Granitoidi podloge Panonskoga bazena na području istočne Hrvatske

Šuica, Sanja

Doctoral thesis / Disertacija

2019

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:169:837673

Rights / Prava: Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb

Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Sanja Šuica

GRANITOIDI PODLOGE PANONSKOGA BAZENA NA PODRUČJU ISTOČNE HRVATSKE

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2019.

Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Sanja Šuica

GRANITOIDI PODLOGE PANONSKOGA BAZENA NA PODRUČJU ISTOČNE HRVATSKE

DOKTORSKI RAD

Mentorica:

dr.sc. Vesnica Garašić, izv.prof.

Zagreb, 2019.

University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Sanja Šuica

GRANITOIDS OF THE PANNONIAN BASIN BASEMENT IN THE EASTERN CROATIA

DOCTORAL DISSERTATION

Supervisor:

Associate professor Vesnica Garašić, PhD

Zagreb, 2019

Informacije o mentorici:

Dr.sc. Vesnica Garašić, izvanredna profesorica

Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Sveučilište u Zagrebu

Hvala

...mentorici izv. prof. dr .sc . Vesnici Garašić na stručnom vođenju, korisnim savjetima i pomoći tijekom poslijediplomskog studija, a posebno na pedantnosti i sistematičnosti tijekom perioda oblikovanja teksta doktorskog rada.

...članovima povjerenstva za ocjenu rada prof. dr. sc Bruni Tomljenoviću i prof. dr. sc. Draženu Balenu na korisnim primjedbama i savjetima koji su unaprijedili ovaj rad.

...akademiku prof. dr. sc. Goranu Durnu i dr. sc. Vladimiru Veselom za financijsku potporu dijela troškova istraživanja.

...prof. dr. sc. Alanu B. Woodlandu na pružanju mogućnosti za korištenje elektronske mikrosonde i pomoći pri analizama kemijskog sastava minerala.

...tehničarima Ljiljani Kirin, Zdravku Ćuku, Željku Drači, Goranu Radojčiću, Dragi Baričeviću i Mariju Valentu na pripremi uzoraka.

...dipl. ing. Renati Slavković na prenesenom znanju i korisnim savjetima u rukovanju skenirajućim elektronskim mikroskopom.

...dipl. ing. Ninoslavu Sabolu na pomoći prilikom uzorkovanja.

...rukovoditeljima dr. sc. Jasmini Jelić-Balti, dr. sc. Tamari Troskot-Čorbić i dipl. ing. Krešimiru Krizmaniću na potpori tijekom poslijediplomskog studija.

...svojoj instituciji INA-Industrija nafte d.d. na materijalnoj potpori, kao i na korištenju uzoraka i stručne dokumentacije.

...svim kolegicama i kolegama koji su mi na bilo koji način pomogli tijekom izrade doktorskog rada.

...mojoj obitelji, posebno Jeleni i Nevenu, na strpljenju i potpori.

SAŽETAK

GRANITOIDI PODLOGE PANONSKOGA BAZENA NA PODRUČJU ISTOČNE HRVATSKE

Uzorci jezgara iz dubokih bušotina na području istočne Hrvatske, koji po kemijskom sastavu odgovaraju granitodima, odabrani su za petrografske i geokemijske analize. Osim granitoida, analizirane su i prostorno asocirane mafitne i neutralne stijene. Cilj istraživanja bio je definirati različite tipove granitoida, utvrditi izvorište magme, definirati petrogenetske procese, geotektonski okoliš te korelirati analizirane stijene s odgovarajućim izdancima i smjestiti ih u odgovarajući regionalno-geološki kontekst. U Slavonsko-srijemskoj depresiji izdvojeni su: 1) alkalijsko-feldspatski granit, mikrogranit i sijenit područja Privlake koji pokazuju karakter granita A-tipa, a u regionalno-geološkom smislu pripadaju bimodalnom magmatizmu Savske zone; 2) milonitni gnajsevi područja Đeletovaca, čije kemijske karakteristike ukazuju na protolit sličan A-tipu granita Privlake te 3) porfiroidni granit i riolit istražne bušotinr Županja-3, koji su produkt drugačijeg tipa magmatizma u odnosu na A-granite Privlake. U istočnom dijelu Dravske depresije u sklopu ovog rada obrađeni su 1) monzodiorit, granodiorit i hornblenda dijabaz područja Obod, čije geokemijske karakteristike ukazuju na izvor magme metasomatiziran subdukcijskim procesima, a pokazuju sličnost s paleogenskim intruzivima iz podloge Zala bazena u Mađarskoj; 2) milonitni gnajs iz bušotine Marjanci-4, koji je nastao dinamičkom rekristalizacijom visokotemperaturnog granita obogaćenog elementima u tragovima i elementima rijetkih zemalja; 3) monzogranit iz bušotine Osijek-2 koji najviše sličnosti pokazuje s granitima papučkog kompleksa Slavonskih planina; 4) leukogranit iz bušotine Torjanski Rid-1, koji predstavlja S-tip nastao niskim stupnjem parcijalnog taljenja iz metasedimentnog izvora. Dobiveni rezultati ukazuju na vrlo kompleksnu građu podloge neogena na istraživanom području.

EXTENDED SUMMARY

GRANITOIDS OF THE PANNONIAN BASIN BASEMENT IN THE EASTERN CROATIA

The pre-Neogene basement of the Pannonian basin in the eastern Croatia is composed of different types of magmatic, metamorphic and sedimentary rocks. Core samples of granitoids from deep wells have been chosen for petrographic and geochemical analyses, namely 5 samples for mineral chemistry by EMPA, 23 samples for whole rock chemical analysis by ICP-AES and ICP-MS and 3 samples for strontium isotope analysis by TIMS. The aim of this study was to define different types of granitoids, determine the magma source, petrogenetic processes and tectonic setting of magmatic activity, to correlate analysed rocks with a possible equivalents presented in literature and put them into the regional-geological and geodynamic context.

In the Slavonija-Srijem depression several types of rocks have been analysed: 1) alkali feldspar granite, microgranite, alkali feldspar syenite of Privlaka area; 2) mylonitic gneiss of Đeletovci area and 3) porphyritic granite and rhyolite of Županja-3 exploration well.

Alkali feldspar granite contains perthite, quartz, albite, biotite and hornblende. Alkali feldspar syenite is composed of similar mineral assemblage – perthitic orthoclase and microcline, albite, biotite, quartz and hornblende. On the other hand, microgranite contains antiperthite, perthite, quartz and albite, with the sporadic ferromagnesian phase completely altered to chlorite. Alkali feldspar granite represented shallow intrusion, which is indicated by petrographic characteristics and confirmed by Zr-saturation temperatures of 830-850°C along with pressure values of <2.5 kbar estimated by Al-in-hornblende geobarometer. Biotite and hornblende chemistry is characterised by high Fe/(Fe+Mg) ratio, pointing to crystallization under low fO_2. Whole rock geochemistry of the alkali feldspar granites is characterised by high FeOt/(MgO+FeOt) ratio along with high contents of K_2O, Na_2O, REE^{3+}, Rb, Zr, Nb and Y, accompanied by low contents of CaO, MgO, P_2O_5, Ba, Sr and Eu, indicating A-type affinity. Alkali feldspar syenite is geochemically similar to alkali feldspar granite, but is characterized by positive K and Zr anomalies in primitive mantle-normalized trace element patterns and by the absence of Eu anomaly in chondrite-normalized REE patterns. These geochemical features indicate a cumulate

origin for the alkali-feldspar syenite. Otherwise similar to alkali feldspar granite, microgranite is characterized by lower K_2O and Rb and higher Na_2O and Sr contents. These characteristics could be a consequence of magma separation during its late stage of evolution, which was controlled by crystallization of K-feldspar and biotite. Strontium istotope ratio analysed in alkali feldspar granite ($^{87}Sr/^{86}Sr=0.7202$) indicates crustal source of magma. Based on their petrographic and geochemical characteristics, as well as the mode of the occurence, Privlaka granitoids could be correlated with Požeška gora alkali feldspar granites (Pamić, 1987; Schneider, 2017), a part of the Upper Cretaceous bimodal complex of Sava zone (Ustaszewski et al., 2010).

Mylonitic gneiss of Đeletovci area is composed of quartz, K-feldspar, plagioclase, biotite, muscovite and garnet. Geochemical characteristics, especially primitive mantle-normalized trace element patterns and chondrite-normalized REE patterns, indicate a protolith comparable to Privlaka alkali feldspar granite. Porphyritic granite of Županja-3 exploration well is composed of orthoclase, albite, and quartz, while the ferromagnesian mineral is completely altered to chlorite. Rhyolite is composed of quartz, feldspar and muscovite. Whole rock geochemical characteristics of these rocks, such as high Ba, low Zr, Nb and Y concentrations, weak negative Eu anomaly and more pronounced LREE/HREE enrichment compared to granitoids of Privlaka, indicate a different origin of Županja-3 porphyritic granite and rhyolite.

In the eastern part of Drava depression different types of rocks have been determined: 1) monzodiorite, granodiorite and hornblende diabase of Obod area; 2) mylonitic gneiss of Marjanci-4 exploration well; 3) monzogranite of Osijek-2A exploration well and 4) leucogranite of Torjanski Rid-1 exploration well.

Monzodiorite and granodiorite, with enclaves of hornblende diabase, occur as shallow intrusion(s). Hornblende diabase is composed of plagioclase and hornblende, with local biotite and quartz close to the contact with the granodiorite. Monzodiorite contains plagioclase, hornblende, orthoclase, quartz and biotite. Granodiorite is composed of plagioclase, quartz, orthoclase and biotite, with hornblende appearing near the contact with the hornblende diabase. Hornblende as the main ferromagnesian phase indicates unusually high water content in melt. Textural characteristics, such as the presence of different kind of mafic microgranular enclaves, point to magma mixing and mingling processes. Whole rock geochemistry of analysed hornblende diabase, monzodiorite and granodiorite is characterized by Cs positive and Ba

negative anomaly in primitive mantle-normalized trace element patterns, along with LREE enrichment relative to MREE and HREE in chondrite-normalized REE patterns. These characteristics point to a common source, probably lithospheric mantle metasomatized by subduction processes. Mantle source is also indicated by strontium isotope ratio analysed in monzodiorite sample ($^{87}Sr/^{86}Sr$=0.7043). Hornblende diabase and monzodiorite display weak negative Eu anomaly, while granodiorite displays positive Eu anomaly. This feature rules out fractionation of plagioclase during the evolution of magma. Overall characteristics of the analysed Obod magmatic rocks are similar to Paleogene intrusive rocks of Zala basin basement in Hungary (Benedek et al., 2004).

Mylonitic gneiss of Marjanci-4 well is composed of plagioclase, quartz, K-feldspar, biotite and allanite. Zonal plagioclase and allanite indicate the granitic protolith. The presence of magmatic allanite and high Zr-saturation temperature (803 °C), point to high temperature crystallization. This rock is characterized by generally high trace element content, with depletion of HREE and Y in chondrite-normalized REE pattern and primitive mantle-normalized trace element pattern, respectively. In chondrite-normalized REE pattern it displays no Eu anomaly.

