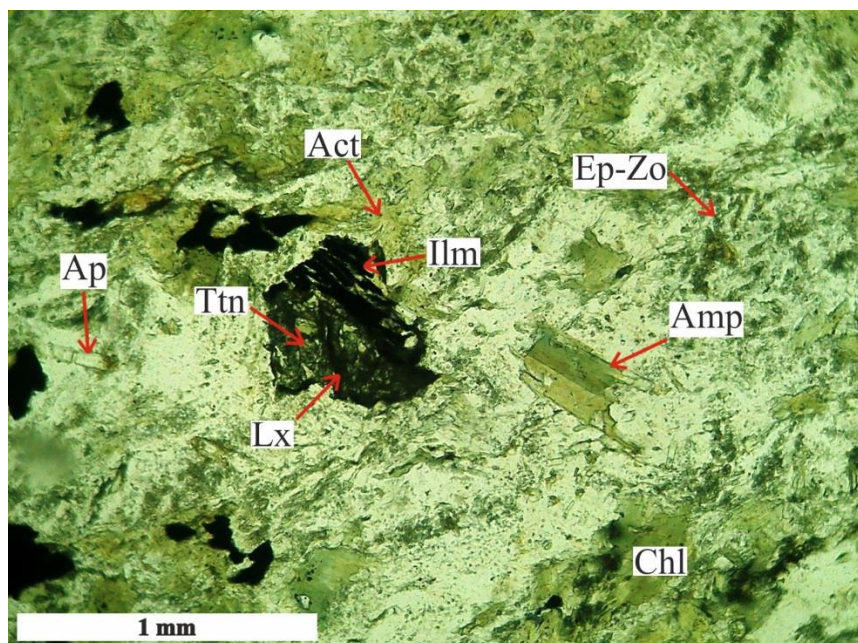
Slika 6-13. Mikrofotografije metadijabaza (uzorak ČŠ-4 s lokaliteta Češljakovci; N). Lijevo: granonematoblastična struktura. Desno: akcesorni apatit. Act-aktinolit; Amp-amfibol; Ap-apatit; Chl-klorit; Ep-Zo-minerali grupe epidota-coisita; Ilm-ilmenit; Lx-leukoksen; Pl-plagioklas; Qtz-kvarc.

Amfibol (Slika 6-14), po sastavu vjerojatno između aktinolita i hornblende, mjestimično formira nepravilne i isprekidane trake u stijeni te je relativno ujednačenih dimenzija zrna od $0,04 \text{ mm} \times 0,02 \text{ mm}$ do $0,16 \text{ mm} \times 0,1 \text{ mm}$. Amfibol ima umjeren do visok reljef, pleokroizam u nijansama od svijetlo žute do tamnije zelene, interferencijske boje do plave drugog reda i kuteve kosog potamnjenja između 20° i 30° . U stijeni se mjestimično uočava retrogradna promjena ovog amfibola u aktinolit te su neka zrna posve, a neka djelomično izmijenjena u klorit i epidot.

Stijena sadrži opâki mineral, najvjerojatnije ilmenit. Neka su zrna opâkog minerala alotriomornog habitusa, dok druga imaju hipidiomorfne štapićaste forme. Mjestimično se uočavaju češljaste forme karakteristične za ilmenit. Neka su zrna opâkog minerala obrubljena titanitom koji je počeo alterirati u leukoksen (Slika 6-14).

U zrnima kvarca se redovito uočava undulozno potamnjenje, a često i migracija granica zrna te formiranje i rotacija više domena. Zrna su alotriomorfna i mjestimično uklapaju alteracijske produkte plagioklasa i klinopiroksena što upućuje na sekundarno podrijetlo kvarca.

Apatit je bezbojan, umjerenog reljefa, sivih interferencijskih boja prvog reda, paralelnog potamnjenja i negativne optičke orijentacije izduženja. Zrna apatita često su poprečno prutana.



Slika 6-14. Mikrofotografija metadijabaza (uzorak ČŠ-4 s lokaliteta Češljakovci; N). Granonematoblastična struktura. Krupno zrno amfibola. Ilmenit obrubnjen titanitom djelomično alteriranim u leukoksen. Act-aktinolit; Amp-amfibol; Ap-apatit; Chl-klorit; Ep-Zo-minerali grupe epidota-coisita; Ilm-ilmenit; Lx-leukoksen; Ttn-titanit.

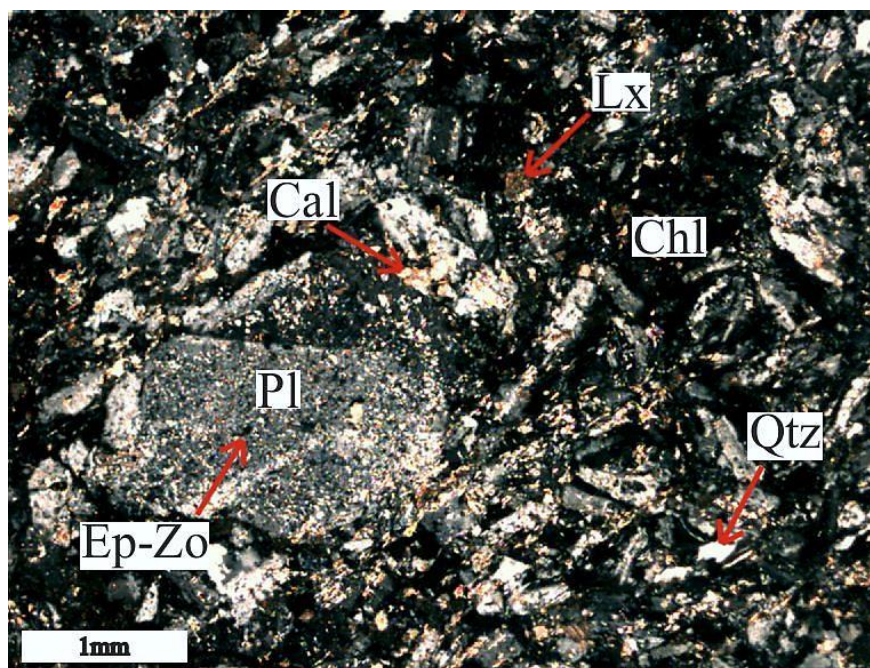
Prema petrografskim karakteristikama stijena je klasificirana kao **metadijabaz**.

Uzorak ČŠ-5

Uzorak ČŠ-5 pronađen je uz cestu koja prolazi kroz magmatsko tijelo.

Stijena ima intergranularnu do oligofirnu strukturu s rijetkim fenokristalima plagioklasa (Slika 6-15). Tekstura stijene je homogena. Uz izuzetak plagioklasa, primarni minerali stijene nisu očuvani. Klinopiroksen je u potpunosti retrogradno izmijenjen u klorit te, u podređenoj mjeri, u epidot i aktinolit. Opâki mineral je alterirao u titanit koji je u većoj mjeri izmijenjen u leukoksen. Stijena sadrži i značajne količine kvarca.

Plagioklas je najučestaliji mineral u stijeni. Zrna plagioklasa su hipidiomorfna, štapićasta i međusobno isprepletena sa mjestimično vidljivim polisintetskim sraslačkim lamelama. Dimenzije zrna su varijabilne, od fenokristala veličina $1,4 \text{ mm} \times 0,9 \text{ mm}$ do sitnih štapića u intergranularnom matriksu stijene dimenzija $0,08 \text{ mm} \times 0,04 \text{ mm}$. Plagioklasi su izmijenjeni u prehnit, kalcit i razne minerale grupe epidota-coisita.



Slika 6-15. Mikrofotografija metadijabaza (uzorak ČŠ-5 s lokaliteta Češljakovci; N+). Fenokristal plagioklasa. Cal-kalcit; Chl-klorit; Ep-Zo-minerali grupe epidota-coisita; Lx-leukoksen; Pl-plagioklas; Qtz-kvarc.

Klorit se pojavljuje kao svijetlo zelen agregat s blago izraženim pleokroizmom koji ispunjava prostor oko štapićastih plagioklasa. Agregat ima većinom anomalne plave i smeđe interferencijske boje. Rijetka zrna aktinolita, koja se nalaze unutar agregata klorita, se prepoznaju po svom štapićastom do igličastom habitusu, nešto višem reljefu i živim interferencijskim bojama. Klorit je vrlo često asociran i s epidotom.

U stijeni su uočeni brojni sitnozrnati smeđi agregati, vjerojatno leukoksena, unutar kojih se mjestimično naziru zrna titanita visokog reljefa i bijelih interferencijskih boja višeg reda. Oni su produkt alteracije primarnog opâkog minerala, vjerojatno ilmenita.

Stijena sadrži alotriomorfna zrna kvarca unduloznog potamnjenja koja često uklapaju alteracijske produkte plagioklasa i klinopiroksena.

U stijeni je također prisutna značajna količina sekundarnog kalcita.

Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kao **metadijabaz**.

Uzorak ČŠ–6

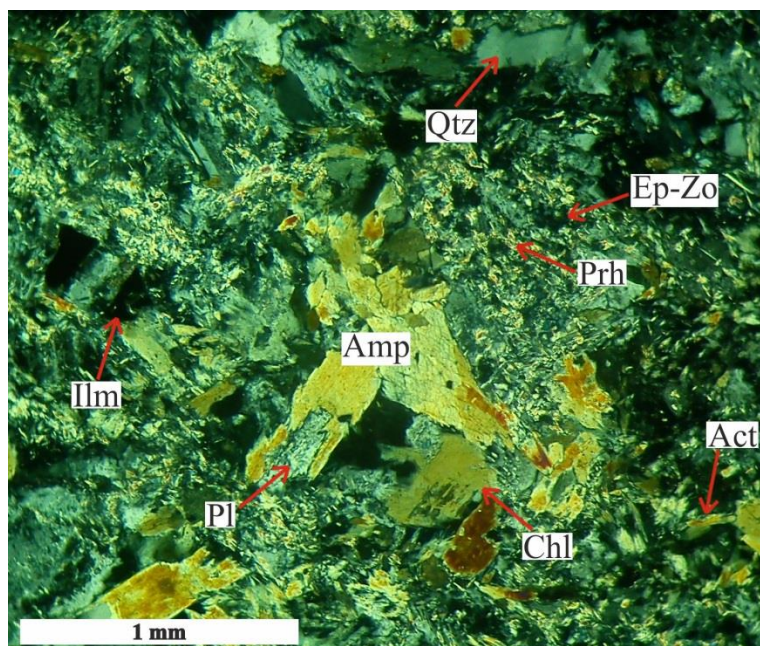
Uzorak ČŠ–6 uzet je na mjestu gdje se cesta koja prolazi kroz magmatsko tijelo odvaja od potoka Kišljovac, nekoliko stotina metara od lokaliteta Češljakovci.

Stijena ima granonematoblastičnu (Slika 6-16) do reliktnu porfirnu strukturu (Slika 6-17) i homogenu teksturu. Od primarnih minerala sačuvani su plagioklasi i opâki mineral. Klinopirokseni, koji su također bili dio primarne mineralne parageneze, su u potpunosti izmijenjeni u amfibole, klorit i epidot. U stijeni su uočene i značajne količine kvarca.

Plagioklasi su vrlo varijabilnih dimenzija od sitnih hipidiomorfni štapićastih isprepletenih zrna veličina $0,2 \text{ mm} \times 0,05 \text{ mm}$ do krupnih fenokristala plagioklasa koji dosežu dimenzije do $2,35 \text{ mm} \times 1,65 \text{ mm}$. Na pojedinim se zrnima uočavaju karakteristične polisintetske sraslačke lamele. Plagioklasi su intenzivno alterirali u prehnit (Slika 6-17) i minerale grupe epidota-coisita koji se pojavljuju u formi sitnozrnatih agregata visokog reljefa često koncentriranih duž polisintetskih sraslačkih lamela.

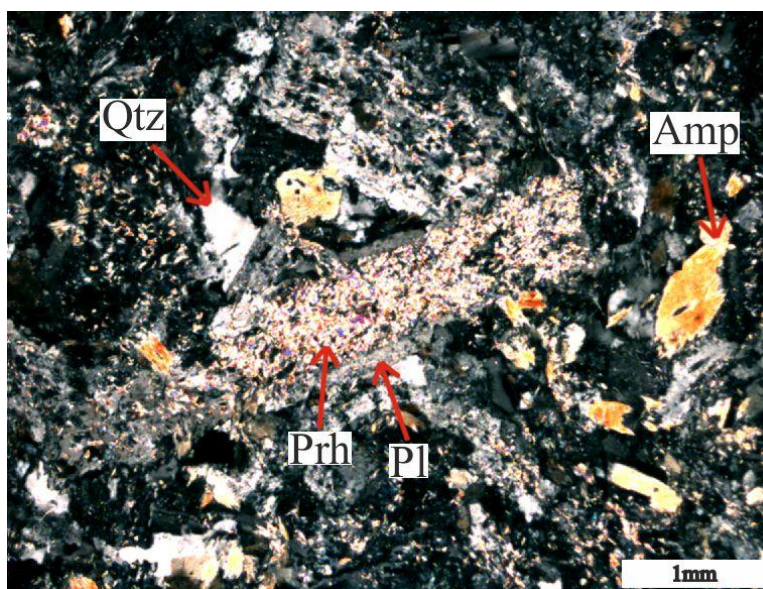
Stijena sadrži hipidiomorfna zrna amfibola po sastavu sličnog hornblendi dimenzija $0,45 \text{ mm} \times 0,3 \text{ mm}$ do $0,05 \text{ mm} \times 0,025 \text{ mm}$, umjerenog do visokog reljefa i izraženog pleokroizma u nijansama svjetlije do tamnije zelene ili zelenosmeđe. Interferencijske boje hornblende su visoke, do plave drugog reda, te tamne koso pod kutevima do 27° . Mjestimično se uočavaju idiomorfna zrna s dvostrukom amfibolskom kalavošću (Slika 6-16). Neka su zrna amfibola djelomično, a neka potpuno retrogradno izmijenjena u aktinolit, klorit i epidot. Stijena sadrži brojna alotriomorfna do hipidiomorfna zrna opâkog minerala. Pojedina su zrna opâkog minerala obrubljena titanitom koji je djelomično izmijenjen u leukoksen. U nekim zrnima opâkog minerala uočene su češljaste forme karakteristične za ilmenit.

U stijeni se često uočavaju alotriomorfna zrna kvarca s unduloznim potamnjem koja ispunjavaju intersticijalni prostor između plagioklasa te mjestimično uklapaju sekundarne minerale.



Slika 6-16. Mikrofotografija metadijabaza (uzorak ČŠ-6 s lokaliteta Češljakovci; N+). Granonematoblastična struktura. Vidljiva dvostruka amfibolska kalavost. Act-aktinolit; Amp-amfibol; Chl-klorit; Ep-Zo-minerali grupe epidota-coisita; Ilm-ilmenit; Pl-plagioklas; Prh-prehinit; Qtz-kvarc.

Stijena sadrži akcesorni apatit i mikropukotine ispunjene karbonatnim mineralima, kvarcom, kloritom te mineralima grupe epidota-coisita.



Slika 6-17. Mikrofotografija metadijabaza (uzorak ČŠ-6 s lokaliteta Češljakovci; N+). Fenokristal plagioklasa intenzivno alteriran u prehinit. Amp-amfibol; Pl-plagioklas; Prh-prehinit; Qtz-kvarc.

Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kao **metadijabaz**.

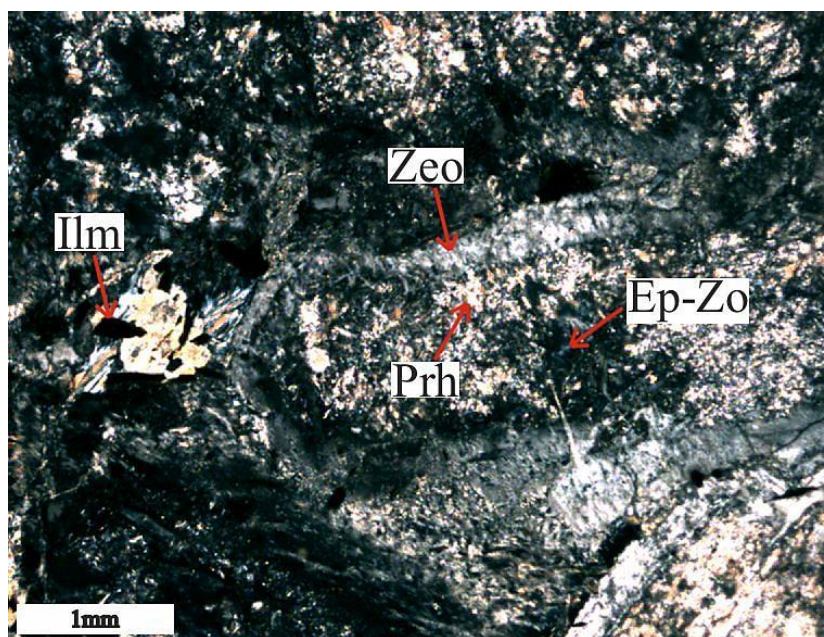
6.1.3. Lokalitet Radlovac

Iz djelomično usitnjenog materijala pronađenog na području kamelonoma tehničko-građevnog kamena Radlovac uzeto je šest uzoraka različitih varijeteta dijabaza (RL-1, RL-2, RL-3, RL-4, RL-5 i RL-6) i četiri uzorka okolnih metasedimenata (RL-7, RL-8, RL-9 i RL-10).

Uzorak RL-1

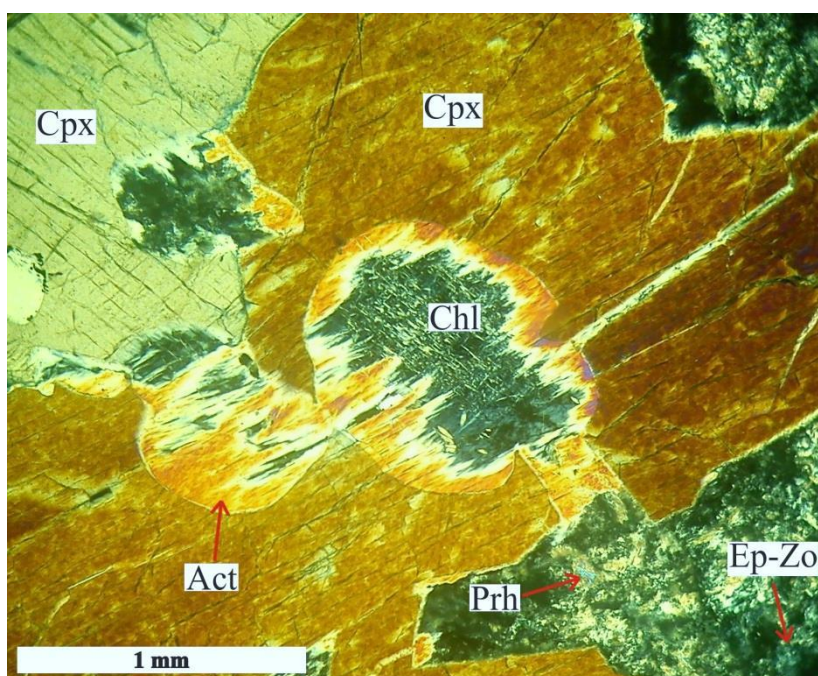
Stijena ima ofitnu strukturu i homogenu teksturu. Primarnu mineralnu paragenezu stijene čine plagioklas, klinopiroksen i opâki mineral, a uočen je i akcesorni apatit. Stijena sadrži manje količine kvarca.