Monzogranite of Osijek-2A well contains quartz, zonal plagioclase, muscovite and biotite. It is characterized by high K_2O, P_2O_5. Primitive mantle-normalized trace element pattern displays positive Ba, U and Pb anomalies and negative Nb, Ti and Eu anomalies. Correlation with literature data indicate similarity between this monzogranite and S-granites of Papuk complex (Pamić and Lanphere, 1991; Horvat, 2004).

Leucogranite of Torjanski Rid-1 exploration well is composed of quartz, albite, perthite and muscovite. Whole rock geochemistry is characterized by high SiO_2, K_2O, P_2O_5, low CaO, TiO_2, FeO_t, MgO and generally very low concentration of trace elements, besides Cs, Rb, U and Pb, as well as very pronounced Eu anomaly in chondrite-normalized REE pattern. These characteristics point to magma originating by low-degree partial melting of the metasedimentary source, probably by muscovite dehidration melting.

Ključne riječi: granitoid, podloga neogena, Panonski bazen, petrogeneza, geokemija, Savska zona, Tisa

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ 3
3. REGIONALNO-GEOLOŠKI KONTEKST 6
4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA 11
5. UZORCI I METODE 14
5.1. Petrografska analiza 16
5.2. SEM analiza 16
5.3. Analiza kemijskog sastava minerala 17
5.4. Kemijska analiza stijene 18
6. LOKALNA GEOLOŠKA SITUACIJA 19
6.1. Slavonsko-srijemska depresija 19
6.2. Istočni dio Dravske depresije 34
7. PETROGRAFSKE ANALIZE 46
7.1. Slavonsko-srijemska depresija 46
7.2. Istočni dio Dravske depresije 75
8. SEM ANALIZE 117
9. KEMIJSKI SASTAV MINERALA 139
9.1. Feldspati 140
9.2. Amfibol 145
9.3. Biotit 149
9.4. Muskovit 157
9.5. Oksidi 159
9.6. Epidot 163
9.7. Klorit 165
10. KEMIJSKI SASTAV STIJENA 167
10.1. Glavni elementi 168
10.2. Elementi u tragovima 182

10.3. Elementi rijetkih zemalja 194
11. ANALIZA IZOTOPA STRONCIJA 202
12. DISKUSIJA 203
12.1. Geotermobarometrija 203
12.2. Slavonsko-srijemska depresija 210
12.3. Istočni dio Dravske depresije – područje Obod 233
12.4. Istočni dio Dravske depresije –ostali uzorci 253
13. ZAKLJUČAK 259
14. POPIS LITERATURE 264

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Položajna karta bušotina iz kojih je odabran materijal za uzorkovanje.....3

Slika 2.2 Položajna karta bušotina na području Vukovarsko-srijemske županije iz kojih je odabran materijal za uzorkovanje. 4

Slika 2.3 Položajna karta bušotina na području Osječko-baranjske županije iz kojih je odabran materijal za uzorkovanje. 5

Slika 3.1 Karta tektonskih jedinica šireg područja. Pojednostavljeno prema Schmid i dr. (2008), Ustaszewski i dr. (2010). 7

Slika 6.1 Građa vršnog dijela podloge neogena na području polja Privlaka (bušotine Pri-1, Pri-2, Pri-3), polja Đeletovci (bušotine Đt-1Z, Đt-1, Đt-2, Đt-3, Đt-4, Đt-5, Đt-6, Đt-11, Đt-14, Đt-34, Đt-48), područja Tovarnik (bušotine Tov-1, Tov-2, Tov-3, Tov-4), polja Ilača (bušotine Ila-1, Ila-2, Ila-11), područja Županje (bušotine Ž-1, Ž-2, Ž-3), područja Brežnice (bušotina Bž-1) i područja Vinkovaca (bušotina Vin-1). 19

Slika 6.2 Dio stupa bušotine Privlaka-1 u intervalu 990-1200 m. Modificirano prema Sokolović i Brodarić (1983a). K.D. – konačna dubina bušotine. 21

Slika 6.3 Dio stupa bušotine Privlaka-2 u intervalu 1020-1123 m. Modificirano prema Sokolović i Brodarić (1983b). K.D. – konačna dubina bušotine. 21

Slika 6.4 Dio stupa bušotine Đeletovci-1 Zapad u intervalu 1050-1160 m. Modificirano prema Brajković i dr. (2012). K.D. – konačna dubina bušotine. 22

Slika 6.5 Dio stupa bušotine Đeletovci-48 u intervalu 1030-1099 m. Modificirano prema Fararik i Kraljević (1989). K.D. – konačna dubina bušotine. 23

Slika 6.6 Dio stupa bušotine Đeletovci-1 u intervalu 1020-1080 m. Modificirano prema Sokolović i Vlahović (1982). K.D. – konačna dubina bušotine. 24

Slika 6.7 Dio stupa bušotine Đeletovci-3 u intervalu 985-1203 m. Modificirano prema Sokolović i Vlahović (1983a). K.D. – konačna dubina bušotine. 25

Slika 6.8 Dio stupa bušotine Đeletovci-4 u interval 970-1150 m. Modificirano prema Sokolović i Vlahović (1983b). K.D. – konačna dubina bušotine. 26

Slika 6.9 Dio stupa bušotine Đeletovci-5 u intervalu 960-1080 m. Modificirano prema Husnjak (1983). K.D. – konačna dubina bušotine. 27

Slika 6.10 Dio stupa bušotine Đeletovci-6 u intervalu 980-1105. Modificirano prema Husnjak (1984). K.D. – konačna dubina bušotine. 27

Slika 6.11 Dio stupa bušotine Đeletovci-11 u intervalu 960-1097 m. Modificirano prema Kunštek, (1985). K.D. – konačna dubina bušotine. 28

Slika 6.12 Dio stupa bušotine Đeletovci-14 u intervalu 970-1100 m. Modificirano prema Cesar (1985). K.D. – konačna dubina bušotine. 28

Slika 6.13 Dio stupa bušotine Đeletovci-34 u intervalu 1000-1100 m. Modificirano prema Fararik, B. (1985). K.D. – konačna dubina bušotine 29

Slika 6.14 Dio stupa bušotine Tovarnik-2 u intervalu 1480-1848 m. Modificirano prema Matišin i dr. (1977). K.D. – konačna dubina bušotine. 31

Slika 6.15 Dio stupa bušotine Županja-3 u intervalu 1120-2734 m. Modificirano prema Ivaniček i Vlahović, (1986). K.D. – konačna dubina bušotine. 33

Slika 6.16 Građa vršnog dijela podloge neogena na području polja Obod (bušotine Ob-3, Ob-4, Ob-5, Ob-14, Ob-24, Ob-34, Lac-1S), polja Ševkovica (bušotine Štv-3, Štv-17 i Štv-18), i polja Sječe (bušotine Sj-1 i Sj-2) te na području istražnih bušotina Podravski Podgajci (bušotina PP-1), Čamagajevci (bušotine Čam-1, Čam-2, Čam-3, Čam-4), Gat (bušotina Gat-1), Torjanski Rid (bušotina TR-1), Marjanci (bušotine Mar-3 i Mar-4), Valpovo (bušotina Val-1), Koška (Koš-1, Koš-2 i Koš-3), Osijek (Os-1 i Os-2), Brešće (Brš-1), Ernestinovo (Ern-1, Ern-2 i Ern-3). 34

Slika 6.17 Prikaz magmatskih i metamorfnih stijena na području polja Obod (bušotine Ob-3, Ob-4, Ob-5, Ob-10, Ob-14, Ob-21, Ob-22, Ob-24, Ob-28, Ob-30, Ob-31, Ob-34, Ob-36, Ob-42, Ob-43, Lac-1, Lac-1S) i dijela polja Štekovica (bušotine Štv-1, Štv-2, Štv-3, Štv-4, Štv-5, Štv-6, Štv-10, Štv-11, Štv-17, Štv-18) te istražne bušotine Koška-3 (Koš-3). 35

Slika 6.18 Dio stupa bušotine Obod-34 u intervalu 2310-2572 m. Modificirano prema Tadej i dr. (1991) i Benko (1985). K.D. – konačna dubina bušotine. 37

Slika 6.19 Dio stupa bušotine Lacići-1 u interval 2150-3339 m. Modificirano prema Matišin i dr. (1978). K.D. – konačna dubina bušotine.....38

Slika 6.20 Dio stupa bušotine Lacići-1 u intervalu 2002-2403 m. Modificirano prema Matišin i dr. (1978). K.D. – konačna dubina bušotine. 39

Slika 6.21 Dio stupa bušotine Lacići-1 Sjever u intervalu 2240-3007 m. Modificirano prema Sokolović i Vlahović, (1989). K.D. – konačna dubina bušotine.....40

Slika 6.22 Dio stupa bušotine Marjanci-4 u intervalu 2510-3578 m. Modificirano prema Raškaj i dr., (1984). K.D. – konačna dubina bušotine. 42

Slika 6.23 Dio stupa bušotine Torjanski Rid-1 u intervalu 1120-1331 m. Modificirano prema Matišin i dr. (1979). K.D. – konačna dubina bušotine. 43

Slika 6.24 Dio stupa bušotine Osijek-2 u intervalu 1000-1078 m. Modificirano prema Bistričić i dr. (1973) i Ilijanić, (1973). K.D. – konačna dubina bušotine. 44

Slika 6.25 Dio stup bušotine Osijek-2α u intervalu 1210-1326 m. Modificirano prema Bistričić i dr. (1973) i Ilijanić, (1973). K.D. – konačna dubina bušotine. 45

Slika 7.1 Alkalijsko-feldspatski granit krupnozrnate strukture s ružičastim K-feldspatom, sivim kvarcom, sivozelenim albitom, intersticijskim crnim biotitom te sivkastim do tamnim sitnozrnatim nakupinama hornblende, biotita i albita. Prisutne su i tanke crne pukotine ispunjene stilpnomelanom. Privlaka-1, J-5, interval 1140 – 1141,5 m. 46

Slika 7.2 Alkalijsko-feldspatski granit s izraženom porfiroidnom strukturom. Krupnija zrna K-feldspata i kvarca okružena su granofirskim prorastanjem navedenih minerala. Vidljiv je crni intersticijski biotit te sitnozrnate nakupine hornblende, biotita i albita. Privlaka-1, J-3, interval 1010 – 1011 m.....47

Slika 7.3 Uzorak alkalijsko-feldspatskog granita s izraženim alteracijama. Jasno su vidljive nepravilne isprepletene pukotine ispunjene crvenim hematitom. Privlaka-1, J-3, interval 1010 – 1011 m. 47

Slika 7.4 Mikrogranularna mafitna enklava (označena strelicom) u porfiroidnom alkalijsko-feldspatskom granitu. Privlaka-1, J-5, interval 1140 – 1141,5 m. 48

Slika 7.5 Alotriomorfno zrnata struktura alkalijsko-feldspatskog granita Privlake. Na slici su prepoznatljivi K-feldspat (K-fsp) koji je izrazito alteriran u minerale glina te svježi kvarc (Qtz) s unduloznim potamnjenjem. Vidljiva su i prorastanja između K-feldspata i kvarca. Privlaka-1, J-5, interval 1140 – 1141,5 m. N+ 49

Slika 7.6 Prorastanja kvarca (Qtz) i pertita (Kfs) u porfiroidnom varijetetu, u kojem su izražene hidrotermalne alteracije. Zrna pertita su izrazito alterirana u minerale glina. Uočljive su i brojne prsline ispunjene hematitom. Privlaka-1, J-3, interval 1010 – 1011 m. N- 50

Slika 7.7. Nakupina alteriranog prizmatičnog albita (Ab) s kloritom (Chl) i epidotom (Ep), koji predstavljaju alteracijski produkt primarne hornblende i biotita. Na slici su vidljivi kloritizirani biotit (Bt) i alterirana hornblenda (Hbl). Privlaka-1, J-5, interval 1140 – 1141,5 m. N+ 51

Slika 7.8 Intersticijski biotit (Bt) s uklopcima cirkona (Zrn) i opakog minerala (Oxi). Na slici su vidljivi fluorit (Fl) i pertit (K-fsp) alteriran u minerale gline. Privlaka-1, J-2, interval 995 – 996 m. N- 52

Slika 7.9 Prorastanja pertita (K-fsp), kvarca (Qtz) i biotita (Bt) u porfiroidnom varijetetu alkalijsko-feldspatskog granita. Privlaka-1, J-3, interval 1010 – 1011 m. N+ 53

Slika 7.10 Nakupina hornblende (Hbl), biotita (Bt) i albita (Ab). Na slici su također vidljivi titanit (Ttn) i opaki minerali (Oxi). Privlaka-1, J-5, interval 1140 – 1141,5 m. N+ 54

Slika 7.11 Intersticijski allanit (Aln) s prijelazom u epidot (Ep). Na slici su također vidljivi kvarc (Qtz), pertit (Kfs), albit (Ab), klorit (Chl) i stilpnomelan (Stp). Privlaka-1, J-5, interval 1140 – 1141,5 m. N+ 55

Slika 7.12 Na slici je vidljiv intersticijski fluorit (Fl), zonalni alterirani albit (Ab), biotit (Bt) i opaki mineral (Oxi). Privlaka-1, J-5, interval 1140 – 1141,5 m. N- 56

Slika 7.13 Alkalijsko feldspatski mikrogranit Privlake. Stijena je intenzivno alterirana te ima zelenkastu boju. Privlaka-2, J-1, interval 1028 – 1029,5 m. 57

Slika 7.14 Granofirska prorastanja kvarca (Qtz) i K-feldspata (Kfs). Privlaka-2, J-1, interval 1028 – 1029,5 m. N-.....58

Slika 7.15 Albit (Ab) obrubljen pertitom koji mikrografski prorasta s kvarcom(Qtz). Jasno je uočljiva eksolucija kalijskog feldspata (Kfs). Privlaka-2, J-2, interval 1120 – 1123 m N+ 59

Slika 7.16 Alkalijsko-feldpatski sijenit krupnozrnate porfiroidne strukture. K-feldspat daje stijeni karakterističnu ružičastu boju. Đeletovci-48, J-5, interval 1093 – 1099 m.....60

Slika 7.17 Alkalijsko-feldpatski sijenit kataklastične teksture. U stijeni su prisutne mnogobrojne pukotine ispunjene epidotom, kloritom ili karbonatom. Đeletovci-48, J-5, interval 1093 – 1099 m. 61

Slika 7.18 Alkalijsko-feldspatski sijenit porfiroidne strukture. Na slici su prepoznatljiva krupna zrna K-feldspata (Kfs), okruženog sitnijim albitom (Ab) i vrlo sitnim intersticijskim kvarcom (Qtz). Na slici je prepoznatljiv i intersticijski biotit (Bt). Đeletovci-48, J-5, interval 1093 – 1099 m. N+.....62

Slika 7.19 Hornblenda (Hbl) u alkalijsko-feldspatskom sijenitu. Na slici su također vidljivi albit (Ab) s distorzijom sraslačkih lamela, K-feldspat (K-fsp) i kvarc (Qtz). Đeletovci-48, J-5, interval 1093 – 1099 m. N+.....63

Slika 7.20 Porfiroidni granit Županje. Na slikama je jasno vidljiv prizmatični megakristal K-feldspata. Osnovna masa sastoji se od crvenkastog K-feldspata, narančastog plagioklasa i sivoga kvarca. Županja-3, J-2, interval 1427 – 1430 m.....64

Slika 7.21 Kataklastična tekstura u porfiroidnom granitu. Županja-3, J-2, interval 1427 – 1430 m. 65

Slika 7.22 Na slici je vidljiv ortoklas (Kfs) s vrlo sitnim uklopcima albita (Ab), zatim veći prizmatični albit u gornjem desnom kutu slike te anhedralni kvarc. Ortoklas i albit su alterirani. Županja-3, J-2, interval 1427 – 1430 m. N+ 65

Slika 7.23 Megakristal ortoklasa (K-fsp) s uklopkom albita (Ab). Na slici su također vidljivi kvarc (Qtz) i klorit (Chl). Županja-3, J-2, interval 1427 – 1430 m. N- 66

Slika 7.24 Riolit sferulitne teksture. Županja-3, J-2, interval 1427 – 1430 m.....67

Slika 7.25 Fenokristali kvarca (Qtz) u riolitu. Vidljivo je da K-feldspat (K-fsp) uklapa sitni štapićasti albit (Ab). U intersticijskom prostoru nalazi se agregat sitnolističavog sericita (Ser). Županja-3, J-2, interval 1427 – 1430 m. N+ 68

Slika 7.26 Milonitni gnajs bušotine Tovarnik-2. Sastoji se od ružičastog lećastog i nepravilnog agregata u sivozelenom matriksu. Vidljive su pukotine ispunjene crvenosmeđim karbonatom. Tovarnik-2, J-2, interval 1568 – 1570 m.....69

Slika 7.27 Dvije domene unutar milonitnog gnajsa. Crvenom strelicom označena je domena sastavljena od poligonalnih zrna alteriranih feldspata. Jasno je vidljiv svježi mikroklin (Mc), kvarc (Qtz) i biotit (Bt). Tovarnik-2, J-2, interval 1568 – 1570 m. N+ 70

Slika 7.28 Kvarc (Qtz), muskovit (Ms), biotit (Bt), klorit (Chl) i granat (Grt) u milonitnom gnajsu. Tovarnik-2, J-3, interval 1641 – 1642,8 m. N- 71

Slika 7.29 Milonitni gnajs područja Đeletovci. U tamnozelenom matriksu nalaze se ružičasti porfiroklasti feldspata i lećasti agregati bijelog kvarca i sitnijeg ružičastog feldspata. 72

Slika 7.30 Porfiroklast mikroklina (Mc) sa sitnozrnatim obrubom dominantno sastavljenim od kvarca (Qtz). Prepoznatljiv je i sekundarni klorit (Chl). Đeletovci-34, J-7, interval 1097 – 1100 m. N+.....73

Slika 7.31 Nakupine muskovita (Ms) i biotita (Bt), kvarc (Qtz) i granat (Grt) atolnog oblika u milonitnom gnajsu Đeletovaca. Đeletovci-1, J-5, interval 1156 – 1158,5 m. N-.....74

Slika 7.32 Tanka žila granodiorita u monzodioritu. Monzodiorit sadrži i tamne nakupine hornblende. Obod-34, J-17, interval 2394 – 2403 m. 75

Slika 7.33 Granodiorit s uglatim i nepravilnim enklavama hornblenda dijabaza. Na granici s enklavama prisutan je leukokratni halo unutar granodiorita. Obod-34, J-17, interval 2394 – 2403 m.....76

Slika 7.34 Granodiorit sa zaobljenim enklavama hornblenda dijabaza, koje imaju različite dimenzije, (od 1 cm do preko 10 cm). Obod-34, J-17, interval 2394 – 2403 m. 76

Slika 7.35 Granodiorit s enklavama hornblenda dijabaza različite veličine i oblika. Osim enklava koje imaju jasne granice s graniodioritom, strelicom je označena nepravilna i difuzna granica. Obod-34, J-17, interval 2394-2403 m. 77

Slika 7.36 Miješanje granodiorita (dolje lijevo) i mafitne hornblenda dijabaz enklave. Krupni sitasti plagioklas (Pl) s uklopcima sitne hornblende (Hbl), anhedralni ortoklas (Kfs), biotit (Bt), intersticijski kvarc i sekundarni klorit. Obod-34, J-19, interval 2407 – 2413,49 m. N+ 77

Slika 7.37 Granodioritna žila (krupnozrnato) i monzodiorit (sitnozrnato). Na slici su prepoznatljivi plagioklas (Pl), hornblenda (Hbl), ortoklas (Kfs), kvarc (Qtz) i biotit (Bt). Obod-34, J-19, interval 2407 – 2413,49 m. N+.....78

Slika 7.38 Monzodiorit. Stijena je melanokratna zbog velikog udjela feromagnezijskih minerala. U stijeni su vidljive brojne pukotine ispunjene zelenkastim sekundarnim mineralima. Obod-34, J-21, interval 2475 – 2476,3 m. 79

Slika 7.39 Monzodiorit. Vidljive su tamne nakupine hornblende homogeno raspršene u stijeni. Obod-34, J-17, interval 2394-2403 m. 79

Slika 7.40 Blago zonalni plagioklas (Pl), s djelomično sericitiziranom (Ser) jezgrom, hornblenda (Hbl), K-feldspat (Kfs) koji uklapa hornblendu. Obod-34, J-21, interval 2475 – 2476,3 m. N+ ..80

Slika 7.41 Nakupine hornblende (Hbl), plagioklas (Pl), biotit (Bt) i K-feldspat (Kfsp) u hornblenda monzodioritu. Crvenom strelicom je označena pukotina ispunjena kloritom (Chl). Obod-34, J-21, interval 2475 – 2476,3 m. N+ 81

Slika 7.42 Sitasti plagioklas (Pl) djelomično alteriran u klorit (Chl), sadrži uklopke hornblende (Hbl). Obod-34, J-22, interval 2570 – 2571,7 m. N+.....82

Slika 7.43 Plagioklas (Pl), hornblenda (Hbl), ortoklas (Kfs) koji poikilitno uklapa plagioklas, hornblendu i biotit (Bt), i intersticijski kvarc (Qtz). Obod-34, J-21, interval 2475 – 2476,3 m. N+ 83

Slika 7.44 Plagioklas (Pl), hornblenda (Hbl) i intersticijski kvarc (Qtz) u hornblenda monzodioritu. Obod-34, J-21, interval 2475 – 2476,3 m. N+.....84

Slika 7.45 Granodiorit serijatne strukture. Plagioklas (Pl) je prizmatičan, ortoklas (Kfs) anhedralan, kvarc (Qtz) intersticijski, biotit (Bt) anhedralan. Na slici je u crvenoj kružnici označen sitni euhedralni kristal cirkona (Zrn). Obod-34, J-17, interval 2394 – 2403 m. N+.....85

Slika 7.46 Granodiorit s mikrogranularnom mafitnom enklavom (MME). Stijena ima serijatnu strukturu, a sastoji se dominantno od plagioklasa (Pl), ortoklasa (Kfs), intersticijskog kvarca (Qtz), biotita (Bt) i hornblende (Hbl). Obod-34, J-17, interval 2394 – 2403 m. N+ 86