Zrna plagioklasa su vrlo krupna, dimenzija od $1,3 \text{ mm} \times 0,4 \text{ mm}$ do $8 \text{ mm} \times 1,3 \text{ mm}$. Hipidiomorfna su, štapićasta i isprepletena te izrazito alterirana u minerale grupe epidota-coisita, prehnit i minerale glina. Prehnit je mjestimično relativno krupan pa se može prepoznati po visokim interferencijskim bojama i blago lepezastom potamnjenju. Polisitneteske sraslačke lamele plagioklasa se u pravilu ne opažaju. Uz rubove zrna plagioklasa često se uočava vlaknasti mineralni agregat sivih interferencijskih boja, vjerojatno je riječ o zeolitima (Slika 6-18). Zbog izražene alteracije nije moguće pouzdano odrediti je li reljef plagioklasa pozitivan ili negativan.



Slika 6-18. Mikrofotografija dijabaza (uzorak RL-1 s lokaliteta Radlovac; N+). Alteracija plagioklasa u zeolite, prehnit i minerale grupe epidota-coisita. Ep-Zo-minerali grupe epidota-coisita; Ilm-ilmenit; Prh-prehnit; Zeo-zeoliti.

Klinopiroksen najčešće sadrži uklopljena brojna sitnija zrna plagioklasa formirajući ofitnu strukturu. Zrna klinopiroksena su vrlo krupna, dimenzija od 5 mm × 3,3 mm do 1,25 mm × 0,35 mm. Pokazuju visok reljef i vrlo blago ružičasto-svijetlo smeđu osnovnu boju. Imaju koso potamnjenje pod kutevima do približno 45° i interferencijske boje do plave drugog reda. Uočeni su poprečni presjeci klinopiroksena s dvostrukom kalavošću pod približno 90°. Klinopirokseni su većinom nealterirani, no mjestimično se pronalaze zrna koja su djelomično ili potpuno izmijenjena u agregat klorita i aktinolita (Slika 6-19) te, u podređenoj mjeri, sitnog zrnja epidota i sekundarnih opâkih minerala. Često se unutar takvih agregata uočava orijentiran rast iglica aktinolita paralelno kalavosti i setovima sistematičnih pukotina u zrnima klinopiroksena.



Slika 6-19. Mikrofotografija dijabaza (uzorak RL-1 s lokaliteta Radlovac; N+). Alteracija klinopiroksena u aktinolit i klorit. Act-aktinolit; Chl-klorit; Cpx-klinopiroksen; Ep-Zo-minerali grupe epidota-coisita; Prh-prehnit.

Opâki mineral je vrlo varijabilnih dimenzija te hipidiomorfno do altrimorfno habitusa. Mjestimično je uklopljen u zrna klinopiroksena. Najvjerojatnije se radi o ilmenitu koji je mjestimice alteriran u leukoksen.

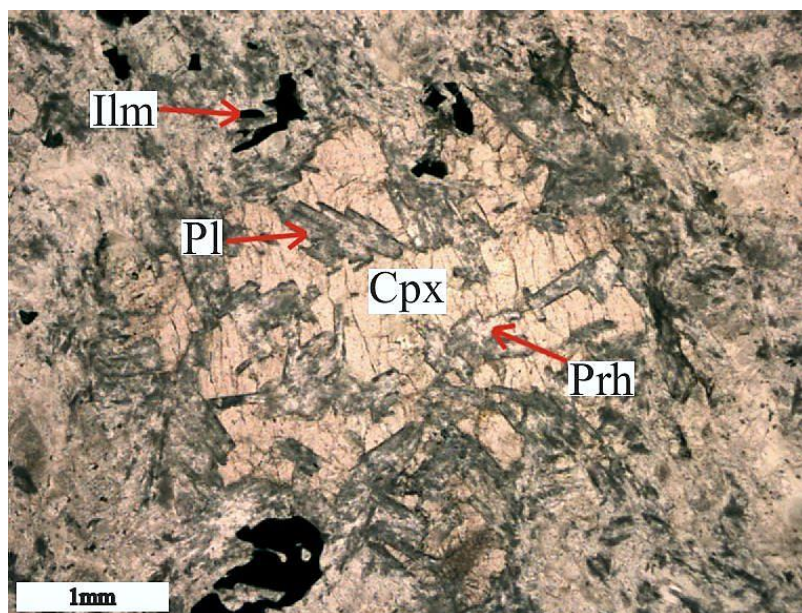
U stijeni su također uočena alotriomorfna zrna kvarca od kojih neka tamne gotovo homogeno, a neka undulozno. Mnoga zrna uklapaju alteracijske produkte primarnih minerala te su vjerojatno sekundarnog podrijetla.

Aksesorni apatit se pojavljuje u formi bezbojnih hipidiomorfnih štapića umjerenog reljefa, sivih interferencijskih boja i paralelnog potamnjenja.

Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kao **dijabaz**.

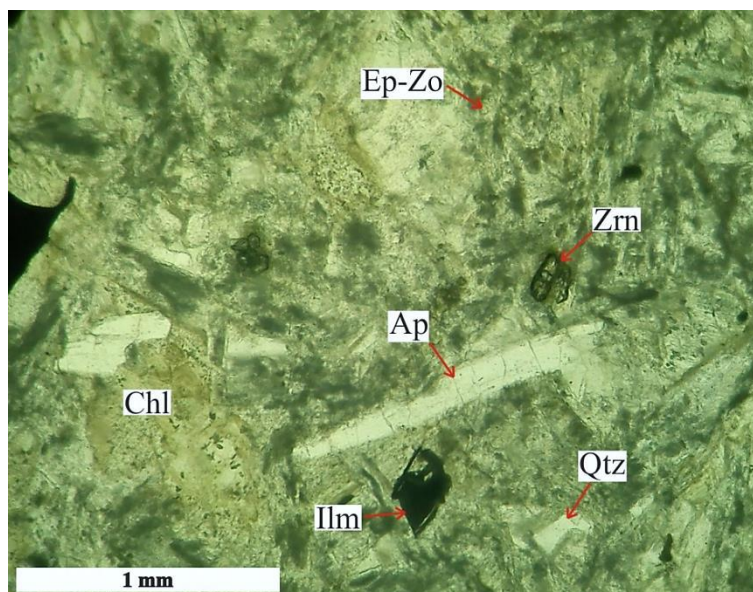
Uzorak RL-2

Stijena ima ofitnu do poikilitnu strukturu s krupnim zrnima klinopiroksena u koje su uklopljena znatno sitnija međusobno isprepletena štapićasta zrna plagioklasa (Slika 6-20). Tekstura stijene je homogena. Uz klinopiroksen i plagioklas, primarnu mineralnu paragenezu čine opâki minerali i aksesorni apatit. Stijena također sadrži kvarc i rijedak aksesorni cirkon (Slika 6-21).



Slika 6-20. Mikrofotografija dijabaza (uzorak RL-2 s lokaliteta Radlovac; N). Ofitna do poikilitna struktura. Cpx-klinopiroksen; Ilm-ilmenit; Pl-plagioklas; Prh-prehnit.

Zrna plagioklasa su hipidiomorfna i isprepletena dimenzija od 0,15 mm × 0,02 mm do 0,8 mm × 0,3 mm. Polisintetske sraslačke lamele se ne uočavaju uslijed intenzivne alteracije plagioklasa u minerale glina, prehnit i minerale grupe epidota-coisita. Ponegdje se u stijeni uz rubove plagioklasa uočava vlaknasti mineral sivih interferencijskih boja, vjerojatno zeolit.



Slika 6-21. Mikrofotografija dijabaza (uzorak RL-2 s lokaliteta Radlovac; N). Akcesorni apatit. Ksenokristali cirkona. Ap-apatit; Chl-klorit; Ep-Zo-minerali grupe epidota-coisita; Ilm-ilmenit; Prh-prehnit; Qtz-kvarc; Zrn-cirkon.

Klinopirokseni su altrimorfni i varijabilnih dimenzija od 0,7 mm × 0,15 mm do 2,95 mm × 2,3 mm. Bezbojni su ili svijetlo smeđe osnovne boje, imaju visok reljef i koso potamnjenje pod kutevima do približno 45°. Interferencijske boje klinopiroksena su, ovisno o presjeku, sive prvog reda do plave drugog reda. Relativno su nealterirani, no ponegdje se uočavaju zrna koja su po rubovima djelomično izmijenjena u igličasti amfibol, vjerojatno aktinolit. Mjestimično se u stijeni uočavaju agregati klorita, aktinolita, epidota i sekundarnih opâkih minerala koji također nastaju retrogradnom izmjenom klinopiroksena.

Zrna opâkog minerala, vjerojatno ilmenita, su alotrimorfna do hipidiomorfna te su mjestimično uklopljena u klinopiroksene. Na zrnima opâkog minerala se vrlo rijetko uočavaju češljaste forme karakteristične za ilmenit te su mnoga zrna obrubljena smeđim agregatom, najvjerojatnije leukoksenom.

Kvarc se pojavljuje u formi alotrimorfnih zrna s gotovo homogenim ili unduloznim potamnjenjem. Često se uočava uklapanje alteracijskih produkata primarnih minerala u zrna kvarca.

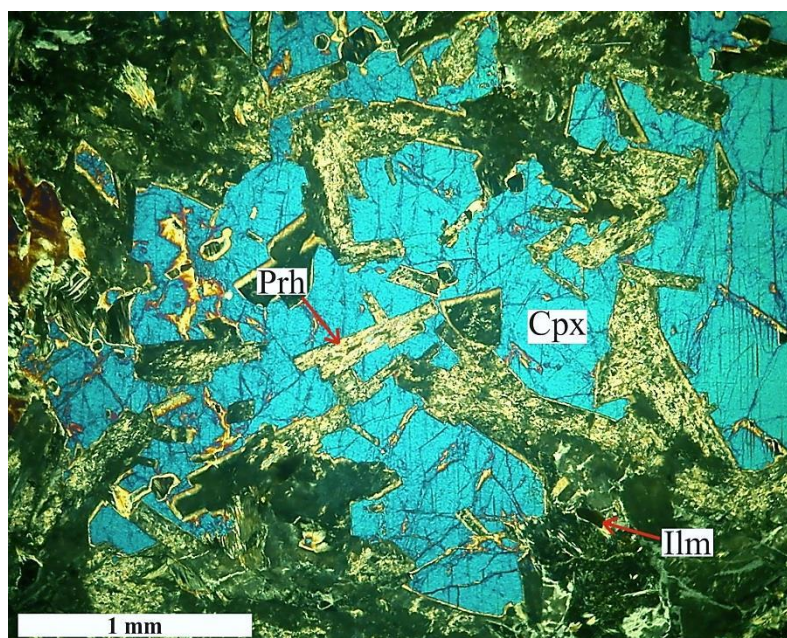
Premda akcesoran, apatit je relativno učestao mineralni sastojak stijene. Pojavljuje se u formi poprečno prutanih, bezbojnih, hipidiomorfnih štapića umjerenog reljefa sa sivim interferencijskim bojama i paralelnim potamnjenjem.

Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kao **dijabaz**.

Uzorak RL-3

Stijena ima homogenu teksturu i ofitnu strukturu (Slika 6-22). Primarni minerali stijene su plagioklasi, klinopirokseni, opâki minerali te akcesorni apatit. Stijena također sadrži manje količine kvarca.

Zrna plagioklasa su štapićasta i hipidiomorfna dimenzija od 0,14 mm × 0,03 mm do 3,2 mm × 0,55 mm. Uz rubove zrna se često uočavaju vlaknasti agregati sivih interferencijskih boja, vjerojatno zeoliti. Plagioklasi su također retrogradno izmijenjeni u sitnozrnate agregate minerala grupe epidota-coisita, prehnit (Slika 6-22) te minerale glina. Mjestimično se, usprkos prisutnosti alteracijskih produkata, uočavaju polisintetske sraslačke lamele.

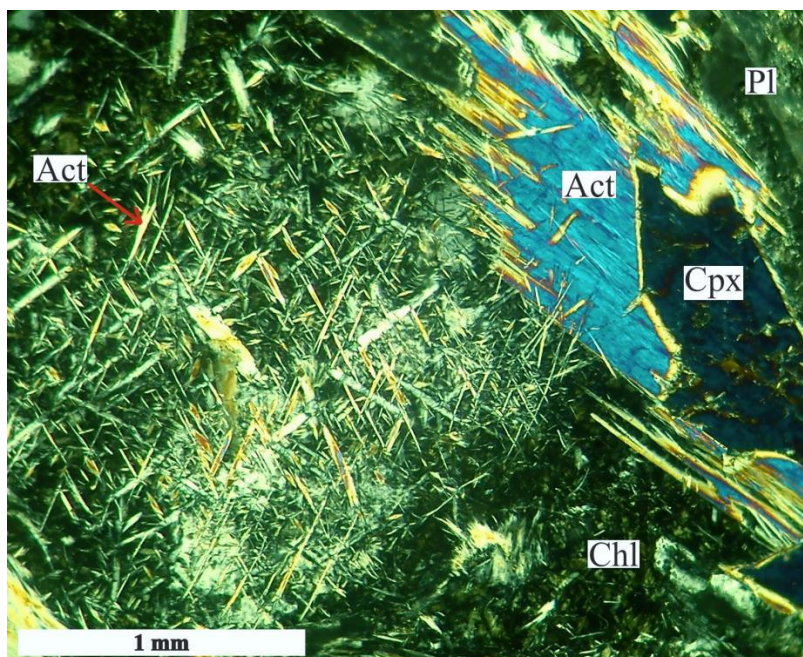


Slika 6-22. Mikrofotografija dijabaza (uzorak RL-3 s lokaliteta Radlovac; N+). Ofitna struktura. Cpx-klinopiroksen; Ilm-ilmenit; Prh-prehnit.

Zrna klinopiroksena su izrazito krupna, dimenzija od 0,65 mm × 0,35 mm pa čak do 4,5 mm × 3 mm. Uklapaju štapiće plagioklasa tvoreći ofitnu, mjestimično i poikilitnu strukturu. Klinopirokseni se odlikuju visokim reljefom, bezbojne su do svijetlo smeđe osnovne boje te tamne koso pod kutevima do približno 45°. Interferencijske boje im variraju od sivih boja prvog do plave drugog reda.

Neki su klinopirokseni djelomično, a neki potpuno izmijenjeni u agregat aktinolita, klorita i epidota (Slika 6-23). Aktinolit se pojavljuje u obliku iglica koje ponegdje rastu paralelno kalavosti i pukotinskim sustavima u zrnima klinopiroksena. Iglice aktinolita su nižeg

reljefa od klinopiroksena te tamne koso pod znatno manjim kutevima. Pleokroizam nije izražen ili je slabo izražen u nijansama svijetlo zelene boje. Interferencijske boje aktinolita su visoke, do plave drugog reda.



Slika 6-23. Mikrofotografija dijabaza (uzorak RL-3 s lokaliteta Radlovac; N+). Alteracija klinopiroksena u aktinolit i klorit. Usmjereni rast aktinolita paralelno setovima pukotina u klinopiroksenu. Act-aktinolit; Chl-klorit; Cpx-klinopiroksen; Pl-plagioklas.

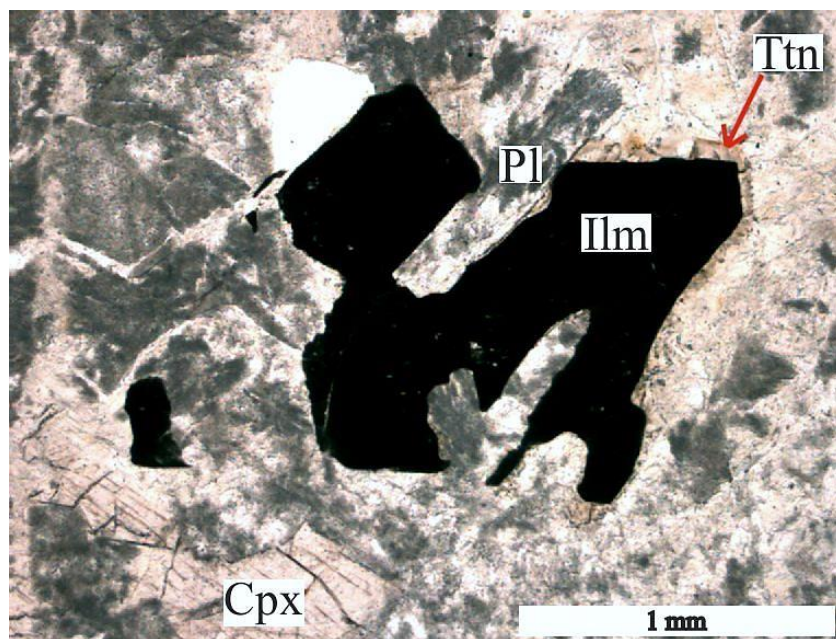
U stijeni su također uočena zrna amfibola izraženog pleokroizma od svijetlo do tamnije smeđe boje koja su intenzivno alterirana u montmorilonit. Vjerojatno je riječ o amfibolu po sastavu sličnom hornblendi koji je nastao na račun klinopiroksena.

Alotriomorfna do hipidiomorfna zrna opâkog minerala mjestimično su uklopljena u klinopiroksen. Duž rubova i pukotina, opâki je mineral, najvjerojatnije ilmenit, počeo prelaziti u titanit djelomično izmijenjen u smeđi alteracijski produkt, leukoksen (Slika 6-24).

Stijena sadrži alotriomorfna zrna kvarca većinom unduloznog potamnjenja koja često uklapaju alteracijske produkte primarnih minerala. Vjerojatno su sekundarnog podrijetla.

Akcesorni apatit se pojavljuje u obliku bezbojnih štapica zrna umjerenog reljefa i sivih interferencijskih boja prvog reda. Tamni paralelno izduženju te je nealteriran.

Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kao **dijabaz**.



Slika 6-24. Mikrofotografija dijabaza (uzorak RL-3 s lokaliteta Radlovac; N). Djelomično resorbirano zrno ilmenita u koje je uklopljen štapić plagioklasa. Alteracija ilmenita u titanit. Cpx-klinopiroksen; Ilm-ilmenit; Pl-plagioklas; Ttn-titanit.

Uzorak RL-4

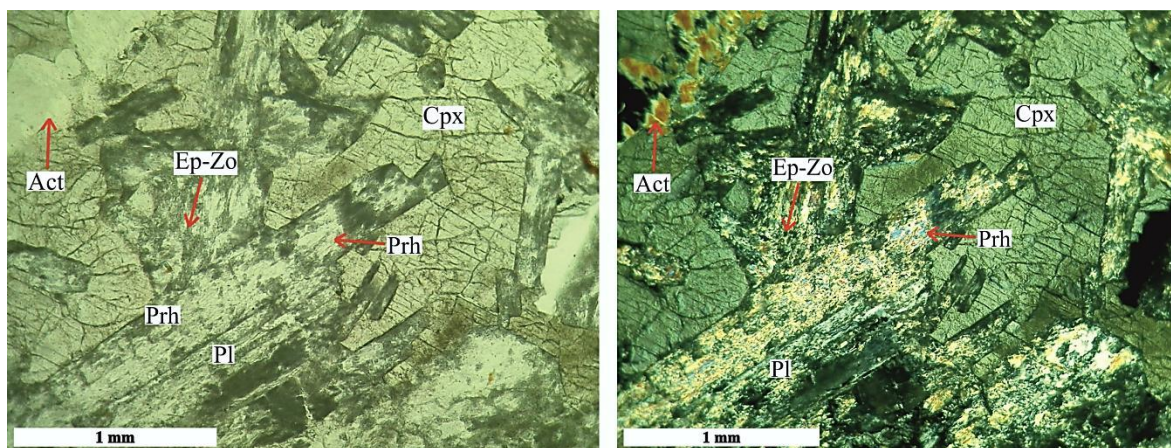
Stijena ima ofitnu do mjestimično poikilitnu strukturu sa štapićastim plagioklasima uklopljenim u krupne klinopiroksene (Slika 6-25). Tekstura stijene je homogena. Glavni minerali u stijeni su klinopiroksen, plagioklas i opâki mineral. Stijena također sadrži akcesorni apatit i manje količine kvarca.