Slika 7.47 Felzitna enklava u granodioritu. Plagioklas (Pl) je orijentiran paralelno u odnosu na rub enklave. Osim plagioklasa, prepoznatljiv je ortoklas (Kfs), biotit (Bt) i kvarc (Qtz). U enklavi su prisutni mikroklin, albit, kvarc i biotit. Obod-34, J-17, interval 2394 – 2403 m. N+ 88

Slika 7.48 Nakupina hornblende (Hbl) u hornblenda dijabazu. Na slici je vidljiv i plagioklas (Pl). Obod-34, J-17, interval 2394 – 2403 m. N+ 90

Slika 7.49 Porfiroidni hornblenda dijabaz. Bušotina Lacići-1A, J-3, interval 2402 – 2403,1 m. .91

Slika 7.50 Porfiroidni hornblenda dijabaz s nakupinom fenokristala plagioklasa (Pl) u kojoj se nalazi pukotina ispunjena sitnim zrnima hornblende (Hbl). Na slici su vidljivi i sitni listići biotita (Bt). Lacići-1A, J-3, interval 2402-2403,1 m. N+.....92

Slika 7.51 Kontakt između granodiorita (a) i bazaltnog andezita (b). Bazaltni andezit sadrži pukotine koje mogu biti posljedica brzog hlađenja. Obod-34, J-19, interval 2407 – 2413,49 m. .93

Slika 7.52 Kontakt između granodiorita (dolje lijevo) i bazaltnog andezita (gore desno). Sama kontaktna zona izdvojena je žutim linijama. U granodioritu su prepoznatljivi plagioklas (Pl), ortoklas (Kfs), kvarc (Qtz), biotit (Bt) i sekundarni klorit. U raspucalom bazaltnom andezitu vidljivi su štapićasti fenokristali plagioklasa (Pl). Obod-34, J-19, interval 2407 – 2413,49 m. N+ 94

Slika 7.53 Bazaltni andezit sa sitnim fenokristalima štapićastog plagioklasa (Pl) skeletalne strukture. Stijena sadrži i sekundrani kvarc (Qtz). Obod-34, J-19, interval 2407-2413,49 m. N+ 95

Slika 7.54 Holokristalni dacit.Vidljivi su bijeli fenokristali plagioklasa u tamnoj osnovnoj masi. Lacići-1S, J-9, interval 3000 – 3001,5 m. 96

Slika 7.55 Fenokristali plagioklasa (Pl) i biotita (Bt), mjestimično formiraju nakupine. Lacići-1S, J-9, interval 3000 – 3001,5 m. N+.....97

Slika 7.56 Fenokristali plagioklasa (Pl) i biotit (Bt) unutar osnovne mase. Fenokristal plagioklasa u sredini slike ima dvostruku jezgru sa zajedničkim rubom te pukotinu na lijevom rubu unutar koje se nalazi manji zonalni plagioklas. Lacići-1S, J-9, interval 3000 – 3001,5 m. N+.....98

Slika 7.57 Pukotina u fenokristalu plagioklasa (Pl) unutar koje je vidljivo granofirsko prorastanje kvarca i K-feldspata (Qtz+Kfs) kao i anhedralni listići biotita (Bt). Lacić-1S, J-9, interval 3000 – 3001,5 m. N+.....99

Slika 7.58 Povijanje vrpci biotita (Bt) oko fenokristala plagioklasa (Pl). Vidljiv je i klorit (Chl), kao produkt alteracije biotita. Laci-1S, J-9, interval 3000 – 3001,5 m. N-.....100

Slika 7.59 Leukokratni dacit porfirne strukture. Bušotina Lacić-1, J-10, interval 3323,5-3326 m. 101

Slika 7.60 Porfirni dacit s fenokristalima biotita (Bt), kvarca (Qtz) i plagioklasa (Pl). Sekundarni kalcit (Cal) kristalizira po plohama kalavosti u biotitu. Lacić-1, J-10, interval 3323,5-3326 m. N+ 102

Slika 7.61 Gnajs. Bušotina Obod-34, J-20, interval 2413,5 – 2417,3 m. 103

Slika 7.62 Porfiroklast plagioklasa (Pl), agregat kvarca (Qtz) i biotit (Bt). U donjem dijelu slike vidljiva je sitnozrnata domena. Obod-34, J-20, interval 2413,5 – 2417,3 m. N+ 104

Slika 7.63 Porfiroklast ortoklasa (Kfs) koji uklapa kvarc (Qtz) i biotit (Bt). Obod-34, J-20, interval 2413,5 – 2417,3 m. N+ 105

Slika 7.64 Milonitni gnajs. Marjanci-4, J-9, interval 3571 – 3571,5 m.....106

Slika 7.65 Zonalni plagioklas (Pl), dinamički rekristalizirani kvarc (Qtz), savijeni listići klorita (Chl) i allanit-epidot (Aln-ep) u milonitnom gnajsu. Marjanci-4, J-9, interval 3571 – 3571,5 m. N+.....107

Slika 7.66 K-feldspat (Kfs) s nepravilnim lamelama albita (označeno crvenom strelicom), subhedralni apatit (Ap), allanit-epidot (Aln-ep) i klorit (Chl). Marjanci-4, J-9, interval 3571 – 3571,5 m. N+.....108

Slika 7.67 Iskrivljeni listić biotita (Bt), s kalcitom (Cal) izlučenim po pukotinama kalavosti te kloritom (Chl). Prepoznatljivi su i plagioklas (Pl) i kvarc (Qtz). Marjanci-4, J-9, interval 3571 – 3571,5 m. N+.....109

Slika 7.68 Zonalni euherdalni allanit (Aln) sa sekundarnim allanit-epidotom (Aln-ep). Na slici je vidljiv dinamički deformirani kvarc (Qtz) te plagioklas (Pl) sa sericitiziranom jezgrom i relativno svježim rubom. Marjanci-4, J-9, interval 3571 – 3571,5 m. N+.....110

Slika 7.69 Monzogranit s prepoznatljivim bijelim feldspatima, sivim kvarcom i tamnim biotitom. Osijek-2A, J-2, interval 1322,3 – 1326,2 m. 111

Slika 7.70 K-feldspat (Kfs) s uklopcima plagioklasa (Pl), kvarca (Qtz) i muskovita (Ms). Osijek-2A, J-2, interval 1322,3 – 1326,2 m. N+.....112

Slika 7.71 Simplektiti muskovita i kvarca na granici između muskovita (Ms) s plagioklasom (Pl) i K-feldspatom (Kfs), mirmekit na granici plagioklasa i K-feldspata. Na slici su vidljiva i zrna kvarca (Qtz). Osijek-2A, J-2, interval 1322,3 – 1326,2 m. N+.....113

Slika 7.72 Leukogranit. Torjanski Rid-1, J-3, interval 1146 – 1148 m. 114

Slika 7.73 Kvarc (Qtz) s obrubom od mikrokristalastog kvarca, K-feldspat (Kfs), alterirani plagioklas (Pl) i muskovit (Ms). Torjanski Rid-1, J-3, interval 1146 – 1148 m. N+.....115

Slika 7.74 Kvarc (Qtz) s unduloznim potamnjenjem, K-feldspat (Kfs), trošni plagioklas (Pl) i muskovit (Ms). Torjanski Rid-1, J-3, interval 1133 – 1134,4 m. N+ 116

Slika 8.1 Magnetit (Mag), ilmenit (Ilm), titanit (Ttn) i stilpnomelan (Stp) unutar alterirane hornblende (Hbl). Uzorak Pri-1-5. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona.....118

Slika 8.2 Cirkon (Zrn), magnetit (Mag) s igličastim eksolucijama ilmenita, okružen ilmenitom (Ilm) i titanitom (Ttn) u alkalijsko-feldspatskom granitu. Uzorak Pri-1-5. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona.....119

Slika 8.3 Anhedralni biotit (Bt) u cirkonu (Zrn) i magnetitu (Mag). Magnetit sadrži igličaste eksolucije ilmenita i uklopke apatita (Ap). Na slici su vidljivi i resorbirana hornblenda (Hbl) i stilpnomelan (Stp). Uzorak Pri-1-5. Fotografija je snimljena pomoću povratno raspršenih elektrona. 120

Slika 8.4 Magnetit (Mag) s igličastim eksolucijama ilmenita, uklopak apatita (Ap) u cirkonu (Zrn) asociranom s K-feldspatom (Kfs). Između magnetita i cirkona nalazi se titanit (Ttn). Uzorak Pri-1-5. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona. 121

Slika 8.5 Cirkon (Zrn) s uklopcima apatita (Ap) i uklopkom albita (Ab), asociran s ilmenitom (Ilm). Uzorak Pri-1-5. Fotografija je snimljena pomoću povratno raspršenih elektrona. 122

Slika 8.6 Apatit (Ap) asociran s ilmenitom (Ilm). Na slici je vidljiv i kvarc (Qtz). Uzorak Pri-1-5. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona. 123

Slika 8.7 Energetsko disperzivni spektar (EDS) titanita iz uzorka Pri-1-5. 123

Slika 8.8 Energetsko disperzivni spektar (EDS) torita iz uzorka Pri-1-5. 124

Slika 8.9 Endergetsko disperzivni spektar (EDS) Ca-U-Th-Nb mineralne faze iz uzorka Pri-1-5. 125

Slika 8.10 Energetsko disperzivni spektar (EDS) Y mineralne faze iz uzorka Pri-1-5. 125

Slika 8.11 Energetsko disperzivni spektar (EDS) allanita iz uzorka Pri-1-5.....126

Slika 8.12 Prutićasti stilpnomelan (Stp) u pertitu. Jasno je vidljivo da se pertit sastoji od K-feldspata (Kfs) u kojem se nalaze albitne (Ab) eksolucijske lamele. Uzorak Pri-1-5. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona. 126

Slika 8.13 Energetsko disperzivni spektar (EDS) stilpnomelana iz uzorka Pri-1-5. 127

Slika 8.14 Alteracija ilmenita (Ilm) u titanit (Ttn). Na slici su također vidljivi pirit (Py) i apatit (Ap). Uzorak Ob-34B. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona. 128

Slika 8.15 Pukotina u magnetitu (Mag) ispunjena titanitom (Ttn). Magnetit sadrži uklopak apatita (Ap). Uzorak Ob-34B. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona. 129

Slika 8.16 Energetsko disperzivni spektar pirita u uzorku Ob-34B. 129

Slika 8.17 Energetsko disperzivni spektar halkopirita u uzorku Ob-34B.....130

Slika 8.18 Allanit (Aln) s epidotom (Ep) po rubovima, sadrži monacit (Mnz) i magnetit (Mag). Uzorak Mar-4-9. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona. 131

Slika 8.19 Kompleksna sulfatna intersticijska mineralizacija s anhidritom (Anh) u jezgri i barit-celestinom (Brt-Cls) po rubu. Uzorak Mar-4-9. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona. 132

Slika 8.20 Energetsko disperzivni spektar anhidrita u uzorku Mar-4-9. 133

Slika 8.21 Energetsko disperzivni spektar barit-celestina u uzorku Mar-4-9.....133

Slika 8.22 Uzorak monzogranita s biotitom (Bt) koji sadrži muskovit (Ms), rutil (Rt) i kalcit izlučen po pukotinama kalavosti. Uzorak Os-2A-2. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona. 134

Slika 8.23 Energetsko-disperzivni spektar (EDS) monacita iz uzorka Os-2A-2. 135

Slika 8.24 Pirit (Py) u pukotini unutar K-feldspata (Kfs). Uzorak Os-2A-2. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona. 135

Slika 8.25 Albit (Ab), muskovit (Ms), K-feldspat (Kfs) i kvarc (Qtz). Na granici muskovita i K-feldpata vidljiva su simplektitna prorastanja kvarca i muskovita. Uzorak TR-1-2. Fotografija je snimljena pomoću povratno raspršenih elektrona. 136

Slika 8.26 Simplektitna prorastanja kvarca (Qtz) i muskovita (Ms) na granicama s K-feldspatom (Kfs). Uzorak TR-1-2. Fotografija je snimljena pomoću povratno raspršenih elektrona. 137

Slika 8.27 Energetsko-disperzivni spektar (EDS) muskovita obogaćenog željezom iz uzorka TR-1-2.....138

Slika 8.28 Energetsko-disperzivni spektar (EDS) muskovita iz uzorka TR-1-2. 138

Slika 9.1 Trokomponentni Ab-An-Or dijagram analiziranih feldspata. Or – ortoklas, San – sanidin, Anor – anortoklas, Ab – albit, Olig – oligoklas, And – andezin, Lab – labrador, By – bitovnit, An – anortit. 143

Slika 9.2 Klasifikacijski dijagram analiziranih amfibola iz uzoraka Ob-34B i Pri-1-5 (Leake i dr. 1997). Si pfu – silicij po formulskoj jedinici. 147

Slika 9.3 Klasifikacijski dijagram $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$-Al(IV) analiziranog biotita. 152

Slika 9.4 Sastav analiziranih biotita u dijagramu Mg – ukupni Al (Al total), po Nachit (1985). Sid-siderofilit, Phlog-flogopit, East-eastonit, Ann-anninit, ZW- zinnwaldit. 154

Slika 9.5 Sastav biotita u dijagramu a) MgO-Al_2O_3; b) FeO-Al_2O_3-MgO; c) FeO-MgO; d) MgO-Al_2O_3. A-alkalijski, P-peraluminijski, C-kalcijsko-alkalijski. Diskriminacijski dijagrami biotita po Abdel-Rahman (1994). 155

Slika 9.6 Trokomponentni Mg-Ti-Na dijagram za razlikovanje primarnog od sekundarnog muskovita (Miller i dr., 1981; Tartèse i Boulvais, 2010). 158

Slika 10.1 Binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) za glavne elemente u stijenama Slavonsko-srijemske depresije. U dijagramu SiO_2 – K_2O prikazane su i granice magmatskih serija po Pecerillo i Taylor (1976). Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5). 170

Slika 10.2 Dijagram molarnog odnosa A/CNK [$Al_2O_3/(CaO+K_2O+Na_2O)$] i A/NK [$Al_2O_3/(K_2O+Na_2O)$] (Shand, 1927) za stijene Slavonsko-srijemske depresije. Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5). 171

Slika 10.3 Klasifikacija na temelju odnosa oksida glavnih elemenata za stijene Slavonsko-srijemske depresije po Frost i dr. (2001): a) dijagram SiO_2 – $FeO_{tot}/(FeO_{tot}+MgO)$; b) dijagram SiO_2 – Na_2O+K_2O-CaO; c) dijagram ASI – A/NK. Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5). 172

Slika 10.4 Binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) za analizirane stijene područja Obod. U dijagramu SiO_2 – K_2O prikazane su i granice magmatskih serija po Pecerillo i Taylor (1976). Ob-Lac mzd – skupna oznaka za monzodiorite (Ob-34B, Ob-34-22, Ob-34, Lac-1S-4)175

Slika 10.5 Dijagram molarnog odnosa A/CNK [Al_2O_3/(CaO+K_2O+Na_2O)] i A/NK [Al_2O_3/(K_2O+Na_2O)] (Shand, 1927) za stijene područja Obod. Ob-Lac mzd – skupna oznaka za monzodiorite (Ob-34B, Ob-34-22, Ob-34, Lac-1S-4) 177

Slika 10.6 Klasifikacija na temelju odnosa oksida glavnih elemenata za stijene područja Obod po Frost i dr. (2001): a) dijagram SiO_2 – FeO_{tot}/(FeO_{tot}+MgO); b) dijagram SiO_2 – Na_2O+K_2O-CaO; c) dijagram ASI – A/NK. Ob-Lac mzd – skupna oznaka za monzodiorite (Ob-34B, Ob-34-22, Ob-34, Lac-1S-4).....178

Slika 10.7 Binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) za analizirane granitoide istočnog dijela Dravske depresije izuzevši područje Obod. U dijagramu SiO_2 – K_2O prikazane su i granice magmatskih serija po Pecerillo i Taylor (1976). 179

Slika 10.8 Dijagram molarnog odnosa A/CNK [Al_2O_3/(CaO+K_2O+Na_2O)] i A/NK [Al_2O_3/(K_2O+Na_2O)] (Shand, 1927) za analizirane granitoide istočnog dijela Dravske depresije izuzevši područje Obod. 180

Slika 10.9 Klasifikacija na temelju odnosa oksida glavnih elemenata po Frost i dr. (2001) za analizirane granitoide istočnog dijela Dravske depresije izuzevši područje Obod: a) dijagram SiO_2 – FeO_{tot}/(FeO_{tot}+MgO); b) dijagram SiO_2 – Na_2O+K_2O-CaO; c) dijagram ASI – A/NK. .180

Slika 10.10 Binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) za odabrane elemente u tragovima u odnosu na SiO_2, za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije. Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5). 183

Slika 10.11 *Spider* dijagram elemenata u tragovima normaliziranih na vrijednosti primitivnog plašta prema Sun i McDonough (1989) za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije: (a) alkalijsko feldpatske granite (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5), (b) milonitne gnajseve (Tov-2-2, Đt-1-5); (c) alkalijsko-feldspatski sijenit (Đt-48-5) i mikrogranit (Pri-2-1); (d) porfiroidni granit (Ž-3-2) i riolit (Ž-3-2R). 185

Slika 10.12 Binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) za odabrane elemente u tragovima u odnosu na SiO_2, za analizirane stijene područja Obod. Ob-Lac mzd – skupna oznaka za uzorke monzodiorita (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B, Lac-1S-4). 188

Slika 10.13 *Spider* dijagram elemenata u tragovima normaliziranih na vrijednosti primitivnog plašta prema Sun i McDonough (1989) za analizirane stijene područja Obod: a) metadijabaz (Lac-1A-3), hornblenda dijabaz (Ob-34-9D), bazalt (Ob-34-2B); b) monzodioriti (Ob-34, Ob-34B, Ob-34-22, Lac-1S-4); c) granodiorit s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9G) i granodiorit (Ob-34-8G); d) dacit (Lac-1S-8D) i gnajs (Ob-34-22G). 190

Slika 10.14 Binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) za odabrane elemente u tragovima u odnosu na SiO_2, za analizirane stijene istočnog dijela Dravske depresije izuzevši područje Obod. 192

Slika 10.15 *Spider* dijagram elemenata u tragovima normaliziranih na vrijednosti primitivnog plašta prema Sun i McDonough (1989) za analizirane kristalinske stijene područja istočne Dravske depresije, izuzevši područje Obod. 193

Slika 10.16 Dijagram raspodjele koncentracija elemenata rijetkih zemalja normaliziranih na vrijednosti hondrita prema Nakamura (1974) za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije: (a) alkalijsko feldpatske granite (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5), (b) milonitne gnajseve (Tov-2-2, Đt-1-5); (c) alkalijsko-feldspatski sijenit (Đt-48-5) i mikrogranit (Pri-2-1); (d) porfiroidni granit (Ž-3-2) i riolit (Ž-3-2R). 195

Slika 10.17 Dijagram raspodjele koncentracija elemenata rijetkih zemalja normaliziranih na vrijednosti hondrita prema Nakamura (1974) za analizirane stijene područja Obod: a) metadijabaz (Lac-1A-3), hornblenda dijabaz (Ob-34-9D), bazaltni andezit (Ob-34-2B); b) monzodioriti (Ob-34, Ob-34B, Ob-34-22, Lac-1S-4); c) granodiorit s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9G) i granodiorit (Ob-34-8G); d) dacit (Lac-1S-8D) i gnajs (Ob-34-22G). 34-9G) 199

Slika 10.18 Dijagram raspodjele koncentracija elemenata rijetkih zemalja normaliziranih na vrijednosti hondrita prema Nakamura (1974) za skupinu analiziranih granitoida područja istočne Dravske depresije, izuzevši područje Obod. 201

Slika 12.1 Sastav amfibola iz uzoraka alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-5) i monzodiorita (Ob-34) prikazan u dijagramu ^{IV}Al-Fe/(Fe+Mg), koji služi za određivanje uvjeta fugaciteta kisika (Anderson i Smith, 1995). 206

Slika 12.2 Diskriminacijski dijagram 10000*Ga/Al – Zr za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije, koji omogućuje razlikovanje A-tipa granita od I i S-tipova (Whalen et al., 1987). Pri-1 – skupuna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5).....212

Slika 12.3 Dijagrami za razlikovanje granita I i S-tipa za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije: a) K_2O – Na_2O (Chapell i White, 1974); b) SiO_2 – A/CNK (Chapell i White, 1974); c) SiO_2 – Rb/Zr (Harris i dr. 1986). A/CNK – molarni omjer (Al/Ca+Na+K). Pri-1 – skupuna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5). 213

Slika 12.4 Binarni dijagram Th – Ni za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije. Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5). 215

Slika 12.5 Dijagrami za razlikovanje frakcijske kristalizacije od drugih procesa koji su mogli djelovati na evoluciju magme (preuzeto iz Sarjoughian i dr., 2015) za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije. Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5). 216

Slika 12.6 Dijagrami a) Ba – Sr; b) Sr – Rb; c) Sr/Ba – Rb/Sr za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije. Vektori prikazuju utjecaj frakcionacije plagioklasa (Pl), K-feldspata (Kfs), hornblende (Hbl) i biotita (Bt) na sastav preostale taljevine i preuzeti su iz Dall'Agnol, i dr. (1999a). Velike strelice označavaju pretpostavljene trendove frakcijske kristalizacije u analiziranim stijenama. Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5). 217

Slika 12.7 Dijagram Eu/Eu* – Ba za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije. Vektori označavaju frakcionacijske trendove za plagioklas (P) i K-feldspat (AF) i preuzeti su iz Eby (1990). Strelica označava pretpostavljeni frakcionacijski trend od alkalijsko-feldspatskog sijenita (Đt-48-5) do mikrogranita (Pri-2-1). 219