Zrna klinopiroksena su vrlo krupna, dimenzija od nekoliko mm do približno 0,15 mm × 0,15 mm. Visokog su reljefa, bezbojne do svijetlo smeđe osnovne boje i interferencijskih boja do plave drugog reda. Klinopiroksen tamni koso pod kutevima do približno 45°.

Neka su zrna klinopiroksena djelomično, a neka u potpunosti alterirana u agregat klorita, aktinolit i epidota. Aktinolit se pojavljuje u obliku iglica koje rastu duž rubova zrna klinopiroksena ili su asocirane s kloritom i epidotom. Uz aktinolit, klorit i epidot se mjestimično nalaze i amfiboli nešto višeg reljefa i izraženog pleokoizma od svijetle do tamnije smeđe boje koji su po sastavu vjerojatno slični hornblendi.

Plagioklas je štapićastih hipidiomorfnihi formi dimenzija od 3,25 mm × 0,7 mm do 0,2 mm × 0,08 mm sa mjestimično vidljivim polisintetskim sraslačkim lamelama. Izuzetno je alteriran u minerale glina i minerale grupe epidota-coisita. U pojedinim zrnima plagioklasa

uočava se i prehnit koji tvori vlaknaste do sitnolistićave agregate slabo izraženog pleokroizma od bezbojne do svijetlo zelene boje, visokih interferencijskih boja i približno paralelnog blago lepezastog potamnjenja. Uz rubove zrna plagioklasa se često uočavaju i vlaknasti agregati zeolita sivih interferencijskih boja prvog reda.



Slika 6-25. Mikrofotografije dijabaza (uzorak RL-4 s lokaliteta Radlovac). Lijevo(N): ofitna do poikilitna struktura. Desno(N+): intenzivna alteracija plagioklasa u prehnit. Act-aktinolit; Cpx-klinopiroksen; Ep-Zo-minerali grupe epidota-coisita; Pl-plagioklas; Prh-prehnit.

Opâki mineral, najvjerojatnije ilmenit, je alotriomorfna do hipidiomorfna te je po rubovima mjestimično počeo alterirati u smeđi agregat, moguće leukoksen. Opâki je mineral mjestimično uklopljen u klinopiroksene, dok pojedina zrna opâkog minerala uklapaju sitnija zrna plagioklasa.

Rijetka alotriomorfna zrna kvarca često uklapaju sekundarne minerale te su vjerojatno i sama sekundarnog podrijetla.

Stijena dodatno sadrži hipidiomorfna štapićasta zrna akcesornog apatita.

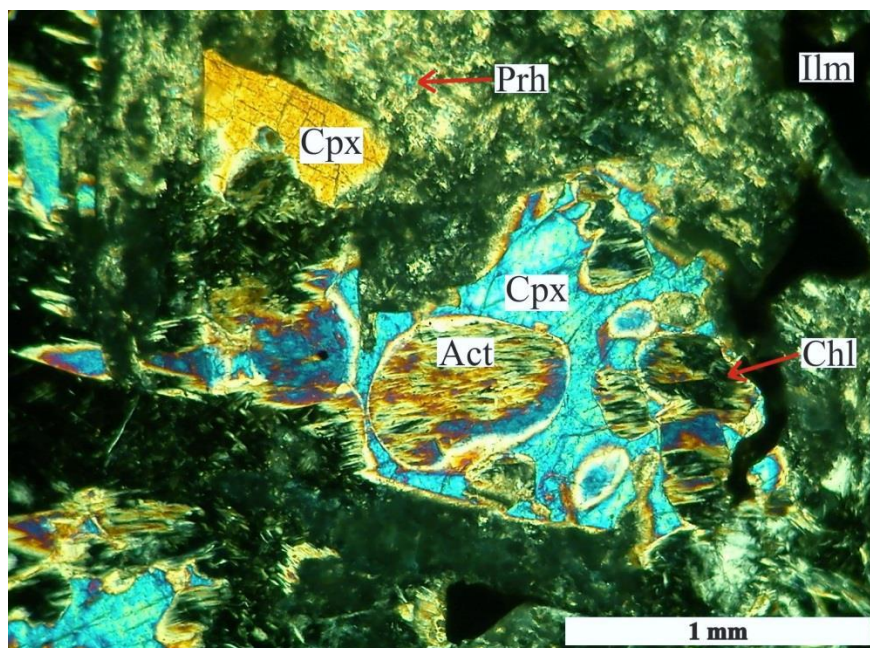
Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kao **dijabaz**.

Uzorak RL-5

Stijena ima ofitnu strukturu i homogenu teksturu. Primarnu mineralnu paragenezu stijene čine klinopiroksen, plagiokas, opâki mineral i akcesorni apatit. Stijena mjestimično sadrži i kvarc.

Klinopiroksen je alotriomorfna do hipidiomorfna dimenzija od 0,9 mm × 0,4 mm do 2,3 mm × 2,2 mm. Krupna zrna klinopiroksena uklapanjem štapića plagioklasa tvore ofitnu do

mjestimično poikilitnu strukturu. Klinopiroksen je bezbojan do blijedo smeđe osnovne boje i visokog reljefa. Odlikuju se dobro izraženom kalavošću i interferencijskim bojama do plave drugog reda te tamne koso pod kutevima do približno 45°. Pojedina su zrna klinopiroksena djelomično retrogradno izmijenjena u aktinolit, a mjestimično i u agregat klorita i epidota (Slika 6-26).

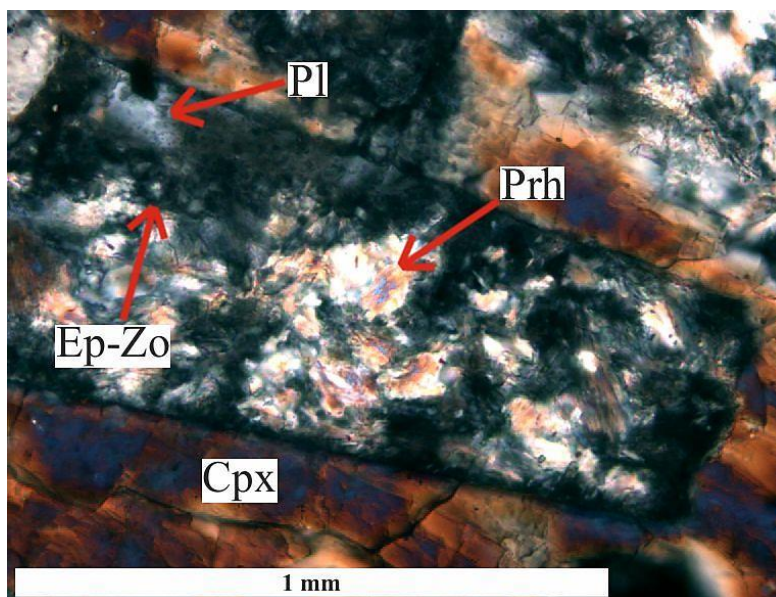


Slika 6-26. Mikrofotografija dijabaza (uzorak RL-5 s lokaliteta Radlovac; N+). Alteracija klinopiroksena u aktinolit i klorit. Act-aktinolit; Chl-klorit; Cpx-klinopiroksen; Ilm-ilmenit; Prh-prehnit.

Osim aktinolita, stijena sadrži i amfibol izraženog pleokroizma od svijetlo do tamnije smeđe boje te nešto višeg reljefa. Uočen je i poprečni presjek sa karakterističnom dvostrukom amfibolskom kalavošću. Vjerojatno je riječ o amfibolu koji je po sastavu blizak hornblendi, a također je nastao na retrogradnom metamorfozom klinopiroksena.

Štapići plagioklasa su hipidiomorfni i varijabilnih dimenzija od 0,08 mm × 0,02 mm do 2,2 mm × 0,6 mm. Intenzivno su alterirani uslijed čega se ne uočavaju polisintetske sraslačke lamele. Najčešći alteracijski produkti su minerali glina i minerali grupe epidota-coisita (Slika 6-27). U podređenoj mjeri, plagioklasi su retrogradno izmijenjeni u prehnit (Slika 6-27) te se često uz rubove zrna opažaju vlaknasti agregati sivih interferencijskih boja, vjerojatno je riječ o zeolitima.

Opâki mineral, najvjerojatnije ilmenit, je alotriomorfan do hipidiomorfan te mjestimično uklapa zrna plagioklasa. Pojedina zrna opâkog minerala su po rubovima djelomično izmijenjena u smeđe alteracijske produkte, najvjerojatnije leukoksen.



Slika 6-27. Mikrofotografija dijabaza (uzorak RL-5 s lokaliteta Radlovac; N+). Alteracija plagioklasa u prehnit i minerale grupe epidota-coisita. Cpx-klinopiroksen; Ep-Zo-minerali grupe epidota-coisita; Pl-plagioklas; Prh-prehnit.

Stijena sadrži manje količine kvarca. Alotriomorfna zrna kvarca su često asocirana s alteracijskim produktima klinopiroksena. Tamne blago undulozno te uklapaju alteracijske produkte primarnih minerala što upućuje da su sekundarnog podrijetla.

Akcesorni apatit se pojavljuje u formi bezbojnih poprečno prutanih štapića umjerenog reljefa, sivih interferencijskih boja i paralelnog potamnjenja.

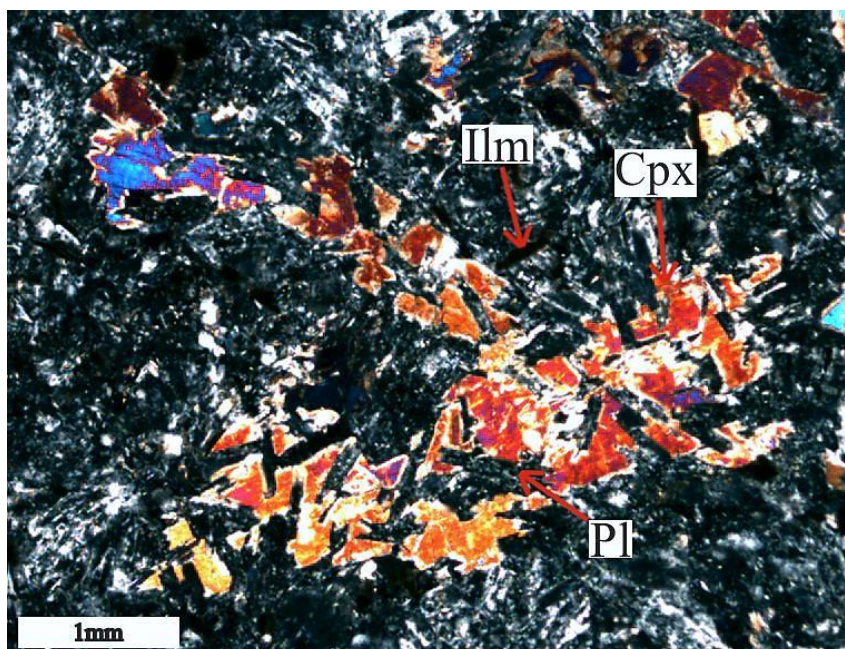
Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kao **dijabaz**.

Uzorak RL-6

Stijena ima ofitnu strukturu (Slika 6-28) i homogenu teksturu. Plagioklas, klinopiroksen, opâki mineral i rijetka zrna apatita tvore primarnu mineralnu paragenezu stijene. Stijena također sadrži manje količine kvarca.

Zrna plagioklasa su hipidiomorfna, štapićasta i isprepletena te znatno manjih dimenzija od klinopiroksena. Donju granicu veličine zrna je teško procijeniti zbog intenzivne alteracije

plagioklasa, no krupnija zrna dosežu dimenzije do $0,6 \text{ mm} \times 0,15 \text{ mm}$. Mjestimično su prepoznatljive polisintetske sraslačke lamele premda je većina zrna gotovo u potpunosti prekrivena sitnozrnatim smeđim agregatima minerala glina i minerala grupe epidota-coisita.



Slika 6-28. Mikrofotografija dijabaza (uzorak RL-6 s lokaliteta Radlovac; N+). Ofitna struktura. Cpx-klinopiroksen; Ilm-ilmenit; Pl-plagioklas.

Zrna klinopiroksena su relativno krupna, a imaju raspon dimenzija od $0,35 \text{ mm} \times 0,1 \text{ mm}$ do $3 \text{ mm} \times 1,25 \text{ mm}$. Klinopirokseni su svijetlo smeđe osnovne boje i odlikuju se visokim reljefom. Tamne koso pod kutevima do približno 45° i imaju interferencijske boje do plave drugog reda.

Većina zrna klinopiroksena je nealterirana, no neka uz rubove pokazuju djelomičnu retrogradnu izmjenu u aktinolit. Neka su zrna klinopiroksena također djelomično ili potpuno alterirana u agregat klorita, aktinolita i epidota.

Opâki mineral je hipidiomorfan, štapićast i isprepleten sa zrnima plagioklasa. Ponegdje se nalazi uklopljen u klinopiroksen. Na pojedinim zrnima se uočavaju češljaste forme karakteristične za ilmenit te je opâki mineral mjestimično obrubljen titanitom.

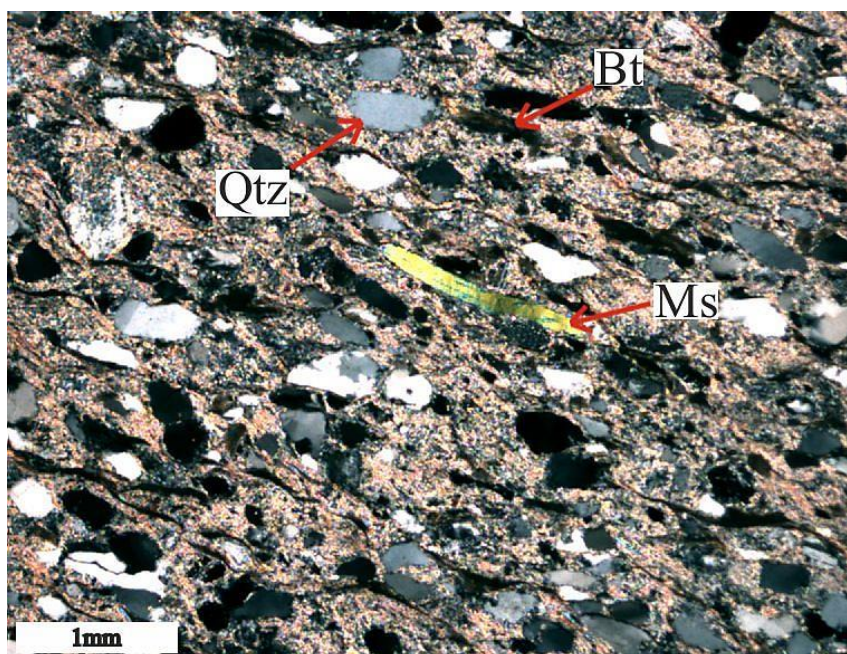
Zrna kvarca su alotriomorfna, većinom tamne undulozno i ispunjavaju intersticijalni prostor između štapića plagioklasa. Mjestimično uklapaju alteracijske produkte primarnih minerala zbog čega se smatra da je barem dio kvarca sekundaran.

Stijena sadrži akcesorni apatit te mikropukotine ispunjene mineralima grupe epidota-coisita, kvarcom i karbonatima.

Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kao **dijabaz**.

Uzorak RL-7

Stijena ima psamitno-klastičnu strukturu i škriljavu teksturu (Slika 6-29). Zrna kvarca čine glavninu klastičnog materijala, a stijena također sadrži klase feldspata i litičnih fragmenata. Zrna su relativno dobro sortirana i umjereno zaobljena. Vezivo stijene je sitnozrnati cement izgrađen od sericita, klorita, aktinolita i kvarca.



Slika 6-29. Mikrofotografija metapješčenjaka (uzorak RL-7 s lokaliteta Radlovac; N+).
Psamitno-klastična struktura i škriljava tekstura. Bt-biotit; Ms-muskovit; Qtz-kvarc.

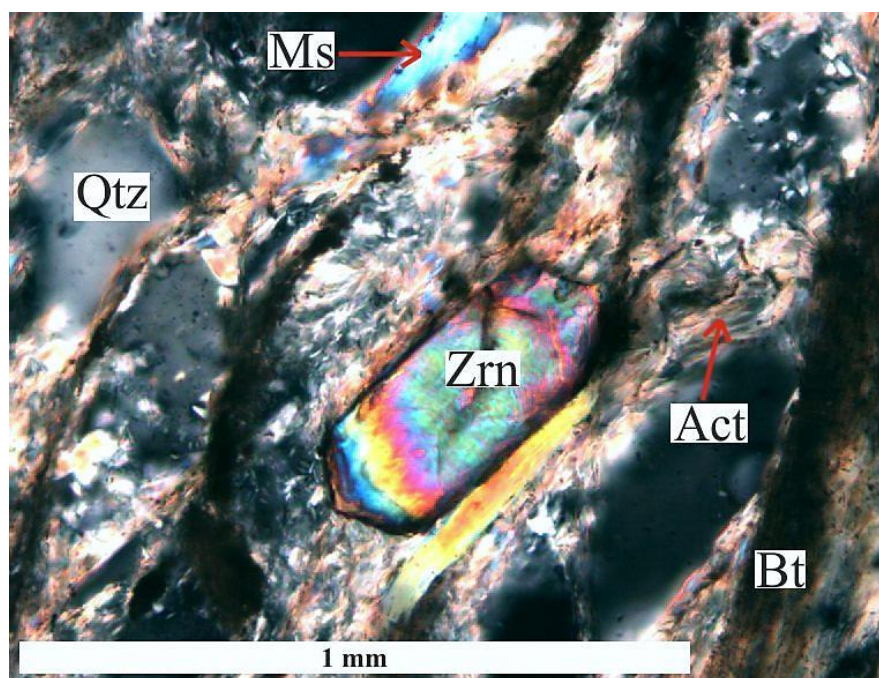
Zrna kvarca su dimenzija od 0,6 mm × 0,35 mm do 0,05 mm × 0,02 mm. Mnoga zrna imaju gotovo homogeno potamnjeno, premda pojedina tamne izrazito undulozno. Neka od njih su lećastog oblika i orijentirana u istom smjeru. U podređenoj količini u odnosu na kvarc, stijena sadrži litične fragmente kiselih intruzivnih stijena i sericitizirana zrna feldspata. Uočeni su i plagioklas i alkalijski feldspat.

Stijena sadrži muskovit i biotit koji su međusobno subparalelno orijentirani tvoreći tanke trake i dajući stijeni škriljavu teksturu. Muskovit je bezbojan, izražene pseudoapsorpcije i

visokih interferencijskih boja, dok se biotit prepoznaje po izraženom pleokroizmu u nijansama od svijetlo smeđe do tamnije smeđe boje.

U stijeni se mjestimično uočavaju agregati klorita koji su obično asocirani sa sitnozrnatim aktinolitom i epidotom. Ovakvi agregati predstavljaju alteracijske produkte femskih minerala.

Također su mjestimično uočena i bezbojna zrna akcesornog cirkona visokog reljefa, visokih interferencijskih boja i paralelnog potamnjenja (Slika 6-30).



Slika 6-30. Mikrofotografija metapješčenjaka (uzorak RL-7 s lokaliteta Radlovac; N+). Akcesorni cirkon. Act-aktinolit; Bt-biotit; Ms-muskovit; Qtz-kvarc; Zrn-cirkon.

Stijena dodatno sadrži opake minerale te mikropukotine čiji su središnji dijelovi ispunjeni kalcitom i kvarcom, dok se uz stijenke pukotina nalazi klorit.

Na temelju petrografskih karakteristika, stijena je klasificirana kao **metapješčenjak**.

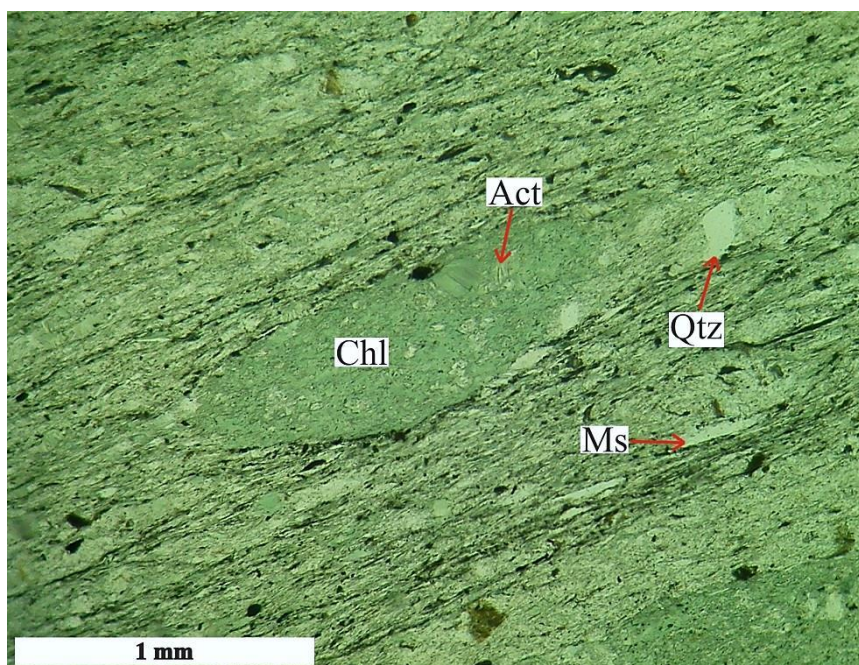
Uzorak RL-8

Stijena ima pelitno-klastičnu strukturu i škriljavu teksturu (Slika 6-31). Klastični materijal je dominantno dimenzija silta, no pojedini klasti kvarca dosežu dimenzije pijeska. Glavninu stijene izgrađuju sitnozrnati kvarc, paralelno orijentirane sitne iglice aktinolita i klorit.

Kрупnija zrna kvarca su veličina do $0,2 \text{ mm} \times 0,15 \text{ mm}$ te su relativno dobro zaobljena. Premda većina zrna tamni gotovo homogeno, pojedina imaju undulozno potamnjenje.

Aktinolit ima izražen pleokroizam od bezbojne do zelene boje, umjeren reljef, interferencijske boje do plave drugog reda te tamni koso pod malim kutevima. Klorit je prisutan u podređenoj količini u odnosu na aktinolit. Ima izražen pleokroizam u nijansama zelene boje, a razaznaje se od aktinolita prema anomalnim interferencijskim bojama. U stijeni su također prisutni i minerali grupe epidota-coisita.

Mjestimično se u stijeni nalaze lećaste forme ispunjene kloritom orijentirane u istom smjeru (Slika 6-31). Uz klorit, leće također sadrže aktinolit i kvarc u podređenoj količini te se u središnjim dijelovima pojedinih leća nalaze karbonatni minerali.



Slika 6-31. Mikrofotografija metapelita (uzorak RL-8 s lokaliteta Radlovac; N). Pelitno-klastična struktura i škriljava tekstura. Lećasta forma ispunjena kloritom. Act-aktinolit; Chl-klorit; Ms-muskovit; Qtz-kvarc.

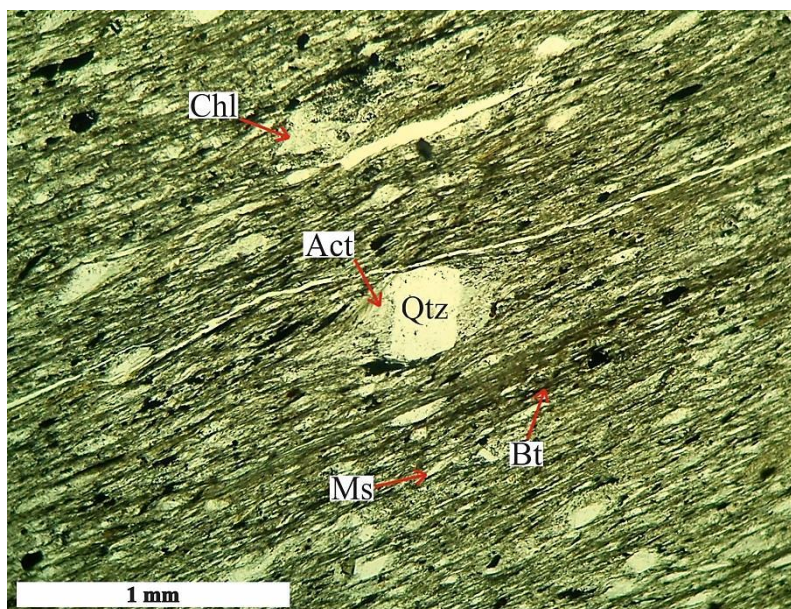
Stijena sadrži i relativno krupne listiće muskovita dimenzija do $0,28 \text{ mm} \times 0,03 \text{ mm}$ koji se jasno prepoznaju po izraženoj pseudoapsorpciji, visokim interferencijskim bojama i paralelnom potamnjenju. Pojedini listići muskovita su savijeni.

Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kako **metapelit**.

Uzorak RL-9

Stijena ima škriljavu teksturu i pelitno-klastičnu strukturu s klastičnim materijalom dominantno dimenzija silta (Slika 6-32). Stijena se sastoji od paralelno orijentiranih listića biotita te, u podređenoj mjeri, iglica aktinolita, listića klorita i sitnozrnatog kvarca. Zrna feldspata su vrlo rijetka. U stijeni se mjestimično uočavaju i krupniji klasti kvarca koji dosežu dimezije pijeska.

Zrna kvarca su varijabilnih veličina od dimenzija silta do krupnijih zrna koja dosežu dimenzije do $0,5 \text{ mm} \times 0,35 \text{ mm}$. Relativno su dobro zaobljena te većina zrna tamni gotovo homogeno, dok samo pojedina tamne undulozno. Stijena također u podređenoj količini sadrži i zrna feldspata dimenzija pijeska. Uz krupnije klase se često uočavaju tlačne sjene (Slika 6-32) i povijanje folijacije.



Slika 6-32. Mikrofotografija metapelita (uzorak RL-9 s lokaliteta Radlovac; N). Pelitno-klastična struktura i škriljava tekstura. Krupnije zrno kvarca s tlačnim sjenama. Act-aktinolit; Bt-biotit; Chl-klorit; Ms-muskovit; Qtz-kvarc.

Iglice aktinolita se odlikuju izraženim pleokroizmom od bezbojne do zelene boje i visokim interferencijskim bojama. Tamne koso pod vrlo malim kutevima. Aktinolit je mjestimice asociran s listićima biotita koji se prepoznaju po karakterističnom pleokroizmu od svijetlo smeđe do tamno smeđe boje i paralelnom potamnjenu. Uz aktinolit i biotit, stijena sadrži i klorit s pleokroizmom u nijansama svijetlo zelene boje.

U stijeni se uočavaju i bezbojni listići muskovita s izraženom pseudoapsorpcijom, visokim interferencijskim bojama i paralelnim potamnjem.

Stijena sadrži i značajne količine alotriomorfnih zrna opâkog minerala varijabilnih dimenzija. Opâki je mineral djelomično alteriran u crvenkasto-smeđi mineral, vjerojatno hematit.

Stijena je laminirana te su pojedine leće i lamine izrazito bogate biotitom, pojedine opâkim mineralom i hematitom, dok je u nekima klorit dominantan sastojak.

Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kao **metapelit**.

Uzorak RL-10

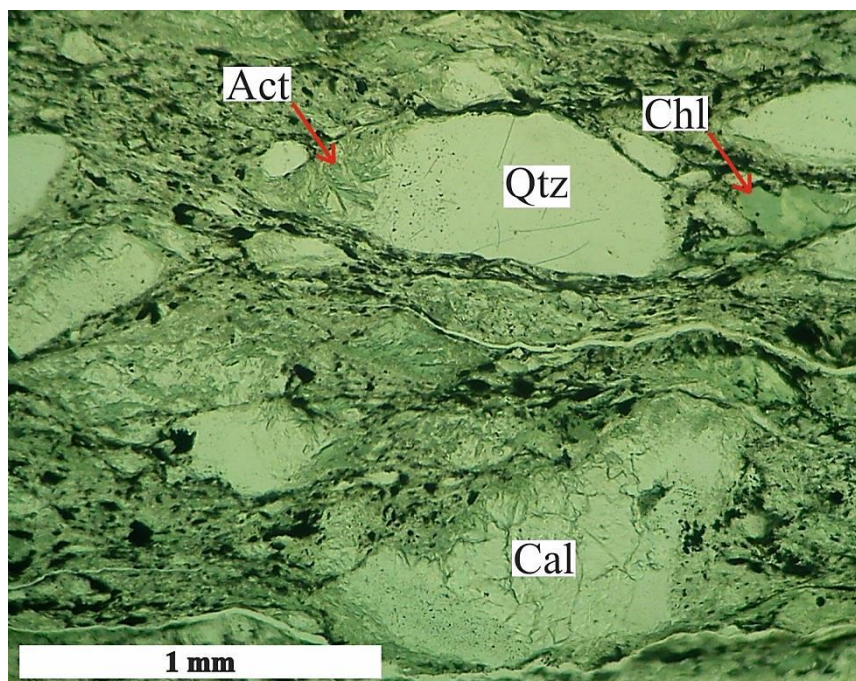
Stijena ima psamitno-klastičnu strukturu (Slika 6-33) i škrljavu teksturu. Klasti su relativno dobro zaobljeni, no vrlo su loše sortirani. Oko pojedinih krupnijih klasta se uočava blago povijanje folijacije uz rub zrna.

Najučestaliji klastični sastojak je kvarc, a u podređenoj količini stijena sadrži i klaste feldspata i litičnih fragmenata. Mjestimice se uočavaju i krupniji listići muskovita. Vezivo stijene čini sitnozrnati cement izgrađen od sericita, aktinolita i klorita.

U brojnim je klastima uočeno potiskivanje minerala kalcitom, kloritom i aktinolitom pri čemu se štapićasti aktinolit često nalazi uz rub zrna i orijentiran je prema središtu klasta, dok je središte ispunjeno karbonatnim mineralima (Slika 6-33).

Zrna kvarca su varijabilnih dimenzija od $1,5\text{ mm} \times 0,75\text{ mm}$ do $0,05\text{ mm} \times 0,025\text{ mm}$. Kvarc većinom ima blago undulozno potamnjenje te se u pojedinim zrnima uočava izdvajanje i rotacija više domena. Klasti feldspata su prisutni u podređenoj količini te stijena sadrži i plagioklase i alkaliske feldspate.

Stijena također sadrži litične fragmente u podređenoj količini u odnosu na kvarc, a riječ je o različitim krhotinama kiselih intruzivnih stijena. U pojedinim su litičnim fragmentima feldspati zamijenjeni karbonatima i aktinolitom, dok je kvarc ostao sačuvan.



Slika 6-33. Mikrofotografija metapješčenjaka (uzorak RL-10 s lokaliteta Radlovac; N).
*Psamitno-klastična struktura. Potiskivanje kvarcnih klasta kalcitom i aktinolitom. Act-aktinolit;
 Cal-kalcit; Chl-klorit; Qtz-kvarc.*

Stijena sadrži i brojne alotriomorfne opâke minerale koji su djelomično alterirali u mineral crvenkasto smeđe boje, vjerojatno hematit. Opâki minerali i hematit ispunjavaju pukotine u pojedinim klastima.

Na temelju petrografskih karakteristika stijena je klasificirana kao **metapješčenjak**.

6.2. KEMIJSKI SASTAV STIJENA

6.2.1. Sadržaji glavnih elemenata

Sadržaji glavnih elemenata u šest analiziranih uzoraka, po dva sa svakog lokaliteta, prikazani su u Tablici 6-1.

Tablica 6-1. Sadržaji glavnih elemenata u stijenama.

Uzorak	RD-5	RD-6	ČŠ-2	ČŠ-6	RL-1	RL-6
SiO ₂	55,76	55,01	56,63	56,90	48,17	49,67
Al ₂ O ₃	17,08	16,78	15,88	15,29	16,52	15,62
Fe ₂ O ₃	6,84	7,11	8,20	7,58	9,17	8,27
MgO	4,69	5,06	3,83	4,22	7,80	8,43
CaO	5,07	5,98	5,28	5,88	8,93	8,46
Na ₂ O	4,79	4,91	4,48	4,61	2,50	3,24
K ₂ O	1,21	0,85	1,66	1,16	1,06	0,02
TiO ₂	1,09	1,10	1,38	1,38	1,51	1,31
P ₂ O ₅	0,21	0,21	0,21	0,21	0,29	0,25
MnO	0,14	0,13	0,16	0,14	0,14	0,20
Cr ₂ O ₃	0,011	0,013	0,012	0,014	0,033	0,054
G. Ž.	2,9	2,6	2,0	2,4	3,6	4,2
Σ	99,80	99,81	99,81	99,80	99,75	99,72
TOT/C	0,06	0,03	<0,02	0,14	0,02	0,08
TOT/S	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02

Oznake: G. Ž. (gubitak žarenjem).

Uzorci bazičnih i metabazičnih stijena Radlovačkog kompleksa pronađeni na lokalitetima Radiša i Češljakovci sadrže između 56,90 tež. % (ČŠ-6) i 55,01 tež. % (RD-6) SiO₂, dok je udio SiO₂ u uzorcima iz kamenoloma Radlovac znatno niži (48,17 tež. % u RL-1 i 49,67 tež. % u RL-6). Stijene su bazičnog do neutralnog karaktera.

Udjeli Al₂O₃ u svim su uzorcima relativno ujednačeni s vrijednostima između 17,08 tež. % u uzorku RD-5 i 15,29 tež. % u ČŠ-6. Uzorci RD-6, RL-1, ČŠ-2 i RL-6 redom sadrže 16,78 tež. %, 16,52 tež. %, 15,88 tež. % i 15,62 tež. % Al₂O₃.

Uzorci RD-5 i RD-6 sadrže najmanje Fe₂O₃ (6,84 tež. % i 7,11 tež. %). Nešto viši sadržaj Fe₂O₃ imaju uzorci ČŠ-6 i ČŠ-2 (7,58 tež. % i 8,20 tež. %), dok su uzorci s lokaliteta Radlovac najbogatiji željezom sa 8,27 tež. % Fe₂O₃ u RL-6 i 9,17 tež. % u RL-1. Generalno, sadržaj željeza u bazitima i metabazitima Radlovačkog kompleksa postupno se povećava od središnjeg prema zapadnom dijelu stijenskog kompleksa.

Uzorci s lokaliteta Radiša i Češljakovci sadrže 3,82 tež. % (ČŠ–2), 4,22 tež. % (ČŠ–6), 4,69 tež. % (RD–5) i 5,06 tež. % (RD–6) MgO. Uzorci s lokaliteta Radlovac imaju znatno viši udio MgO (7,80 tež. % u RL–1 i 8,43 tež. % u uzroku RL–6).

Uzorci iz kamenoloma Radlovac također sadrže najviše kalcija (8,46 tež. % CaO u RL–6 i 8,93 tež. % u RL–1), dok udjeli CaO u uzorcima s lokaliteta Radiša i Češljakovci iznose između 5,98 tež. % (RD–6) i 5,07 tež. % (RD–5).

Udio Na₂O u uzorcima s lokaliteta Radiša i Češljakovci je ujednačen, između 4,48 tež. % (ČŠ–2) i 4,91 tež. % (RD–6), dok su uzorci RL–1 i RL–6 karakterizirani nižim sadržajima Na₂O (2,50 tež. % i 3,24 tež. %).

Udjeli K₂O u uzorcima RD–6, RL–1, ČŠ–6, RD–5 i ČŠ–2 redom iznose 0,85 tež. %, 1,06 tež. %, 1,16 tež. %, 1,21 tež. % i 1,66 tež. %. Izuzetak je uzorak RL–6 koji sadrži samo 0,02 tež. % K₂O.

Sadržaj TiO₂ u uzorcima varira između 1,51 tež. % (RL–1) i 1,09 tež. % (RD–5).

Uzorci RD–5, RD–6, ČŠ–2 i ČŠ–6 sadrže 0,21 tež. % P₂O₅, dok je sadržaj P₂O₅ u uzorcima iz kamenoloma Radlovac nešto viši sa 0,29 tež. % (RL–1) i 0,25 tež. % (RL–6).

Udjeli MnO u uzorcima iznose od 0,13 tež. % (RD–6) do 0,20 tež. % (RL–6).

Sadržaj Cr₂O₃ je niži u uzorcima s lokaliteta Radiša i Češljakovci te iznosi između 0,011 tež. % (RD–5) i 0,014 tež. % (ČŠ–6), dok uzorci iz kamenoloma Radlovac sadrže 0,033 tež. % (RL–1) i 0,054 tež. % (RL–6) Cr₂O₃.

Gubitak žarenjem, analiziran nakon žarenja uzoraka na 1000 °C, iznosi između 2,0 tež. % (ČŠ–2) i 2,9 tež. % (RD–5) u uzorcima s lokaliteta Radlovac i Češljakovci, i može se pripisati hidroksilnim skupinama prisutnim u različitim sekundarnim mineralima poput amfibola, klorita, minerala grupe epidota-coisita, prehnita i, u manjoj mjeri, u primarnom apatitu. Uzorci s lokaliteta Radlovac, uz sve prethodno navedene sekundarne minerale, dodatno sadrže minerale glina i zeolite te imaju veći gubitak žarenjem (3,6 tež. % u RL–1 i 4,2 tež. % u RL–6).

U odnosu na stijene s lokaliteta Radiša i Češljakovci, baziti iz kamenoloma Radlovac su obogaćeni s Fe, Mg, Ca, Cr i P te osiromašeni s Na. Također sadrže znatno manji udio SiO₂. Premda postoje određene razlike između uzoraka iz kamenoloma Radlovac i uzoraka

sa preostala dva lokaliteta, istraživane bazične i metabazične stijene Radlovačkog kompleksa imaju relativno ujednačene sadržaje glavnih elemenata.

6.2.2. Koncentracije elemenata u tragovima

Koncentracije elemenata u tragovima prikazane su u Tablici 6-2. te su izražene u ppm-ima (*parts per million*). Jedino su koncentracije zlata, koje su u analiziranim stijenama vrlo niske, prikazane u ppb-ima (*parts per billion*).