Slika 12.8 Dijagrami za razlikovanje različitih izvorišta magme za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije: a) Th – Th/U; b) Nb/Ta – Zr/Hf (Yang et al., 2008). Sastav donje (LCC) i srednje kontinentalne kore (MCC) prema Rudnick i Gao (2003); sastav normalnog tipa srednjoceanskog hrpta (N-MORB) prema Sun i dr. (2008); sastav primitivnog plašta prema

McDonough i Sun (1995) te sastav kontinentalne kore prema Taylor i McLennan (1985). Preuzeto iz Sarjoughian i dr., (2015).....220

Slika 12.9 Prikaz moguće evolucije magme iz koje su nastali alkalijsko-feldspatski granit, alkalijsko-feldspatski sijenit i mikrogranit: a) rana faza frakcijske kristalizacije, kumulacija kristala koja je mogla biti uzrokovana injekcijom nove magme; b) kristalizacija alkalijsko-feldpatskog sijenita, daljnja frakcijska kristalizacija; c) separacija taljevine obogaćene vodom od kristalne kaše; d) konačna kristalizacija alkalijsko-feldspatskog granita i mikrogranita.....223

Slika 12.10 Diskriminacijski dijagrami za razlikovanje tektonskog porijekla granita (Pearce i dr, 1984) za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije: WPG – graniti unutar ploče (eng. *within plate granite*), syn-COLG – sinkolizijski graniti (eng. *syncollisional granite*), VAG – graniti vulkanskog luka (*eng. volcanic arc granite*); ORG – graniti oceanskog hrpta (eng. *ocean ridge granite*). Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5). 225

Slika 12.11 Diskriminacijski dijagrami za razdvajanje A_1 i A_2 tipa granita (Eby, 1992). Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5).....226

Slika 12.12 Trokomponentni Fe_2O_3*5 – Na_2O+K_2O – (CaO+MgO)*5 za razdvajanje A_1 i A_2-tipa granita po Grebennikov (2014). 227

Slika 12.13 Usporedba kemizma elemenata u tragovima, analiziranih AF granita i s njima asociranih gnajseva s literaturnim podatcima za Požešku goru (PG iz Schneider, 2017) i Kozaru (Koz1 iz Cvetković i dr, 2014; Koz2 iz Ustaszewski i dr., 2008). Normalizacija po (Sun i McDonough, 1986) 228

Slika 12.14 Usporedba raspodjele koncentracija REE analiziranih AF granita i s njima asociranih gnajseva s literaturnim podatcima za Požešku goru (PG iz Schneider, 2017) i Kozaru (Koz1 iz Cvetković i dr, 2014; Koz2 iz Ustaszewski i dr., 2008). Normalizacija po Nakamura (1974)....229

Slika 12.15 Predloženi tektonski model nastanka bimodalnog magmatizma u pred-lučnom bazenu na šavu između Jadranske i Europske ploče, tijekom razdoblja prije 87-81 Ma. Povlačenje subducirajuće ploče (*slab roll-back*) uzrokuje izdizanje astenosfere i parcijalno taljenje litosfernog plašta. Legenda: 1-astenosfera; 2-litosferni plašt; 3-oceanska kora; 4-kontinentalna

kora; 5-ofiolitni melanž; 6-ofiolitni kompleks; 7-more; 8-parcijalno taljenje litosfernog plašta; 9-konvekcija u astenosferi; 10-smjer povlačenja subducirajuće ploče; 11-ekstenzija; 12-normalni rasjed. Modificirano po Toljić i dr. (2018).....231

Slika 12.16 Predloženi model nastanka bimodalnog magmatizma u Savskoj zoni. Legenda: 1-astenosfera; 2-litosferni plašt; 3-kontinentalna kora; 4-bazična magma; 5-kisela magma. 232

Slika 12.17 Dijagrami za razlikovanje granita I i S-tpa za analizirane stijene područja Obod: a) K_2O – Na_2O (Chapell i White, 1974); b) SiO_2 – A/CNK (Chapell i White, 1974); c) SiO_2 – Rb/Zr (Harris i dr. 1986). Ob-Lac mzd – skupna oznaka za uzorke monzodiorita (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B i Lac-1S-4).....235

Slika 12.18 Binarni dijagrami a) SiO_2-Ni i b) Th-Ni za analizirane stijene područja Obod. Ob-Lac mzd – skupna oznaka za uzorke monzodiorita (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B i Lac-1S-4). 236

Slika 12.19 Dijagrami: a) La-La/Sm; b) Yb-La/Yb; c) Ce-Ce/Yb (preuzeto iz Sarjoughian i dr., 2015) za analizirane stijene područja Obod. Ob-Lac mzd – skupna oznaka za uzorke monzodiorita (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B i Lac-1S-4). 237

Slika 12.20 Dijagrami za razlikovanje različitih izvorišta magme za analizirane stijene područja Obod: a) Th – Th/U; b) (B) Nb/Ta – Zr/Hf (Yang et al., 2008). Sastav donje i srednje kontinentalne kore iz Rudnick i Gao (2003); N-MORB-a iz Sun i dr. (2008); primitivnog plašta iz McDonough i Sun (1995) te kontinentalne kore iz Taylor i McLennan (1985). Preuzeto iz Sarjoughian i dr. (2015). LCC – donja kontinentalna kora (eng. *lower continental crust*); MCC – srednja kontinentalna kore (eng. *middle continental crust*); N-MORB – normalni bazalt srednjooceanskog hrpta (eng. *normal mid-oceanic ridge basalt*). Ob-Lac mzd – skupna oznaka za uzorke monzodiorita (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B i Lac-1S-4). 239

Slika 12.21 Shematski prikaz nastanka kompleksnog magmatskog tijela iz bušotine Obod-34: a) frakcijska kristalizacija, izdizanje kisele magme u plitku magmatsku komoru i asimilacija okolnog materijala; b) izdizanje bazične magme i miješanje magmi u plićoj komori; c) konačna kristalizacija s novonastalom hibridnom litologijom. 242

Slika 12.22 Diskriminacijski Th-Nb/16-Hf/3 dijagram (Wood, 1980). N-MORB–normalni bazalt srednjooceanskog hrpta; E-MORB–obogaćeni bazalt srednjooceanskog hrpta; WPT–toleiitni

bazalt unutar ploče; WPA–alkalijski bazalt unutar ploče; IAT–toleiit otočnog luka; CAB–kalcijsko-alkalijski bazalt. 243

Slika 12.23 Dijagram Nb_N – Th_N (Saccani, 2015). Koncentracije Nb i Th normalizirane su na vrijednosti N-MORB, po Sun i McDonough (1989). IAT – toleiiti otočnog luka (eng. island arc tholeiite); BABB – bazalti zalučnog bazena (eng. back-arc basin basalt); CAB – kalcijsko-alkalijski bazalti (eng. calc-alkaline basalt); AB – alkalijski bazalti (eng. alkali bazalt); E-MORB – obogaćeni bazalti srednjooceanskog hrpta (eng. enriched mid-oceanic ridge basalt); N-MORB – normalni bazalti srednjooceanskog hrpta (eng. normal mid-oceanic ridge basalt). 244

Slika 12.24 Diskriminacijski dijagrami za razlikovanje tektonskog porijekla granita (Pearce i dr., 1984) za analizirane stijene područja Obod. WPG – graniti unutar ploče (eng. *within plate granite*), syn-COLG – sinkolizijski graniti (eng. *syn-collisional granite*), VAG – graniti vulkanskog luka (eng. *volcanic arc granite*); ORG – graniti oceanskog hrpta (eng. *ocean ridge granite*). Ob-Lac mzd – skupna oznaka za uzorke monzodiorita (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B i Lac-1S-4). 245

Slika 12.25 Usporedba spider dijagrama intruzivnih stijena područja Obod (crni prazni kružići) s intruzivnim kompleksom Kopaonika u Srbiji (svijetloplavo polje; Zelić i dr. 2011). Normalizacija po primitivnom plaštu (Sun i McDonough, 1989). 247

Slika 12.26 Usporedba dijagrama raspodjele koncentracija REE intruzivnih stijena područja Obod (crni prazni kružići) s intruzivnim kompleksom Kopaonika u Srbiji (svijetloplavo polje; Zelić i dr. 2011). Normalizacija po hondritu (Nakamura, 1974). 248

Slika 12.27 Usporedba spider dijagrama intruzivnih stijena područja Obod (crni prazni kružići) s intruzivnim kompleksom Pohorja u Sloveniji (svijetloružičasto polje; Altherr i dr., 1995). Normalizacija po primitivnom plaštu (Sun i McDonough, 1989). 249

Slika 12.28 Usporedba dijagrama raspodjele koncentracija REE intruzivnih stijena područja Obod (crni prazni kružići) s intruzivnim kompleksom Pohorja u Sloveniji (svijetloružičasto polje; Altherr i dr., 1995). Normalizacija po hondritu (Nakamura, 1974). 250

Slika 12.29 Usporedba spider dijagrama intruzivnih stijena područja Obod (crni prazni kružići) s intruzivnim stijenama podloge neogena u Zala bazenu u Mađarskoj (svijetloružičasto polje; Benedek i dr., 2004). Normalizacija po N-MORB (Sun i McDonough, 1989). 251

Slika 12.30 Usporedba dijagrama raspodjele koncentracija REE intruzivnih stijena područja Obod (crni prazni kružići) s intruzivnim stijenama podloge neogena u Zala Bazenu u Mađarskoj (svijetloružičasto polje; Benedek i dr., 2004). Normalizacija po hondritu (Nakamura, 1974). ...252

Slika 12.31 Dijagrami za razlikovanje granita I i S-tipa za analizirane stijene istočnog dijela Dravske depresije izuzevši područje Obod: a) K_2O – Na_2O (Chapell i White, 1974); b) SiO_2 – A/CNK (Chapell i White, 1974); c) SiO_2 – Rb/Zr (Harris i dr. 1986). 254

Slika 12.33 Diskriminacijski dijagrami za razlikovanje tektonskog porijekla granita (Pearce i dr., 1984) za analizirane stijene istočnog dijela Dravske depresije izuzevši područje Obod. WPG-graniti unutar ploče (eng. *within plate granite*), syn-COLG sinkolizijski graniti (eng. *syncollisional granite*), VAG-graniti vulkanskog luka (eng. *volcanic arc granite*); ORG-graniti oceanskog hrpta (eng. *ocean ridge granite*). 256

Slika 12.34 Usporedba *spider* dijagrama analiziranih stijena istočnog dijela Dravske depresije s literaturnim podatcima za Slavonske planine: SP I-tip – Slavonske planine I-tip (Pamić i Lanphere, 1991); SP S-tip – Slavonske planine S-tip (Pamić i Lanphere, 1991); PPK – Papučki kompleks (Horvat, 2004), PSK – Psunjski kompleks (Horvat, 2004). Normalizacija po primitivnom plaštu (Sun i McDonough, 1989) 257

Slika 12.35 Usporedba REE dijagrama analiziranih stijena istočnog dijela Dravske depresije s literaturnim podatcima za Slavonske planine: SP I-tip – Slavonske planine I-tip (Pamić i Lanphere, 1991); SP S-tip – Slavonske planine S-tip (Pamić i Lanphere, 1991); PPK – Papučki kompleks (Horvat, 2004), PSK – Psunjski kompleks (Horvat, 2004). Normalizacija po hondritu (Nakamura, 1974).....258