Tablica 6-2. Koncentracije elemenata u tragovima.

Uzorak	RD-5	RD-6	ČŠ-2	ČŠ-6	RL-1	RL-6
Ba	354	224	455	310	230	86
Sc	18	19	26	25	21	25
Be	2	2	3	2	2	2
Co	21,3	24,5	19,9	15,5	37,4	36,4
Cs	2,0	1,7	1,9	0,8	1,9	0,2
Ga	18,9	18,4	18,9	16,0	15,9	15,3
Hf	4,2	4,3	6,7	5,0	4,1	4,2
Nb	8,4	8,2	10,6	8,4	9,5	9,9
Rb	42,5	30,0	55,4	36,2	25,3	0,8
Sn	1	1	3	2	1	<1
Sr	431,6	348,0	275,5	286,2	412,0	433,9
Ta	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6	0,6
Th	5,6	5,2	7,2	5,6	2,1	3,8
U	1,7	1,8	2,2	1,6	0,5	0,9
V	131	148	163	172	156	177
W	0,8	0,6	0,9	0,6	<0,5	<0,5
Zr	168,1	168,6	264,6	207,9	179,8	174,9
Y	22,8	24,4	41,5	35,4	26,8	26,6
Mo	0,8	0,8	0,2	0,2	0,4	0,2
Cu	6,9	12,2	14,6	44,6	23,7	30,4
Pb	13,5	1,2	5,4	3,2	1,6	4,8
Zn	76	58	41	48	54	56
Ni	13,7	15,1	3,9	5,8	75,0	134,8
As	16,1	16,3	3,0	3,7	7,5	3,9
Cd	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sb	0,5	0,4	0,1	0,2	0,1	0,4
Bi	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ag	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Au	1,3	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Hg	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tl	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Se	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5

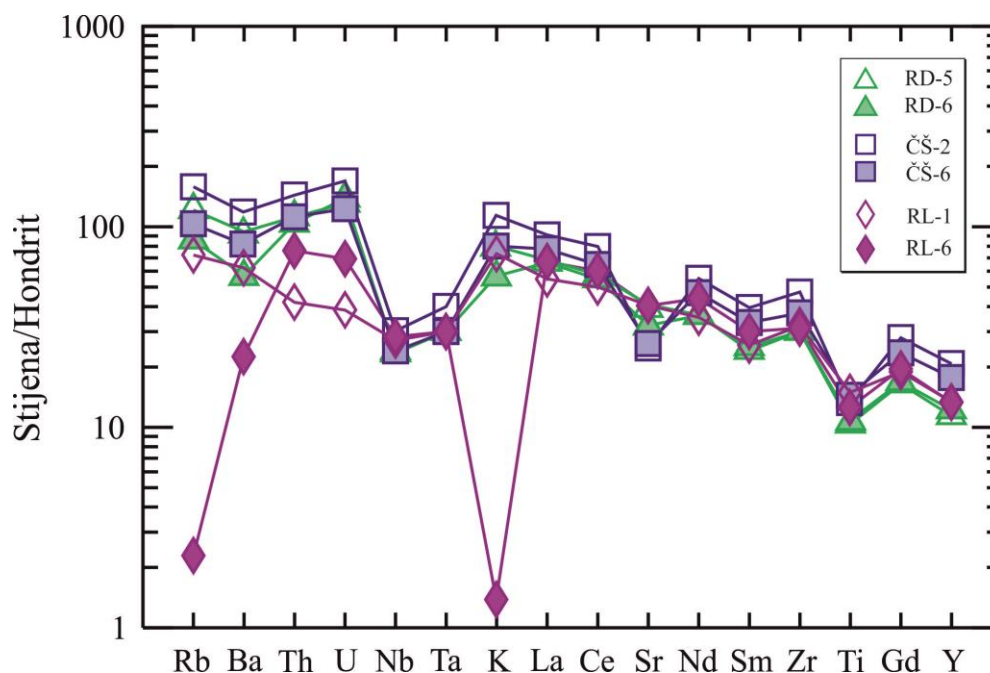
Tablica 6-2. Koncentracije elemenata u tragovima (nastavak tablice).

Uzorak	RD-5	RD-6	ČŠ-2	ČŠ-6	RL-1	RL-6
La	21,5	20,9	28,7	24,4	17,3	21,1
Ce	46,8	44,6	64,8	52,6	40,7	49,0
Pr	5,59	5,43	8,19	6,64	5,11	6,30
Nd	21,7	21,5	33,0	28,0	21,1	26,2
Sm	4,63	4,83	7,59	6,39	4,93	5,76
Eu	1,13	1,25	1,88	1,63	1,64	1,66
Gd	4,60	4,72	7,83	6,58	5,29	5,47
Tb	0,68	0,72	1,20	1,02	0,79	0,82
Dy	4,08	4,52	7,62	6,13	4,99	4,65
Ho	0,82	0,90	1,53	1,22	0,98	0,97
Er	2,36	2,54	4,47	3,74	2,84	2,76
Tm	0,35	0,36	0,63	0,52	0,39	0,40
Yb	2,21	2,34	3,97	3,33	2,48	2,56
Lu	0,35	0,36	0,63	0,51	0,40	0,39
Eu/Eu*	0,75	0,80	0,75	0,77	0,98	0,90
La_N/Yb_N	6,98	6,41	5,19	5,26	5,00	5,91
Th/Yb	2,53	2,22	1,81	1,68	0,85	1,48
Nb/Y	0,37	0,34	0,26	0,24	0,35	0,37

6.2.2.1. Spider dijagram

Koncentracije elemenata u tragovima izmjerene u uzorcima bazičnih i metabazičnih stijena Radlovačkog kompleksa normalizirane su na hondritni meteorit, a normalizacijske vrijednosti preuzete su od Sun (1980). Raspodjela elemenata u tragovima prikazana je na Slici 6-34.

Svi analizirani uzorci, uz izuzetak RL-6, obogaćeni su elementima u tragovima u odnosu na hondritni meteorit 10 do 110 puta. Raspodjela elemenata u tragovima u uzorku RL-1 te uzorcima s lokaliteta Radiša i Češljakovci gotovo je identična. Krivulje normaliziranih koncentracija elemenata u tragovima svih uzoraka na Spider dijagramu imaju skokovit trend sa dobro izraženom negativnom Nb-Ta anomalijom. Također se opažaju i manje izražene negativne anomalije Sr i Ti. Negativna anomalija Sr najviše je izražena u uzorcima s lokaliteta Češljakovci, a gotovo je zanemariva u uzorcima iz kamenoloma Radlovac. Stijene su, u odnosu na hondritni meteorit, znatno više obogaćene mobilnijim elementima (Rb, Ba, Th, U i K) koji su smješteni na lijevoj, a u manjoj mjeri imobilnim elementima koji se nalaze na desnoj strani dijagrama (Rollinson, 1993).



Slika 6-34. Spider dijagram bazičnih i metabazičnih stijena Radlovačkog kompleksa. Koncentracije elemenata u tragovima normalizirane su na hondritni meteorit. Normalizacijske vrijednosti preuzete su od Sun (1980).

RL-6 je u odnosu na druge uzorke izrazito osiromašen K, Rb i Ba. Kada se izuzme osiromašenje ovim relativno mobilnim elementima, prema sadržaju ostalih elemenata u tragovima, RL-6 je vrlo sličan uzorcima RD-5, RD-6, ČŠ-2, ČŠ-6 i RL-1.

Uzorci iz kamenoloma Radlovac sadrže više koncentracije Ni i Co (Tablica 6-2) te su u manjoj mjeri osiromašeni U, Th i Rb (Slika 6-34) u usporedbi s uzorcima s lokaliteta Radiša i Češljakovci.

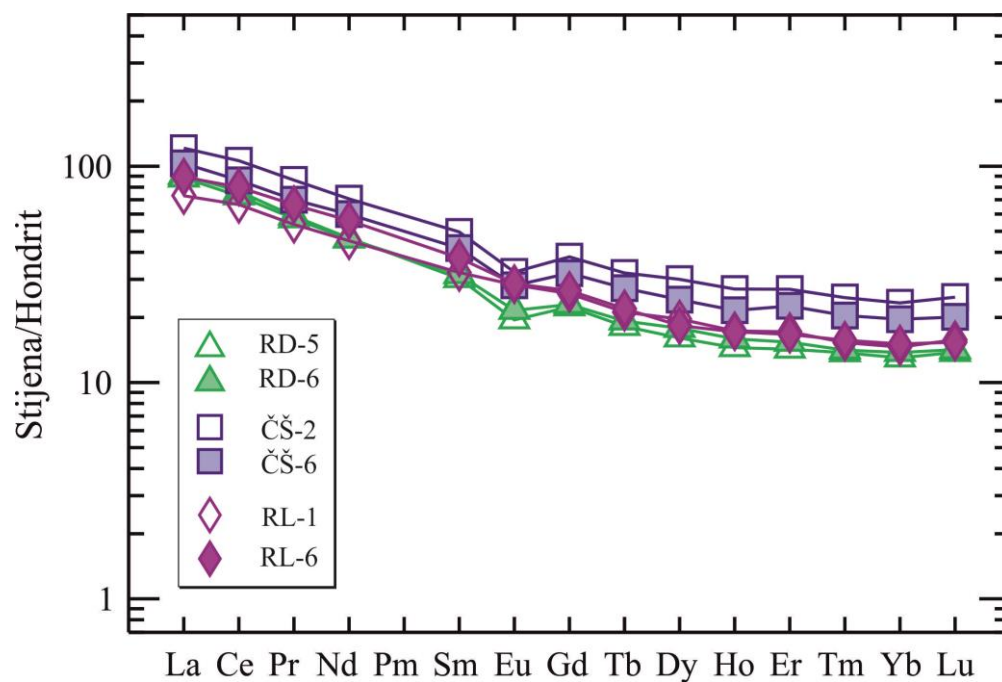
6.2.2.2. REE dijagram

Koncentracije elemenata rijetkih zemalja normalizirane su prema podacima kemijskog sastava hondritnog meteorita preuzetim od Sun & McDonough (1989), a njihova je raspodjela prikazana na Slici 6-35.

Uzorci uzeti s tri različita lokaliteta imaju međusobno sličnu raspodjelu elemenata rijetkih zemalja te su obogaćeni s REE 15 do 105 puta u odnosu na hondritni meteorit.

Analizirani uzorci bazičnih i metabazičnih stijena Radlovačkog kompleksa izrazito su obogaćeni s LREE, te se normalizirane koncentracije rijetkih zemalja postupno snižavaju s lijeva na desno na dijagramu, tj. od lakih prema teškim elementima rijetkih zemalja. Omjeri $(La/Yb)_N$, koji se ponekad koriste kao mjera za izražavanje obogaćenja lakim

rijetkim zemljama, su u analiziranim uzorcima visoki, a iznose između 6,98 i 5,00 (Tablica 6-2).



Slika 6-35. REE dijagram bazičnih i metabazičnih stijena Radlovačkog kompleksa. Koncentracije elemenata rijetkih zemalja normalizirane su na hondritni meteorit. Normalizacijske vrijednosti preuzete su od Sun & McDonough (1989).

Stijene pokazuju negativnu europsku anomaliju koja je najslabije izražena u uzorcima iz kamenoloma Radlovac. Eu/Eu^* u uzorcima RD-5, RD-6, ČŠ-2, ČŠ-6, RL-1 i RL-6 redom iznosi 0,75, 0,80, 0,75, 0,77, 0,98 te 0,90.

7. DISKUSIJA

7.1. NAČIN POJAVLJIVANJA I PETROGRAFSKE ZNAČAJKE STIJENA

Radlovački kompleks, smješten u središnjem dijelu Papuka, je transgresivan na stijene Psunjskog kompleksa, a u tektonskom je kontaktu s Papučkim kompleksom (Jamičić, 1988). Izgrađen je dominantno od metapješčenjaka u izmjeni sa metapelitima. Na temelju paleontoloških nalaza (Brkić et al., 1974) i izotopnog datiranja detritičnih monacita (Biševac et al., 2013) može se pretpostaviti da su metasedimenti Radlovačkog kompleksa vjerojatno karbonske starosti, premda pojedini autori (Poljak, 1952; Jerinić et al., 1994) upućuju na prisutnost starijih silurskih fosila.

Istraživani dijabazi i metadijabazi pojavljuju se u obliku većih nepravilnih magmatskih tijela i silova varijabilnih debljina (od nekoliko m do više od 100 m) unutar Radlovačkog kompleksa (Jamičić et al., 1987). Na lokalitetu Češljakovci metabaziti izgrađuju niz kupolastih formi koje bi mogle predstavljati reliktni izvorni pojavni oblik dijabaza, vjerojatno lakolit s erodiranom krovinom, premda su takve forme moguće i odraz površinskog trošenja stijena. Na pojedinim lokalitetima uočen je kontaktni metamorfizam okolnih metasedimenata u kvarcite te su pronađeni ksenoliti metapelita u dijabazima i metadijabazima (Pamić & Jamičić, 1986, s pripadajućim referencama).

Zeleni škriljavci s reliktnim magmatskim strukturama, koji se mjestimično nalaze uz kontakt dijabaza i okolnih stijena, vjerojatno su posljedica djelovanja regionalnog metamorfizma kojim su izmijenjeni rubni dijelovi magmatskih tijela. Novija istraživanja dokazuju da su stijene Radlovačkog kompleksa bile izložne metamorfizmu vrlo niskog do niskog stupnja (Biševac et al., 2009) tijekom gornje krede (Biševac et al., 2010), a nije potpuno isključena ni mogućnost ranijeg metamorfnog događaja krajem hercinske orogeneze.

Bazične i metabazične stijene Radlovačkog kompleksa su homogene do mjestimično trakaste teksture sa varijabilnom krupnoćom zrna. Uzorci stijena uzeti s lokaliteta Radiša su izrazito sitnozrnati, dok su uzorci iz kamenoloma Radlovac krupnozrnati te bi se alternativno mogli klasificirati kao ofitni mikrogabro. Pamić & Jamičić (1986) varijabilnost u krupnoći zrna povezuju s debljinom pojedinih magmatskih tijela. Oni navode da su dijabazi generalno krupnozrnatiji u većim magmatskim tijelima, dok u tanjim silovima, poput onih u okolini potoka Velince u zapadnom dijelu Radlovačkog kompleksa,

prevladavaju sitnozrnati varijeteti. Također primjećuju da krupnoća zrna varira i unutar pojedinih silova te da su dijabazi najsitnozrnatiji uz kontakt s okolnim metasedimentima što objašnjavaju bržim hlađenjem magme u rubnim dijelovima magmatskog tijela. Na temelju izloženog, čini se da u istočnom dijelu Radlovačkog kompleksa, u okolici kamenoloma Radlovac, prevladavaju veća magmatska tijela s krupnozrnatim varijetetima dijabaza te da se debljina magmatskih tijela i krupnoća zrna postupno smanjuju prema zapadu. Ipak, ovu bi pretpostavku trebalo provjeriti dodatnim terenskim istraživanjem.

Bazične i metabazične stijene Radlovačkog kompleksa pokazuju širok spektar strukturnih karakteristika. Polarizacijskom mikroskopijom utvrđeni su varijeteti s ofitnom, intergranularnom i porfirnom strukturom. Uzorci iz kamenoloma Radlovac odlikuju se ofitnom strukturom, dok su dijabazi s lokaliteta Radiša i Češljakovci intergranularni do porfirni. Ovo je u skladu s opažanjem Pamića & Jamičića (1986) koji navode da krupnozrnati varijeteti, koji se nalaze u središnjim dijelovima većih magmatskih tijela, imaju ofitne strukture, dok su u rubnim dijelovima većih magmatskih tijela i tanjim silovima zastupljeni dijabazi intergranularne i porfirne strukture. Na pojedinim lokalitetima, poput Češljakovaca, magmatske su stijene djelomično metamorfozirane te dodatno pokazuju granonematoblastičnu strukturu.

Plagioklas, klinopiroksen, opâki mineral (vjerojatno ilmenit) i akcesorni apatit predstavljaju primarnu mineralnu paragenezu dijabaza i metadijabaza. Apatit je učestaliji u uzorcima iz kamenoloma Radlovac nego u metadijabazima s lokaliteta Radiša i Češljakovci. Također su uočeni i rijetki ksenokristali cirkona.

Stijene su u različitoj mjeri metamorfozirane i izložene površinskom trošenju te često sadrže više od jedne sekundarne mineralne parageneze.

Uočena je alteracija plagioklasa u minerale grupe epidota-coisita, prehnit, minerale glina, kalцит te zeolite, dok je klinopiroksen retrogradno izmijenjen u amfibol sastava sličnog hornblendi, aktinolit, klorit i epidot. Ilmenit je često obrubljen titanitom koji je djelomično alteriran u leukoksen.

Dijabazi i metadijabazi sadrže značajnu količinu kvarca koji ispunjava intersticijalni prostor između klinopiroksena i plagioklasa. Zbog uočenog uklapanja alteracijskih produkata plagioklasa i klinopiroksena u zrnima kvarca, pretpostavlja se da je kvarc sekundaran, premda se prisutnost primarnog magmatskog kvarca također ne može posve

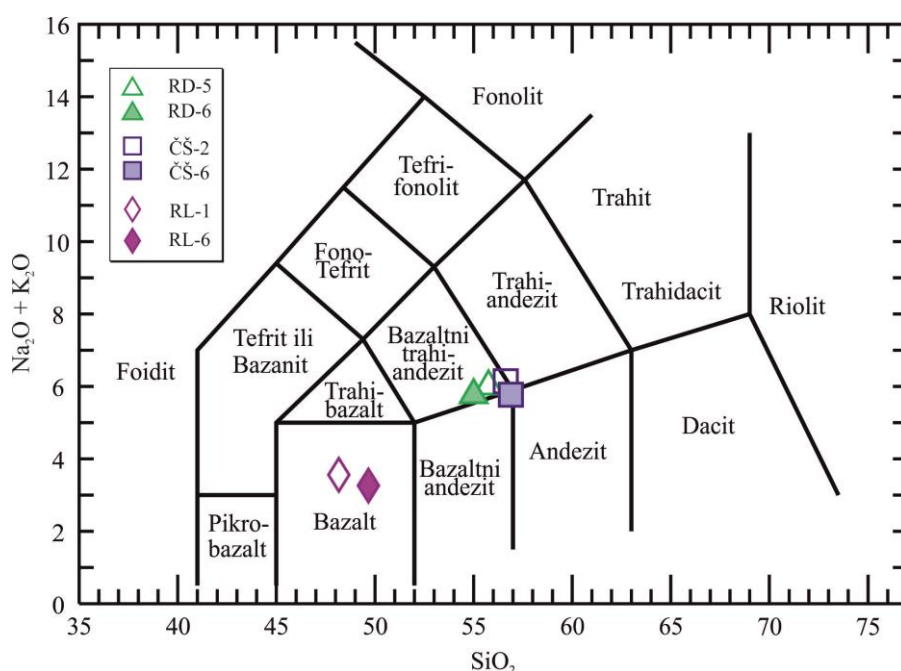
isključiti. Kvarc je učestaliji u stijenama s lokaliteta Radiša i Češljakovci, koje su jače metamorfozirane, nego u uzorcima iz kamenoloma Radlovac.

U istraživanim stijenama je često dobro razvijen klivaž koji u pravilu ima sličnu orijentaciju kao i folijacija u okolnim metasedimentima te dijabazi i metadijabazi sadrže brojne pukotine ispunjene sekundarnim kvarcom, karbonatima, albitom, kloritom i mineralima grupe epidota-coisita.