POPIS TABLICA

Tablica 5.1 Popis uzoraka s odgovarajućim oznakama, petrografskom odredbom i analizama koje su provedene. 15

Tablica 9.1 Kemijski sastav reprezentativnih feldspata. 141

Tablica 9.2 Kemijski sastav reprezentativnih amfibola. 146

Tablica 9.3 Kemijski sastav reprezentativnih zrna biotita 150

Tablica 9.4 Kemijski sastav reprezentativnih muskovita. 157

Tablica 9.5 Kemijski sastav reprezentativnih zrna magnetita. 159

Tablica 9.6 Kemijski sastav odabranih zrna ilmenita. 161

Tablica 9.7 Kemijski sastav odabranih zrna epidota. 163

Tablica 9.8 Kemijski sastav odabranih zrna klorita. 165

Tablica 10.1 Sadržaj oksida glavnih elemenata u mas. %, rezultati proračuna CIPW norme i najvažniji indeksi u analiziranim stijenama Slavonsko-srijemske depresije 169

Tablica 10.2 Sadržaj glavnih oksida elemenata u mas. %, rezultati proračuna CIPW norme i najvažniji indeksi u analiziranim stijenama istočnog dijela Dravske depresije. 173

Tablica 10.3 Koncentracije elemenata u tragovima izražene u ppm u analiziranim uzorcima iz Slavonsko-srijemske depresije. 182

Tablica 10.4 Koncentracije elemenata u tragovima izražene u ppm u analiziranim uzorcima iz istočnog dijela Dravske depresije. 187

Tablica 10.5 Koncentracije elemenata rijetkih zemalja u analiziranim stijenama Slavonsko-srijemske depresije, izražene u ppm. 194

Tablica 10.6 Vrijednosti koncentracija elemenata rijetkih zemalja za analizirane stijene istočnog dijela Dravske depresije, izražene u ppm. 198

Tablica 11.1 Rezultati analize izotopa stroncija $^{87}Sr/^{86}Sr$. 202

Tablica 12.1 Vrijednosti temperature zasićenosti cirkonijem. 204

Tablica 12.2 Vrijednosti dobivenih tlakova u kilobarima na temelju različitih empirijskih i eksperimentalnih Al-u-hornblendi barometara. 208

1. UVOD

U sklopu ovog rada analizirani su granitoidi koji se nalaze u podlozi neogenskih stijena na području istočne Hrvatske. Po suvremenim regionalno-geološkim konceptima (npr. Schmid i dr., 2008), područje istočne Hrvatske dijelom pripada tektonskoj megajedinici Tisi, koja predstavlja dio Europske ploče, a čiji je magmatsko-metamorfni kompleks nastajao tijekom hercinskog orogenetskog ciklusa, te dijelom Savskoj zoni, koja predstavlja kredno-paleogenski kolizijski šav, unutar kojeg se nalaze i različiti tipovi granita nastali tijekom alpske orogeneze. Hipoteza istraživanja prikazanog u ovom radu je da su granitoidi i s njima asocirane stijene u podlozi neogena istočne Hrvatske nastajali u različitim geotektonskim okvirima, da su produkt više orogenetskih ciklusa te da se u području podloge Panonskog bazena istočne Hrvatske mogu razlikovati granitoidi tektonske jedinice Tise i granitoidi Savske zone.

Cilj istraživanja je izdvajanje različitih tipova granitoida, utvrđivanje izvorišta magme i dominantnih procesa koji su utjecali na evoluciju magme, uvjeta kristalizacije granitnih plutona, uočavanje tragova post-magmatskih procesa, utvrđivanje geotektonskih okoliša u kojima su analizirani granitoidi nastajali te korelacija izdvojenih skupina granitoida s površinskim pojavama i njihov smještaj u odgovarajući regionalno-geološki kontekst.

Na temelju bušotinskih podataka poznato je da podlogu neogena na području istočne Hrvatske čine različite magmatske, metamorfne i sedimentne stijene, pri čemu značajnu površinu zauzimaju graniti i metamorfozirani graniti. Pamić (1986) kristalinske stijene podloge neogena hrvatskog dijela Panonskog bazena svrstava u sedam metamorfnih kompleksa, a na području obuhvaćenom ovim istraživanjem prepoznao je stijene Papučkog, Psunjskog, Radlovačkog i Prosarsko-motajičkog kompleksa. Pandžić (1986) podlogu tercijara u hrvatskome dijelu Panonskog bazena izdvaja u pet blokova, pri čemu najveći dio istočne Hrvatske uvrštava u Slavonski blok, a manji dio u Savsku zonu, koju autor povezuje s Vardarskom zonom. Pamić i Lanphere (1991) magmatske i metamorfne stijene u podlozi neogena, uključujući izdanke i uzorke iz bušotina, dijelom svrstavaju u u skupinu hercinskih migmatita i S-granita, a dijelom u progresivnometamorni kompleks. Pamić (1993) vulkanite i s njima asocirane hipoabisalne stijene

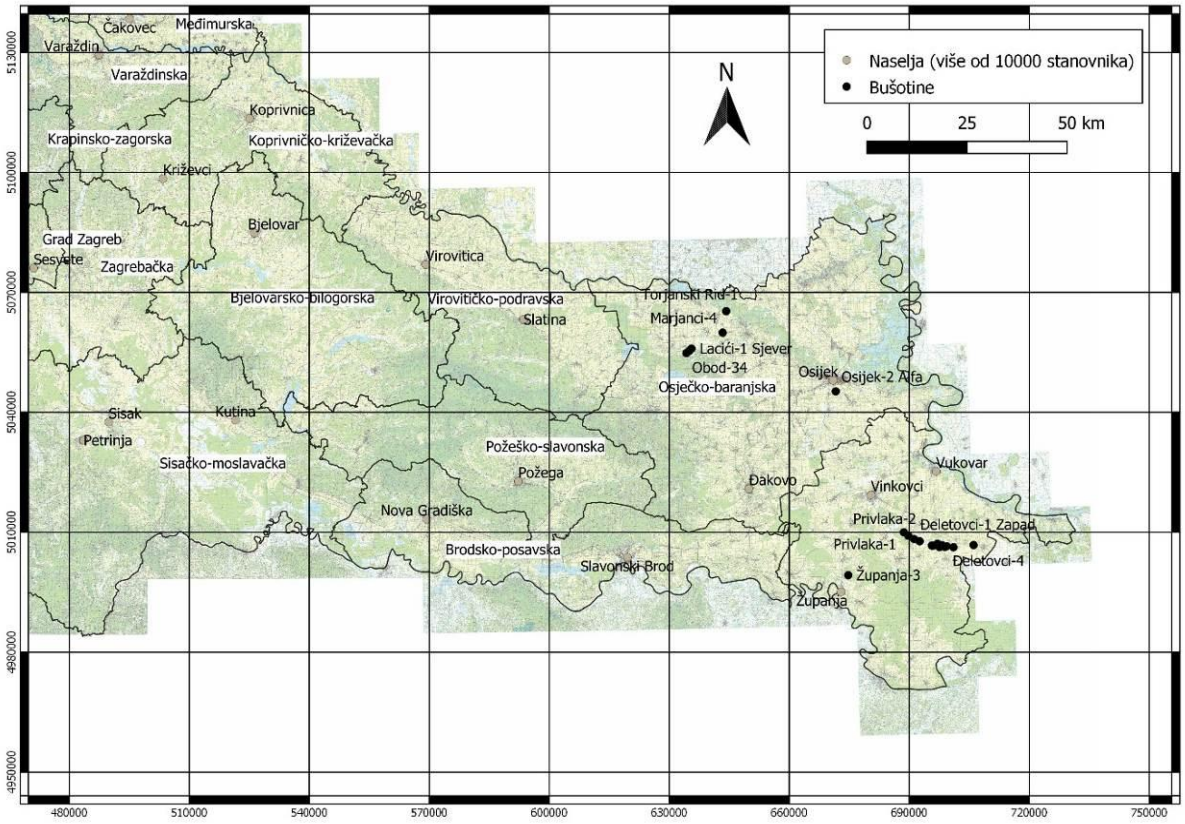
iz dijela naftnih bušotina u Dravskoj depresiji na temelju petrografskih karakteristika i K-Ar starosti povezuje s bimodalnim magmatizmom Požeške gore i vulkanskom masom Voćina na Papuku. Pamić i Pécskay (1994) obrađuju mafitne intruzivne, žilne i efuzivne stijene te kisele vulkanite Slavonsko-srijemske depresije kojima na temelju K-Ar metode određuju gornjokrednu i tercijarnu starost.

U sklopu ove disertacije provedene su petrografske analize postojećih jezgara granitnog sastava, ali i s njima asociranih stijena. Nakon detaljnih petrografskih analiza, na temelju kojih su granitoidi izdvojeni u različite skupine, odabrani su uzorci za analize kemijskog sastava minerala pomoću elektronske mikroprobe (EMPA) te za kemijske analize cijele stijene pomoću emisijske spektrometrije induktivnom plaznom (ICP-ES) i masene spektrometrije induktivnom plazomom (ICP-MS) te analize omjera izotopa stroncija pomoću termalno inducirane masene spektrometrije (TIMS).

Na temelju dobivenih rezultata izdvojeni su različiti tipovi granitoida. Izvorište magme i dominantni procesi koji su utjecali na evoluciju magme određeni su na temelju geokemijskih karakteristika analiziranih stijena. Uvjeti kristalizacije interpretirani su na temelju petrografskih karakteristika, kemijskog sastava minerala te kemizma cijele stijene, dok su post-magmatski procesi opisani na temelju strukturno-teksturnih i mineraloških karakteristika. Određivanje geotektonskog položaja analiziranih stijena temelji se na njihovim geokemijskim karakteristikama, a na temelju kemijskog sastava cijele stijene, posebice elemenata u tragovima i elemenata rijetkih zemalja izvršena je i korelacija s odgovarajućim stijenama na površini.