7.2. KEMIJSKA KLASIFIKACIJA STIJENA

Osim u sadržaju sekundarnog kvarca, krupnoći zrna, strukturi i manjim razlikama u mineralnom sastavu produkata trošenja, uzorci iz kamenoloma Radlovac drugačiji su od onih s lokaliteta Radiša i Češljakovci i prema pojedinim kemijskim karakteristikama. Oni su bogatiji željezom, magnezijem, kalcijem, kromom, niklom, kobaltom i fosforom, a siromašniji natrijem, rubidijem, uranom i torijem u usporedbi s uzorcima s lokaliteta Radiša i Češljakovci.

U TAS dijagramu s poljima prema LeBas et al. (1986) uzorci iz kamenoloma Radlovac (RL) projiciraju se u područje bazalta (Slika 7-1). Uzorci s lokaliteta Radiša (RD) projicirani su u granično područje između bazaltnih andezita i bazaltnih trahiandezita, a uzorci iz Češljakovaca (ČŠ) u područje gdje se spajaju polja bazaltnih andezita, bazaltnih trahiandezita, andezita i trahiandezita (Slika 7-1).

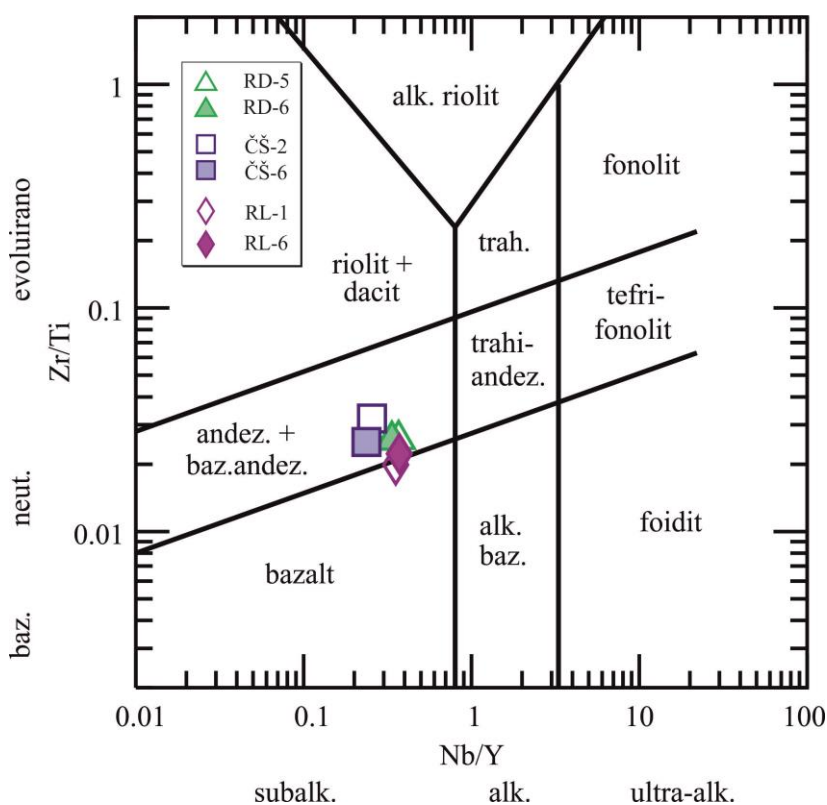


Slika 7-1. TAS dijagram s poljima prema LeBas et al. (1986).

Treba uzeti u obzir da se zbog prisutnosti sekundarnog kvarca stijene projiciraju u polja s višim vrijednostima SiO_2 . Ovo osobito vrijedi za uzorke s lokaliteta Radiša i Češljakovci koji sadrže više kvarca od uzoraka iz Radlovca, premda nije isključeno da su uzorci iz kamenoloma Radlovac i izvorno sadržavali manji udio SiO_2 .

U primjeni TAS dijagrama za klasifikaciju bazita i metabazita Radlovačkog kompleksa potreban je dodatan oprez zbog visoke mobilnosti alkalijskih elemenata prilikom metamorfnih procesa (Rollinson, 1993).

Klasifikacijski dijagram Zr/Ti-Nb/Y prema Pearce (1996), koji kao varijable koristi omjere imobilnih elemenata u tragovima, smatra se mnogo pouzdanijim u klasifikaciji alteriranih i metamorfoziranih stijena. U Zr/Ti-Nb/Y dijagramu uzorci RD-5, RD-6, ČŠ-2 i ČŠ-6 projiciraju se u polje andezita i bazaltnih andezita, dok se RL-1 i RL-6 nalaze u graničnom području između andezita, bazaltnih andezita i bazalta (Slika 7-2).



Slika 7-2. Klasifikacijski dijagram Zr/Ti-Nb/Y prema Pearce (1996).

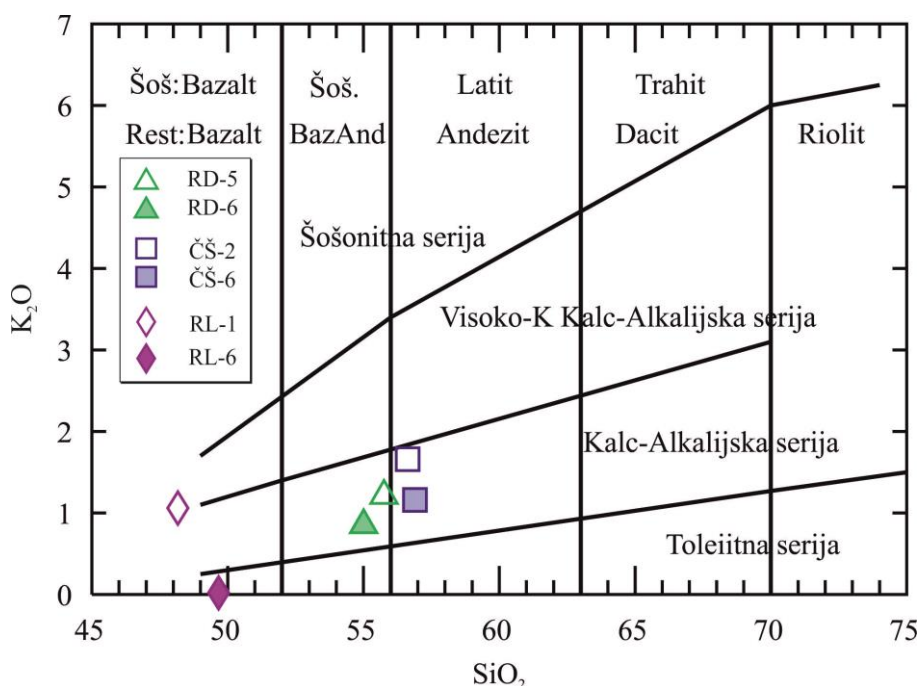
Dodatno, niski omjeri Nb/Y svih analiziranih uzoraka (0,2–0,4) upućuju da je riječ o stijenama subalkalijske serije.

Na temelju petrografskih značajki, baziti i metabaziti Radlovačkog kompleksa su klasificirani kao dijabazi i metadijabazi, dok prema kemijskim karakteristikama oni odgovaraju bazaltnim andezitima.

7.3. ODREĐIVANJE MAGMATSKE SERIJE

U diskriminacijskom dijagramu K_2O-SiO_2 prema Le Maitre et al. (1989) stijene subalkalijske serije dodatno su prema sadržaju kalija svrstane u toleilitnu, kalcijsko-alkalijsku, visoko-K-kalcijsko-alkalijsku ili šošonitnu seriju.

Uzorci ČŠ-2 i ČŠ-6 projiciraju se u polje kalcijsko-alkalijskih andezita, dok su RD-5 i RD-6 klasificirani kao kalcijsko-alkalijski bazaltni andeziti. Uzorak RL-1 projiciran je na granicu između visoko-K-kalcijsko-alkalijskih i kalcijsko-alkalijskih bazalta (Slika 7-3).

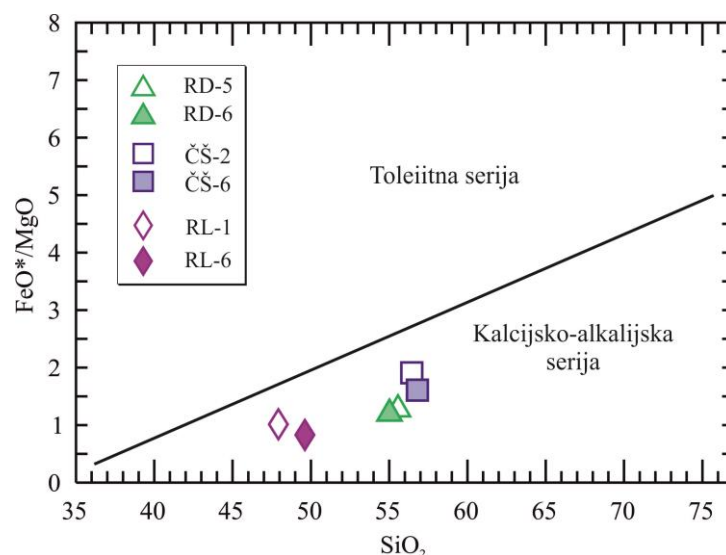


Slika 7-3. Diskriminacijski dijagram K_2O-SiO_2 prema Le Maitre et al. (1989).

Zbog vrlo niskog udjela K_2O , uzorak RL-6 se projicira u područje toleilitnih bazalta. Međutim, osiromašenje uzorka RL-6 kalijem, barijem i rubidijem vjerojatno nije njegova primarna karakteristika, već rezultat naknadne metasomatske promjene te se ne smije uzimati u obzir prilikom interpretacije.

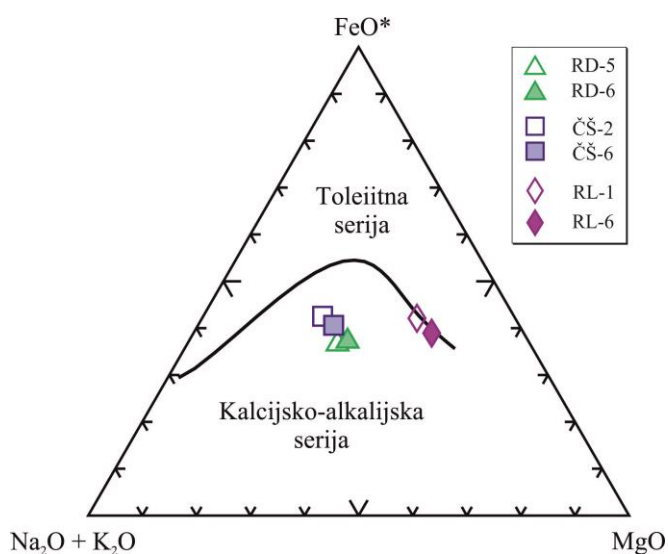
Za diskriminaciju toleilitne i kalcijsko-alkalijske serije često se koriste $FeO^*/MgO-SiO_2$ dijagram prema Miyashiro (1975) te AFM dijagram.

U $\text{FeO}^*/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ dijagramu (Miyashiro, 1975) svi se uzorci projiciraju u područje kalcijsko-alkalijske serije (Slika 7-4). Ipak, treba uzeti u obzir da bi se korekcijom za udio sekundarnog kvarca u stijenama, uzorci vjerojatno projicirali nešto bliže graničnom području između toleiitne i kalcijsko-alkalijske serije.



Slika 7-4. Dijagram $\text{FeO}^*/\text{MgO}-\text{SiO}_2$ prema Miyashiro (1975). Preračunavanje Fe_2O_3 u FeO^* : $\text{FeO}^* = 0,89981 \times \text{Fe}_2\text{O}_3$.

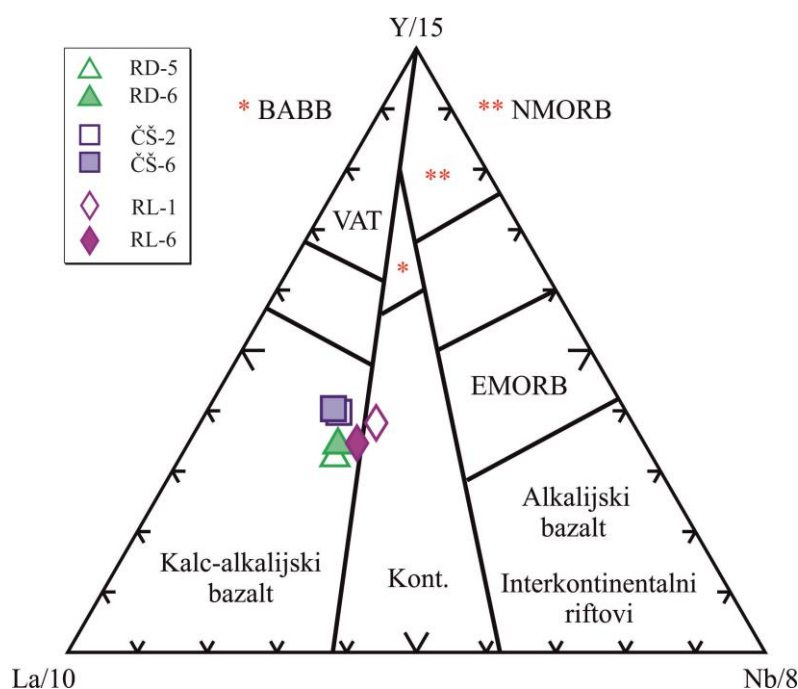
U AFM dijagramu s poljima prema Irvine & Baragar (1971) uzorci s lokaliteta Radiša (RD) i Češljakovci (ČŠ) projiciraju se u polje stijena kalcijsko-alkalijske serije, a uzorci iz kamenoloma Radlovac (RL) u granično područje između toleiitne i kalcijsko-alkalijske serije (Slika 7-5).



Slika 7-5. AFM dijagram s poljima prema Irvine & Baragar (1971). Preračunavanje Fe_2O_3 u FeO^* : $\text{FeO}^* = 0,89981 \times \text{Fe}_2\text{O}_3$.

Dosada prikazani dijagrami koriste udjele glavnih elemenata kao varijable za razlikovanje stijena toleitične i kalcijsko-alkalijske serije.

U dijagramu Y/15–Nb/8–La/10 prema Cabanis & Lecolle (1989), koji diskriminira bazalte na temelju koncentracija elemenata u tragovima, uzorci RD-5, RD-6, ČŠ-2 i ČŠ-6 projiciraju se u polje kalcijsko-alkalijskih bazalta. Uzorak RL-6 projiciran je u granično područje kalcijsko-alkalijskih i kontinentalnih, a RL-1 u polje kontinentalnih bazalta (Slika 7-6).



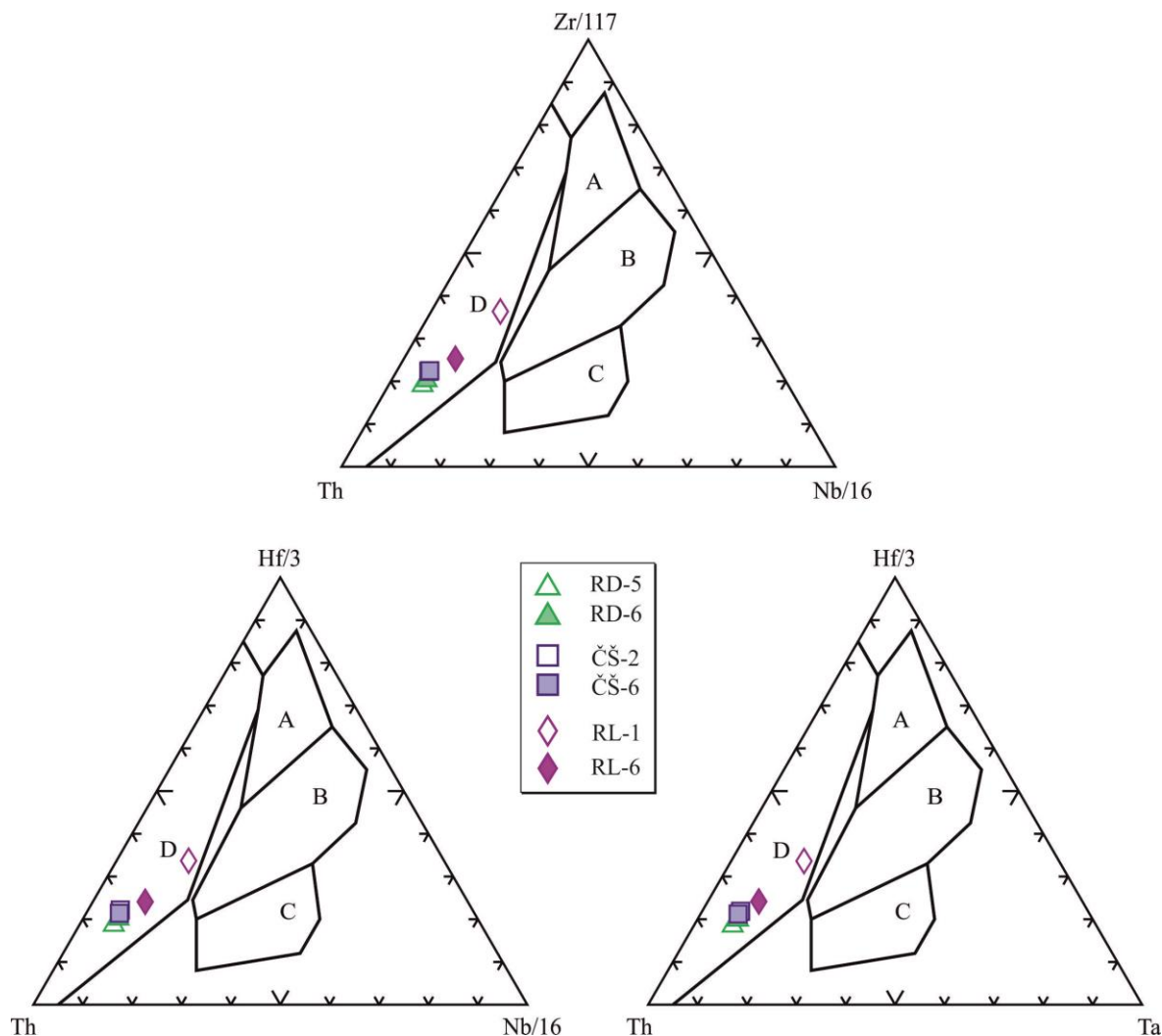
Slika 7-6. Diskriminacijski dijagram La/10-Y/15-Nb/8 prema Cabanis & Lecolle (1989).

Dijabazi i metadijabazi Radlovačkog kompleksa pripadaju kalcijsko-alkalijskoj seriji stijena. Obogaćenje lakim REE s omjerom La_N/Yb_N između 6,98 i 5,00, koje je uobičajena karakteristika kalcijsko-alkalijskih stijena (Wilson, 1989; Arculus, 2003), dodatno potvrđuje ovaj zaključak.

Treba napomenuti da Pamić & Jamičić (1986) smatraju da istraživane stijene pripadaju toleitičnoj seriji, a svoje mišljenje temelje na normativnom sastavu dijabaza i metadijabaza koji sadrži 20% do 30 % hiperstena.

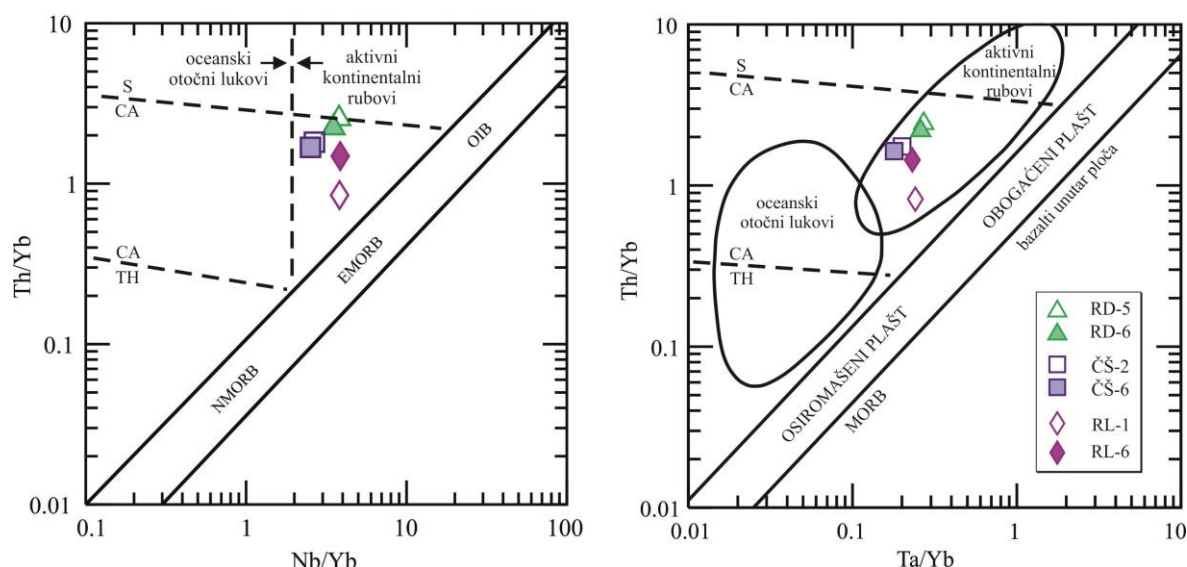
7.4. ODREĐIVANJE GEOTEKTONSKOG POLOŽAJA

Za određivanje geotektonskog položaja formiranja magme upotrijebljeni su diskriminacijski dijagrami $Zr/117-Nb/16-Th$, $Hf/3-Nb/16-Th$ i $Hf/3-Ta-Th$ prema Wood (1980). U sva se tri dijagrama bazične i metabazične stijene Radlovačkog kompleksa projiciraju u polje bazalta vulkanskih lukova (Slika 7-7).



Slika 7-7. Diskriminacijski dijagrami $Zr/117-Nb/16-Th$, $Hf/3-Nb/16-Th$ i $Hf/3-Ta-Th$ prema Wood (1980). A=N-MORB (Normal Mid Ocean Ridge Basalt); B=E-MORB (Enriched Mid Ocean Ridge Basalt); C=OIB (Ocean Island Basalt); D=Arc Basalt (bazalti vulkanskih lukova).

Dodatno su korišteni diskriminacijski dijagrami $Th/Yb-Nb/Yb$ (Pearce, 2008) i $Th/Yb-Ta/Yb$ (Pearce, 1983). U oba dijagrama svi se analizirani uzorci projiciraju u polje aktivnih kontinentalnih lukova (Slika 7-8), a kontinentalni je okoliš već i ranije sugeriran $Y/15-Nb/8-La/10$ dijagramom (Cabanis & Lecolle, 1989). Na temelju visokog omjera Th/Yb (0,85–2,53) stijene su svrstane u kalcijsko-alkalijsku seriju.



Slika 7-8. Diskriminacijski dijagrami $Th/Yb-Nb/Yb$ (Pearce, 2008) i $Th/Yb-Ta/Yb$ (Pearce, 1983).

Zbog pouzdanije determinacije geotektonskog položaja dijabaza i metadijabaza Radlovačkog kompleksa, osim diskriminacijskih dijagrama, u obzir je uzeta i interpretacija raspodjele elemenata u tragovima.

Uzorci na Spider dijagramu pokazuju skokovit trend (Slika 6-34), kakav je tipičan za subdukcijske zone, s obogaćenjem elementima u tragovima između 10 i 110 puta u odnosu na hondritni meteorit (Sun, 1980).

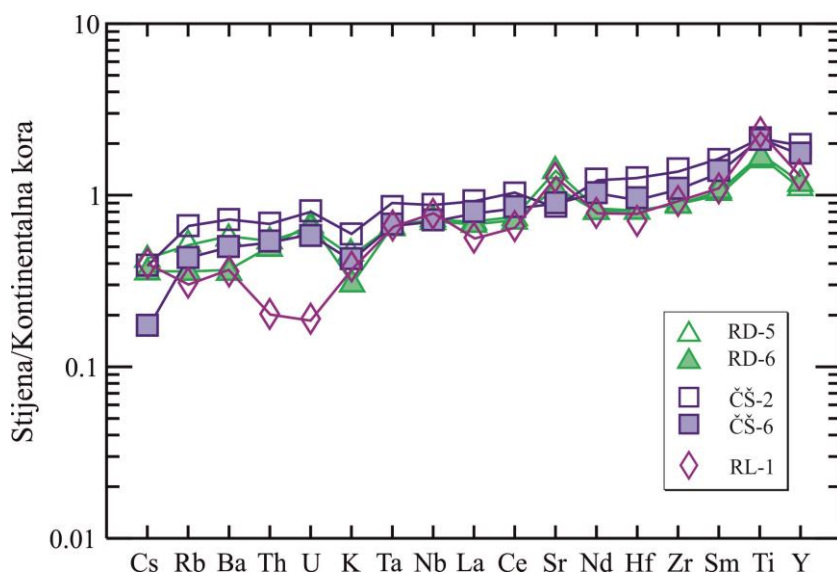
Skokovit trend nastaje kao posljedica selektivnog obogaćenja magmi sa K, Rb, Ba, Sr, Th i U te izraženih negativnih Nb-Ta i Ti anomalija (Wilson, 1989). Opće je prihvaćeno mišljenje da su elementi niskog ionskog potencijala, poput kalija, mobilni u vodenim otopinama te se zbog toga koncentriraju u subdukcijskim fluidima koji nastaju dehidracijom metamorfozirane subducirane oceanske kore i metasomatiziraju plaštni klin iznad nje (Wilson, 1989). Pearce & Parkinson (1993) smatraju da je glavnina magmi generiranih u subdukcijskim zonama podrijetlom upravo iz obogaćenog plaštnog klina smještenog iznad metamorfozirane i djelomično parcijalno taljene oceanske kore. Negativne anomalije Nb-Ta i Ti obično se objašnjavaju zadržavanjem ovih elemenata u pojedinim Ti-bogatom mineralnim fazama, poput titanita, ilmenita i rutila, koje zaostaju u restitu nakon parcijalnog taljenja subducirane oceanske kore (Wilson, 1989; Bromiley & Redfern, 2008) premda je podrijetlo osiromašenja ovim elementima još uvijek predmet rasprave.

Baziti i metabaziti Radlovačkog kompleksa na Spider dijagramu pokazuju dobro izražene negativne Nb-Ta i Ti anomalije te obogaćenje Rb, Ba, U, Th i K (Slika 6-34). Premda su u odnosu na hondritni meteorit (Sun, 1980) 25 do 40 puta obogaćene stroncijem, na Spider dijagramu uočljiva je negativna anomalija Sr.

Negativne anomalije stroncija (Slika 6-34) i europija (Slika 6-35) prisutne su u svim uzorcima, no najmanje su izražene u uzorcima iz kamenoloma Radlovac. Moguće je da su posljedica frakcijske kristalizacije plagioklasa tijekom izdizanja magme.

Koncentracije Y i HREE u analiziranim uzorcima su 10 do 30 puta više u odnosu na hondritni meteorit (Sun, 1980; Sun & McDonough, 1989) što je karakteristično za kalcijsko-alkalijske bazalte iz subdukcijskih zona.

Činjenica da su baziti i metabaziti Radlovačkog kompleksa 0,16 do 2,36 puta obogaćeni elementima u tragovima u odnosu na prosječni sastav kontinentalne kore (Slika 7-9) prema Rudnick & Gao (2004), u kombinaciji s izrazitim obogaćenjem lakim rijetkim zemljama vidljivim na REE dijagramu (Slika 6-35), potvrđuje da je njihova geneza vezana uz kontinentalni, a nikako otočni, vulkanski luk.



Slika 7-9. Spider dijagram bazičnih i metabazičnih stijena Radlovačkog kompleksa. Koncentracije elemenata u tragovima normalizirane su na prosječni sastav kontinentalne kore. Normalizacijske vrijednosti preuzete su od Rudnick & Gao (2004). Uzorak RL-6, koji zbog naknadne metasomatske promjene ima niže koncentracije Cs, Rb, Ba i K, nije prikazan na dijagramu.

Korištenjem diskriminacijskih dijagrama i na temelju raspodjele elemenata u tragovima, utvrđeno je da dijabazi i metadijabazi Radlovačkog kompleksa imaju geokemijska obilježja kalcijsko-alkalijskih bazaltnih andezita aktivnih kontinentalnih vulkanskih lukova.

Međutim, brojni autori napominju da uslijed ekstenzivne krustalne kontaminacije intrakontinentalni bazalti toleitične serije mogu poprimiti geokemijske karakteristike subdukcijskih zona (Dupuy & Dostal, 1984; Wilson, 1989) te je pri interpretaciji potreban dodatan oprez.

Dobro je poznato da prosječni sastav kontinentalne kore, normaliziran na hondritni meteorit, na Spider dijagramu pokazuje trend gotovo identičan andezitima kontinentalnih vulkanskih lukova (Rudnick & Gao, 2004). Krustalnom kontaminacijom, kemijski sastav intrakontinentalnih bazalta postupno postaje sve sličniji andezitima kontinentalnih vulkanskih lukova te se oni izrazito obogaćuju lakšim i mobilnijim elementima niskog ionskog potencijala (LILE) i lakim REE. Budući da su Nb i Ta na Spider dijagramu obično smješteni između elemenata čije se koncentracije krustalnom kontaminacijom povisuju, stvara se dojam izražene negativne Nb-Ta anomalije (Wilson, 1989). Krustalna kontaminacija također utječe i na izotopni sastav stijena (Sun & McDonough, 1989, s pripadajućim referencama) što dodatno otežava razlikovanje kontaminiranih intrakontinentalnih bazalta od bazalta kontinentalnih vulkanskih lukova.

7.5. SLIČNE MAGMATSKJE POJAVE U EUROPI

U zapadnom dijelu Hercinida tijekom karbona započinje kontinentalna kolizija Gondwane i Laurazije, dok se istovremeno u istočnom dijelu hercinskog orogena, gdje je bilo smješteno područje današnjeg Papuka, oceanska kora Paleotethysa subducira pod južni rub Laurazije (McCann et al., 2006).

Krajem karbona, u završnim fazama hercinske orogeneze, Gondwana počinje rotirati u smjeru obrnutom od kazaljke na satu i translacija prema zapadu, relativno u odnosu na Lauraziju, te na području Hercinida i u zaleđu orogena započinje otvaranje brojnih strukturno kontroliranih ekstenzijskih bazena (McCann et al., 2006, Wilson et al., 2004).

Na sjeverozapadu Europe, u zaleđu orogena, inicijalno se riftanje Pangee manifestiralo otvaranjem prostranih sedimentacijskih bazena, dok se na području samog orogena formiraju manji zatvoreni bazeni (McCann et al., 2006).

Inicijalno je riftanje popraćeno brojnim magmatskim pojavama starosti približno 300 Ma (Wilson et al., 2004), a centri magmatske aktivnosti uglavnom su smješteni unutar spomenutih strukturno kontroliranih ekstenzijskih bazena (McCann et al., 2006).

Magmatizam je bio najintenzivniji u zaleđu orogena u SZ dijelu Europe na području današnje južne Škotske, sjeverne Engleske, dijelovima Irske, Švedske (Scania), Norveške (Oslo rift) te na sjeveru Njemačke (SI Njemački bazen). Neki autori sumnjaju da na tom području riftanje nije uzrokovano isključivo tektonskim pokretima (pasivno), već da je magmatizam barem djelomično bio posljedica izdizanja plašnog materijala (*mantle-plume*) (Wilson et al., 2004). Ipak, zasada ne postoje dokazi o djelovanju takvih procesa na području SZ Europe krajem karbona i početkom perma (Heeremans, 2005). Magme su bile dominantno mafitne, alkalnog i tolelitnog karaktera te se čini da su derivirane parcijalnim taljenjem astenosfernog plašta (Wilson et al., 2004; Heeremans, 2005). U SI Njemačkom bazenu dodatno su prisutne i značajne količine neutralnih i kiselih stijena kalcijsko-alkalijske serije od kojih neke imaju geokemijske karakteristike subdukcijskih zona (Benek et al., 1996; Heeremans, 2005).

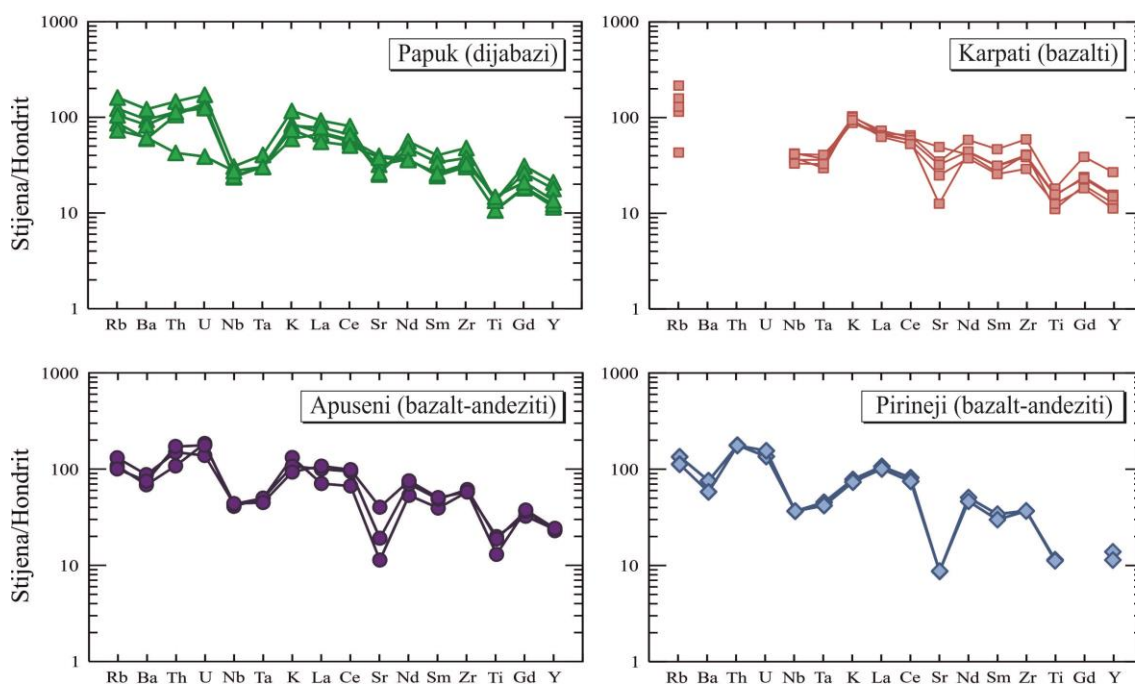
U području samog orogena krajem karbona i početkom perma bazične su stijene bile manje zastupljene te je prevladavao neutralni do kiseli magmatizam. Ove magmatske pojave, premda istodobne s magmatizmom u SZ Europi, znatno su manjeg volumena, pripadaju subalkalijskoj seriji stijena te imaju raspodjelu elemenata u tragovima karakterističnu za subdukcijske zone. Kemizam magmi se na području hercinskog orogena tijekom srednjeg perma mijenja (McCann et al., 2006). Mlađe magmatske pojave pripadaju alkalnoj seriji stijena te su vjerojatno derivirane iz astenosfernog plašta, slično kao magme iz zaleđa orogena na području sjeverozapadne Europe (Wilson et al., 2004).

Obzirom na starost metasedimenta Radlovačkog kompleksa i geokemijske karakteristike magmatskih stijena koje su intrudirale u njih, istraživani dijabazi i metadijabazi su primjer sporadičnog bazičnog magmatizma na području hercinskog orogena krajem karbona i početkom perma.

U literaturi su opisane brojne magmatske pojave geokemijski vrlo slične dijabazima i metadijabazima Papuka koje su asocirane s karbonskim i permskim klastičnim naslagama. Na Slici 7-10. prikazana je usporedba raspodjele elemenata u tragovima dijabaza i metadijabaza Radlovačkog kompleksa sa bazaltima i bazaltnim andezitima s tri različita

geografski udaljena lokaliteta koji su tijekom hercinske orogeneze bili smješteni u području orogena.

Na temelju podataka kemijskih analiza preuzetih iz literature, konstruirani su Spider dijagrami s identičnim rasporedom elemenata u tragovima te su podaci normalizirani na hondritni meteorit prema Sun (1980). Uzorak RL-6, koji je naknadnom metasomatskom promjenom izrazito osiromašen kalijem, rubidijem i barijem, uklonjen je s dijagrama.



Slika 7-10. Usporedba bazičnih magmatskih pojava asociranih s karbonskim i permskim klastičnim naslagama s četiri lokaliteta na području Europe. Koncentracije elemenata u tragovima normalizirane su na hondritni meteorit. Normalizacijske vrijednosti preuzete su od Sun (1980). Uzorak RL-6, koji zbog naknadne metasomatske promjene ima niže koncentracije Rb, Ba i K, nije prikazan na dijagramu. Podaci kemijskih analiza su preuzeti iz Dostal et al. (2003), Nicolae et al. (2014) i Gilbert et al. (1994). Normalizirane koncentracije pojedinih elemenata nisu prikazane zbog nedostupnosti podataka u izvornim radovima.

Dostal et al. (2003) opisuju pojavu bimodalnog vulkanizma otkrivenu u permskoj Malužiná formaciji Zapadnih Karpata u Slovačkoj. Bazične su vulkanske stijene znatno učestalije od kiselih te se pojavljuju u formi izljeva lave s vezikularnim, često i amigdualnim, teksturama. Izljevi lave se ritmički izmjenjuju sa sedimentnim stijenama (Dostal et al., 2003). Autori su bazične članove ovog vulkano-sedimentnog kompleksa

interpretirali kao toleitične bazalte vezane uz intrakontinentalni rift Basin and Range tipa koji se razvio u zaleđu subdukcijske zone na području Hercinida.

U Rumunjskoj, na području Apusena, u gornjokarbonskim do donjopermskim klastitima otkriven je širok spektar genetski povezanih vulkanskih i subvulkanskih stijena koji uključuje dolerite, bazalte, bazaltne andezite, andezite i riolite. Nicolae et al. (2014) smatraju da stijene pripadaju toleitičnoj seriji te da su nastale u ekstenzijskom tektonskom okolišu. Na temelju izotopnih omjera $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ i $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ utvrđenim u mafitnim stijenama, Nicolae et al. (2014) sugeriraju da su magme generirane parcijalnim taljenjem subkontinentalnog litosfernog plašta koji je mogao biti metasomatiziran subdukcijskim fluidima.

Na području Pirineja, Gilbert et al. (1994) istraživali su niz bazičnih do kiselih kalcijsko-alkalijskih vulkanskih stijena gornjokarbonske starosti. Na granatima pronađenim u kiselim članovima, *Sm–Nd* metodom izotopnog datiranja određene su starosti 320–313 Ma. Na temelju izotopnih omjera $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ i $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$, autori smatraju da su magme podrijetlom iz kore ili su, ukoliko su generirane parcijalnim taljenjem plašta, u značajnoj mjeri asimilirale krustalne materijale. Zaključuju da su stijene genetski vezane uz subdukcijsku zonu ili su nastale u ekstenzijskom tektonskom okolišu te da se na temelju dotadašnjih saznanja izvorni geotektonski okoliš ne može jednoznačno utvrditi.

7.6. PRIJEDLOG PETROGENETSKOG MODELA

Obzirom na regionalne geološke odnose i geografski smještaj Papuka krajem karbona i početkom perma te geokemijske karakteristike istraživanih stijena, dvije su moguće interpretacije geotektonskog položaja dijabaza i metadijabaza Radlovačkog kompleksa.

Uz pretpostavku da geokemijska obilježja bazita i metabazita Radlovačkog kompleksa nisu posljedica krustalne kontaminacije, oni se mogu smatrati subvulkanskom magmatskom pojavom vezanom uz kontinentalni vulkanski luk formiran subdukcijom Paleotethysa pod južni rub Laurazije.

Alternativno, istraživani dijabazi i metadijabazi se mogu interpretirati kao krustalno kontaminirane bazične stijene nastale intrakontinentalnim riftovanjem u zaleđu subdukcijske zone. Riftovanje je, u tom slučaju, moglo biti posljedica formiranja zalučnog

bazena kontinentalnog vulkanskog luka ili je bilo vezano uz inicijalno riftanje Pangee i otvaranje strukturno kontroliranih ekstenzijskih bazena diljem Europe.

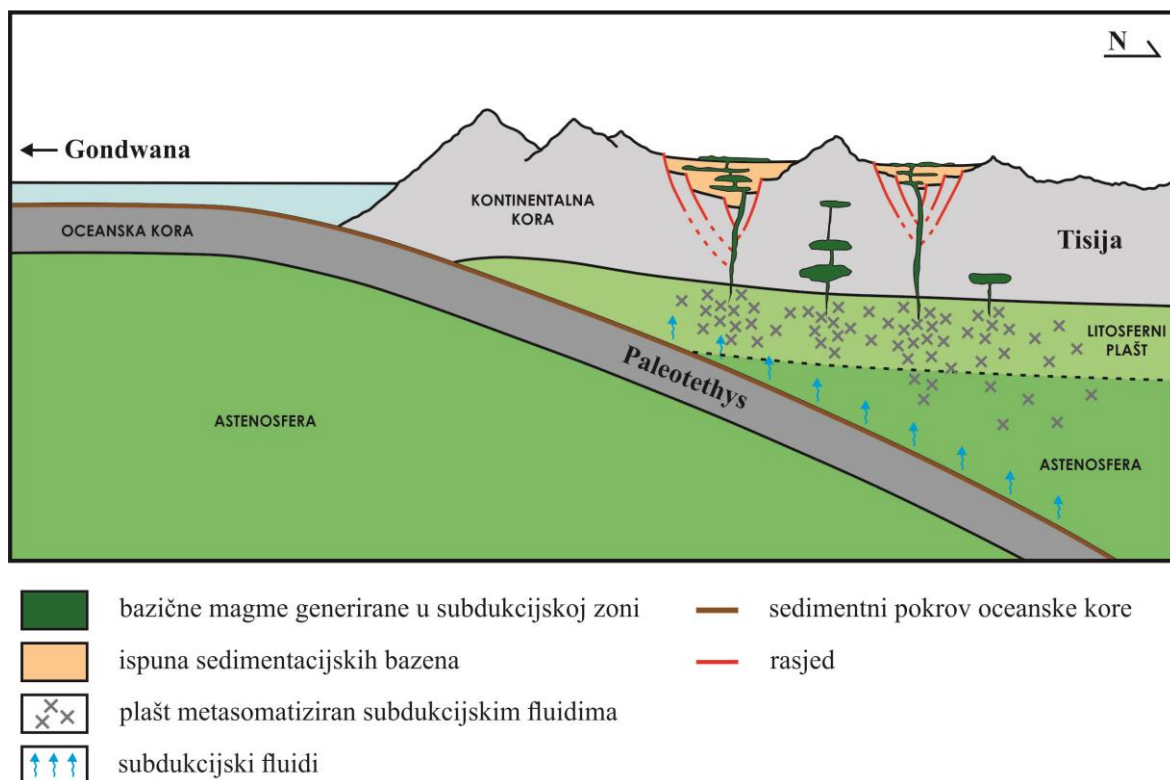
Sjevernoamerički Rio Grande rift, koji se smatra dijelom Basin and Range provincije, formiran je u vrlo sličnom tektonskom okruženju. Rio Grande rift smješten je u zaleđu nekadašnje subdukcijske zone koja se pružala uz zapadnu obalu Sjeverne Amerike. Prije otprilike 30 Ma, dok je subdukcijska zona još uvijek bila aktivna, područje današnjeg rifta bilo je zahvaćeno ekstenzijskim tektonskim pokretima (Baldrige & Olsen, 1989). Ova je faza ekstenzije bila popraćena erupcijom bazaltnih andezita starosti 30–18 Ma koji imaju geokemijska obilježja subdukcijskih zona (Wilson, 1989) te su najvjerojatnije genetski vezani uz kontinentalni vulkanski luk (Baldrige et al., 1984). Nakon prekida aktivnosti u subdukcijskoj zoni, na području Rio Grande rifta uslijedila je druga faza ekstenzije, također asocirana s magmatizmom. Magmatske pojave starosti 5 Ma i mlađe većinom su toleitiitni i alkalijski bazalti (Baldrige et al., 1984) tipičniji za intrakontinentalne riftove (Wilson, 1989).

Strukturna i magmatska evolucija Rio Grande rifta demonstrira da magme genetski vezane uz kontinentalne vulkanske lukove mogu eruptirati unutar ekstenzijskih bazena formiranih u zaleđu subdukcijskih zona tijekom ranih faza intrakontinentalnog riftinga.

Na temelju svega izloženog, moguće je predložiti općeniti petrogenetski model dijabaza i metadijabaza Radlovačkog kompleksa te njima sličnih magmatskih pojava.

Formiranje dubokih rasjeda vezanih uz inicijalno riftovanje Pangee moglo je olakšati izdizanje magmi nastalih parcijalnim taljenjem subkontinentalnog plašnog klina iznad subdukcijske zone Paleotethysa pod Lauraziju (Slika 7-11). Preferirano izdizanje magmi, koje su genetski vezane uz procese u subdukcijskoj zoni, duž sustava rasjeda nastalih intrakontinentalnim riftovanjem moglo bi objasniti istovremenost riftnog magmatizma u SZ Europi i manjih magmatskih pojava unutar hercinskog orogena. McCann et al. (2006) navode da su centri magmatske aktivnosti krajem karbona i početkom perma vezani upravo uz ekstenzijske bazene što se također može objasniti ovakvim petrogenetskim modelom.

Međutim, nije moguće u potpunosti zanemariti interpretaciju geotektonskog položaja koja uključuje ekstenzivnu krustalnu kontaminaciju magmi formiranih intrakontinentalnim riftovanjem.



Slika 7-11. Predloženi petrogenetski model bazita i metabazita Radlovačkog kompleksa.

Pamić & Jamičić (1986) su zaključili da dijabazi i metadijabazi Radlovačkog kompleksa pripadaju toleitiitnoj seriji te da je njihov postanak vezan uz inicijalno riftanje Pangee što je u skladu s alternativnim petrogenetskim modelom.

Međutim, rezultati ovog istraživanja upućuju da su dijabazi i metadijabazi Radlovačkog kompleksa, koji imaju geokemijske karakteristike kalcijsko-alkalijskih bazaltnih andezita kontinentalnih vulkanskih lukova, vjerojatno genetski vezani uz procese u subdukcijskim zonama.

Izvorni geotektonski položaj bazita i metabazita Radlovačkog kompleksa ne može se jednoznačno odrediti na temelju vidljivih geoloških odnosa i geokemijskih analiza stijena napravljenih u okviru ovog i prethodnih radova. Poznavanje ϵ_{Sr} i ϵ_{Nd} vrijednosti moglo bi doprinijeti boljem razumijevanju ovog problema.

8. ZAKLJUČAK

Subvulkanske intruzije bazičnih i metabazičnih stijena Radlovačkog kompleksa, a čiji su uzorci uzeti na lokalitetima Radiša, Češljakovci i Radlovac, pokazuju znatnu raznolikost struktura i krupnoće zrna koja je korelativna s debljinama magmatskih tijela. Veće intruzije, smještene u istočnom dijelu stijenskog kompleksa u području Radlovca, dominantno sadrže krupnozrnate varijetete ofitne strukture, dok u manjim magmatskim tijelima, poput onih na lokalitetima Radiša i Češljakovci, prevladavaju intergranularni do porfirni varijeteti. Primarna mineralna parageniza stijena uključuje klinopiroksen, plagioklas, opâki mineral češljastih formi tipičnih za ilmenit te akcesorni apatit.

Prema petrografskim karakteristikama stijene su klasificirane kao dijabazi i metadijabazi, a na temelju kemijskog sastava, koji je relativno ujednačen na području cijelog Radlovačkog kompleksa, odgovaraju kalcijsko-alkalijskim bazaltnim andezitima kontinentalnog vulkanskog luka. Bazične i metabazične stijene Radlovačkog kompleksa genetski su vjerojatno vezane uz subdukciju oceanske kore Paleotethysa pod južni rub Laurazije.

Alternativno, moglo bi se raditi i o krustalno kontaminiranim intrakontinentalnim toleitičnim bazaltima čiji bi postanak bio asociran uz inicijalnu dezintegraciju Pangee.

Izvorni geotektonski položaj bazita i metabazita Radlovačkog kompleksa ne može se jednoznačno odrediti na temelju vidljivih geoloških odnosa i geokemijskih analiza stijena napravljenih u okviru ovog rada, no poznavanje ϵ_{Sr} i ϵ_{Nd} vrijednosti moglo bi u budućnosti doprinijeti boljem razumijevanju ovog problema.

9. POPIS LITERATURE

ARCULUS, R. J. (2003): *Use and Abuse of the Terms Calcalkaline and Calcalkalic*. Journal of Petrology 44/5, p. 929-935.

BALDRIDGE, W. S. & OLSEN, K. H. (1989): *The Rio Grande Rift*. American Scientist Vol. 77, p. 240-248.

BALDRIDGE, W. S., OLSEN, K. H. & CALLENDER, J. F. (1984): *Rio Grande Rift: Problems and Perspectives*. New Mexico Geological Society Guidebook, 35th Field Conference.

BARIĆ, LJ., CRNKOVIĆ, B., VRAGOVIĆ, M. (1970): *Vodič za mineraloško-petrografsku ekskurziju: intruzivne, efuzivne i metamorfne stijene slavonskih masiva*. VII. Kongres geologa SFRJ, Zagreb, 1-27.

BENEK, R., KRAMER, W., McCANN, T., SCHECK, M., NEGENDANK, J. F. W., KORICH, D., HUEBSCHER, H. D. & BAYER, U. (1996): *Permo-Carboniferous magmatism of the Northeast German Basin*. Tectonophysics 266, 379-404.

BIŠEVAC, V., BALEN, D., TIBLJAŠ, D. & ŠPANIĆ, D. (2009): *Preliminary results on degree of thermal alteration recorded in the eastern part of Mt. Papuk, Slavonia, Croatia*. Geol. Croatica 62/1, p 63-72.

BIŠEVAC, V., BALOGH, K., BALEN, D. & TIBLJAŠ, D. (2010): *Eoalpine (Cretaceous) very low- to low-grade metamorphism recorded on the illite-muscovite rich fraction of metasediments from South Tisia (eastern Mt. Papuk, Croatia)*. Geol. Carpathica 61/6, p. 469-481.

BIŠEVAC, V., KRENN, E., FINGER, F., LUŽAR-OBERITER, B. & BALEN, D. (2013): *Provenance od Paleozoic very low- to low-grade metasedimentary rocks of South Tisia (Slavonian Mountains, Radlovac Complex, Croatia)*. Geol. Carpathica 64/1, p. 3-22.

BOLČIĆ, I. & JOVANOVIĆ, D. (1954): *Geološki pregled kamenoloma Radlovac u Slav. Orahovici*. Fond struč. dok. IGI, Zagreb.

BRKIĆ, M., JAMIČIĆ, D. & PANTIĆ, N. (1974): *Karbonske naslage na Papuku (sjeveroistočna Hrvatska)*. Geol. vjesnik 27, p. 53-58.

- BROMILEY, G. D. & REDFERN, S. A. T. (2008): *The role of TiO₂ phases during melting of subduction-modified crust: Implications for deep mantle melting*. Earth and Planetary Science Letters 267, 301-308.
- 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.
- DOSTAL, J., VOŽÁR, J., KEPPIE, J. D. & HOVORKA, D. (2003): *Permian volcanism in the Central Western Carpathians (Slovakia): Basin-and-Range type rifting in the southern Larussian margin*. Int J Earth Sci (Geol Rundsch) 92:27–35.
- DUPUY, C. & DOSTAL, J. (1984): *Trace element geochemistry of some continental tholeiites*. Earth and Planetary Science Letters 67, 61-69.
- GILBERT, J. S, BICKLE M. J. & CHAPMAN, H. J. (1994): *The origin of Pyrenean Hercynian volcanic rocks (France–Spain): RE and Sm–Nd isotope constraints*. Chemical Geology, 111, p. 207-226, Elsevier Science.
- HEEREMANS, M. (2005): *A plume beneath the Oslo Graben?* www.MantlePlumes.org
- IRVINE, T. N. & BARAGAR, W. R. A. (1971): *A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks*. Can. J. Earth Sci. 8, 523-548.
- JAMIČIĆ, D. (1988): *Strukturni sklop slavonskih planina*. Neobjav. Disertacija, Sveuč. u Zagrebu, 152 p.
- JAMIČIĆ, D. & BRKIĆ, M. (1987): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Orahovica, L33-96*. Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd.
- JAMIČIĆ, D., BRKIĆ, M., CRNKO, J. & VRAGOVIĆ, M. (1987): *Tumač Osnovne geološke karte SFRJ 1:100.000 list Orahovica*. Savezni geološki zavod Beograd, 72 p.
- JERINIĆ, G., PAMIĆ, J., SREMAC, J. & ŠPANIĆ D. (1994): *First palinological data and organic petrographic data on very low-grade metamorphic rocks in Slavonian Mountains (North Croatia)*. Geol. Croatica 47, p. 149-155.
- KIŠPATIĆ, M. (1916): *Eruptivgesteine des Krndija - Gebirges*. Glasnik Hrv. Prirodosl. društva, 28, 65-79, 4 sl., Zagreb.

KOCH, G. A. (1906): *Das Erweiterte Projekt der Neue Hochquellenleitung für die Königliche Freistadt Essek*. Geol. Erörtert, 1-97, Wien.

LeBAS, M. J., LE MAITRE, R.W., STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B. (1986): *A Chemical Classification of Volcanic-Rocks Based on the Total Alkali Silica Diagram*. Journal of Petrology 27(3): 745-750.

LE MAITRE, R. W. (1989): *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the USGS Commision on the Systematics of Igneous Rocks*. Oxford: Blackwell.

McCANN, T., PASCAL, C., TIMMERMAN, M. J., KRZYWIEC, P., LÓPEZ-GÓMEZ, J., WETZEL, A., KRAWCZYK, C. M., RIEKE, H. & LAMARCHE, J. (2006): *Post-Variscan (end Carboniferous–Early Permian) basin evolution in Western and Central Europe*. European Lithosphere Dynamics, Geological Society, London, Memoirs, 32, 355-388.

MIYASHIRO, A. (1975): *Classification of basalts and three main volcanic rock series*. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Vol. 3: 251-26.

NICOLAE, I., SEGHEDI, I., BOBOȘ, I., do ROSÁRIO AZEVEDO, M., RIBEIRO, S. & TATU, M. (2014): *Permian volcanic rocks from the Apuseni Mountains (Romania): Geochemistry and tectonic constraints*. Chemie der Erde 74, p. 125-137.

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

PAMIĆ, J. (2002): *The Sava–Vardar Zone of the Dinarides and Hellenides versus the Vardar Ocean*. Eclog. Geol. Helv., 95, 99–113, Bern.

PAMIĆ, J. & JAMIČIĆ, D. (1986): *Metabasic intrusive rocks form the Paleozoic Radlovac complex of Papuk Mt. in Slavonija (northern Croatia)*. Rad Jugos. Akad. Znan. 424 (21), p. 97-127.

PAMIĆ, J. & LANPHERE M. (1991): *Hercinske granitne i metamorfne stijene Papuka, Psunja, Krndije i okolne podloge Panonskog bazena u Slavoniji (sjeverna Hrvatska)*. Monogr., Geologija 34, p. 81-253.

PAMIĆ, J., GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1998): *Geodynamic evolution of the central Dinarides*. Tectonophysics, 297, 251–268, Amsterdam.

PAMIĆ, J., LANPHERE, M. & McKEE, E. (1988): *Radiometric ages of metamorphic and associated igneous rocks of the Slavonian Mountains in Southern part of the Pannonian Basin*. Acta Geologica 18, p. 13-39.

PAMIĆ, J., RADONIĆ, G. & PAVIĆ, G. (2003): *Geološki vodič kroz Park prirode Papuk*. 66 p., Požega.

PEARCE, J. A. (1983): *Role of the sub-continental lithosphere in 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: Applications 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.

PEARCE, J. A. & PARKINSON, I. J. (1993): *Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis*. Geological Society, London, Special Publications, 76, 373-403.

PETKOVIĆ, K. V. (1932): *Geološka karta Kraljevine Jugoslavije 1:1,000.000*, Beograd.

POLJAK, J. (1952): *Predpaleozojske i paleozojske naslage Papuka i Krndije*. Geol. vjesnik 2/4, p. 63-82.

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

RUDNICK, R. L. & GAO S. (2004): *Composition of the Continental Crust*. Treatise on Geochemistry, Volume 3.

SCHMID, S. M., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, B., MATENCO, L., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TISCHLER, M. & USTASZEWSKI, K. (2008): *The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units*. Swiss J Geosci 101, p. 139–183.

SUN, S. S. (1980): *Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs*. Phil. Trans. R. Soc., A297, 409-445.

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.

TUĆAN, F. (1908): *Prilog poznavanju kemijskog sastava ruda u Hrvatskoj*. Glasnik naravosl. društva, 19, 92-100, Zagreb.

USTASZEWSKI, K., KOUNOV, A., SCHMID, S. M., SCHALTEGGER, U., KRENN, E., FRANK, W., FUGENSCHUH, B. (2010): *Evolution of the Adria–Europe plate boundary in the northern Dinarides, from continent–continent collision to back-arc extension*. Tectonics 29:TC6017. doi: 10.1029/2010TC002668.

WILSON, B. M. (1989): *Igneous Petrogenesis. A Global Tectonic Approach*. London: Chapman & Hall, pp. 466.

WILSON, M., NEUMANN, E. R., DAVIES, G. R., TIMMERMAN, M. J., HEEREMANS, M. & LARSEN, B. T. (2004): *Permo-Carboniferous magmatism and rifting in Europe: introduction*. Geological Society, London, Special Publications 223, 1-10.

WODICZKA, P. (1855): *Bericht über Geologische Untersuchung der K.K. Studien-Fondsherrschaft Kutjevo in Slavonien*. Jahrb. Geol. Reichsanst., 6/4 (Verh.), str. 858, Wien.

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.