2. GEOGRAFSKI POLOŽAJ

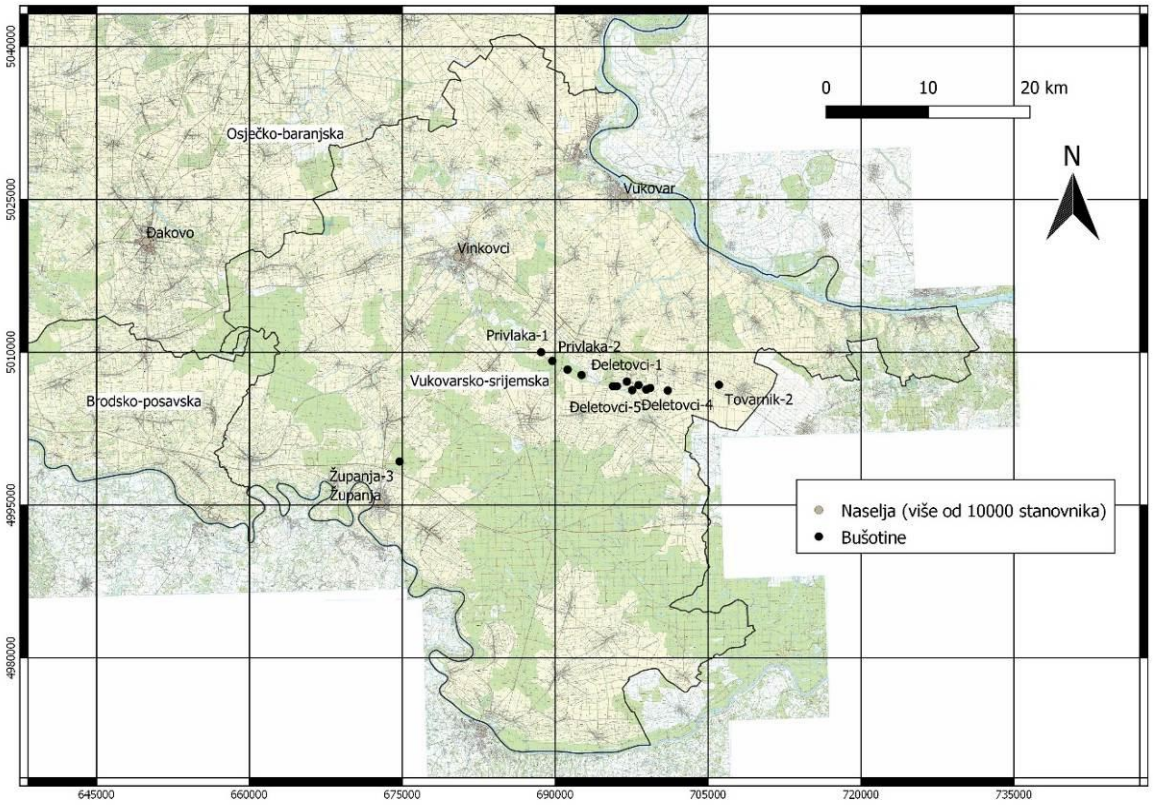
Istražno područje obuhvaća krajnji istok Republike Hrvatske, odnosno Osječko-baranjsku županiju na sjevernom i Vukovarsko-srijemsku županiju na južnom dijelu. Geografski položaj bušotina iz kojih su odabrani uzorci prikazan je na **Slici 2.1**.



Slika 2.1 Položajna karta bušotina iz kojih je odabran materijal za uzorkovanje.

Bušotine koje se administrativno nalaze u Osječko-baranjskoj županiji pripadaju istočnom dijelu Dravske depresije (Hernitz, 1983), dok bušotine koje se nalaze u Vukovarsko-srijemskoj županiji pripadaju Slavonsko-srijemskoj depresiji (Hernitz, 1983).

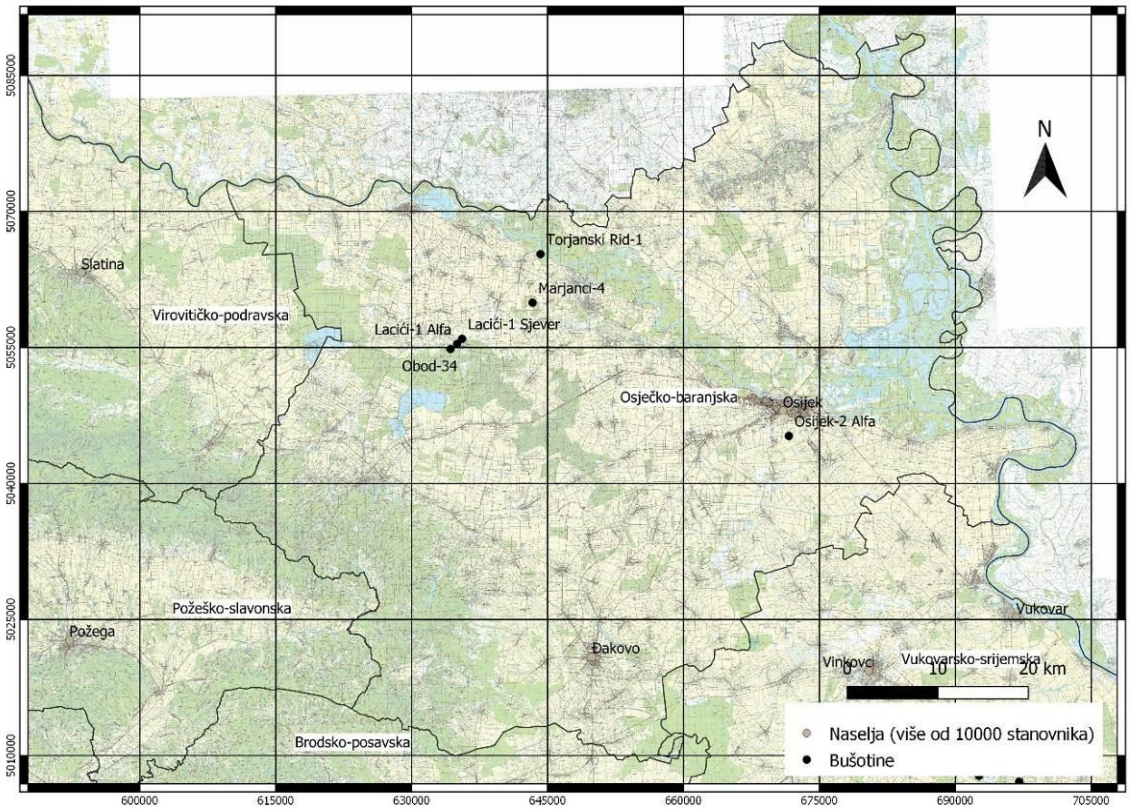
U Vukovarsko-srijemskoj županiji jugoistočno od grada Vinkovaca, idući od zapada prema istoku nalaze se bušotine Privlaka-1, Privlaka -2, Đeletovci-1Zapad, Đeletovci-48, Đeletovci -34, Đeletovci -14, Đeletovci -1, Đeletovci -5, Đeletovci -6, Đeletovci -11, Đeletovci -4, Đeletovci -3 i Tovarnik-2, dok se sjeveroistočno od Županje nalazi bušotina Županja-3 (**Slika 2.2**).



Slika 2.2 Položajna karta bušotina na području Vukovarsko-srijemske županije iz kojih je odabran materijal za uzorkovanje.

Vukovarsko-srijemska županija predstavlja najistočniju županiju u Republici Hrvatskoj. Graniči sa Srbijom na istoku, Bosnom i Hercegovinom na jugu te Osječko-baranjskom i Brodsko-posavskom županijom na zapadu. Površina Županije iznosi 2448 m2. Srednja godišnja temperatura iznosi 11-12°C, a srednja godišnja količina oborina je 600-700 mm u istočnom dijelu te 700-800 mm na krajnjem zapadnom dijelu Županije (Zaninović i dr., 2008).

U Osječko-baranjskoj županiji nalaze se, idući od zapada prema istoku, sljedeće bušotine: Obod-34, Lacići-1 Alfa, Lacići-1 Sjever, Marijanci-4, Torjanski Rid-1 i Osijek-2 Alfa (**Slika 2.3**).

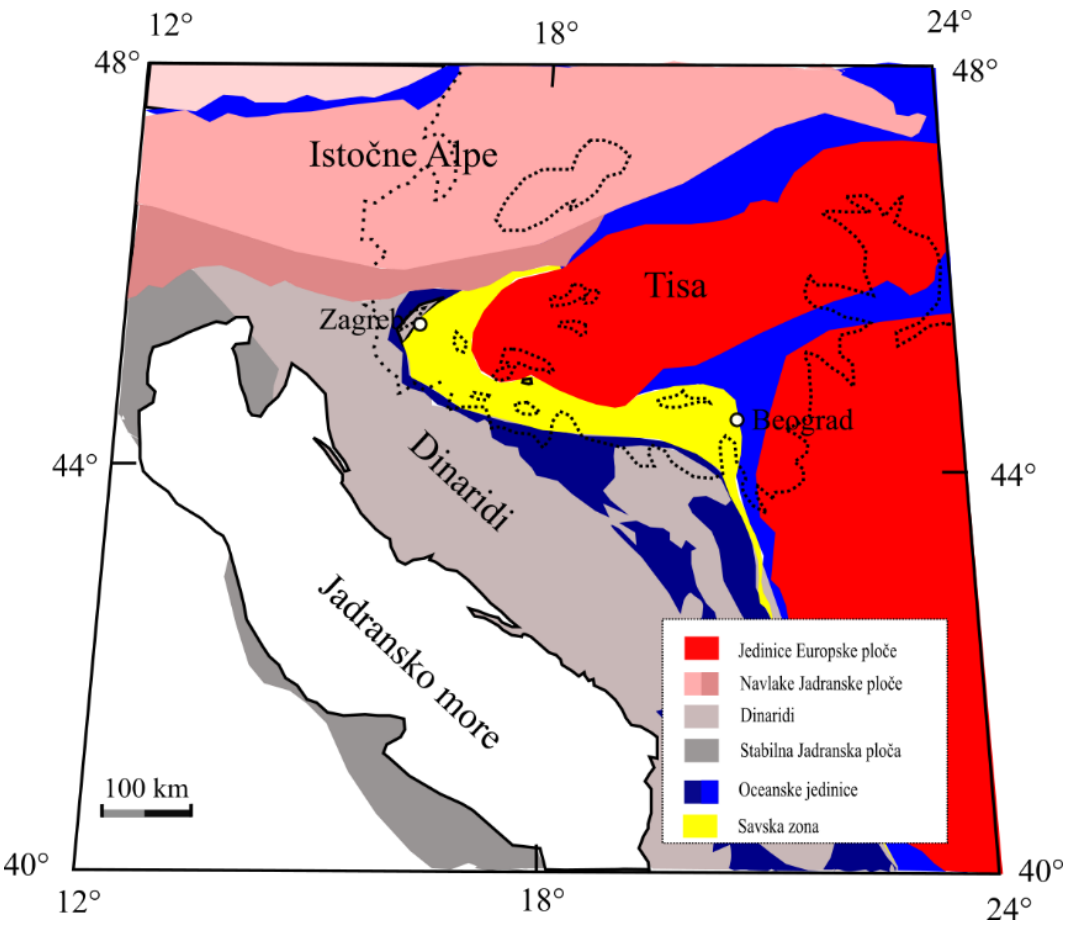


Slika 2.3 Položajna karta bušotina na području Osječko-baranjske županije iz kojih je odabran materijal za uzorkovanje.

Osječko-baranjska županija nalazi se na istoku Republike Hrvatske. Graniči sa Srbijom na istoku, Mađarskom na sjeveru, s Virovitičko-podravskom i Požeško-slavonskom županijom na zapadu te Brodsko-posavskom i Vukovarsko-srijemskom županijom na jugu. Površina Osječko-baranjske županije iznosi 4155 m^2. Srednja godišnja temperatura iznosi 10-11°C, a srednja godišnja količina oborina je 600-700 mm u istočnom dijelu te 700-800 mm u zapadnom dijelu županije (Zaninović i dr., 2008).

3. REGIONALNO-GEOLOŠKI KONTEKST

Panonski bazenski sustav je zalučni bazen okružen orogenskim pojasom Alpa-Karpata-Dinarida (npr. Schmid i dr., 2008). Nastao je ekstenzijskim procesima u starijem dijelu miocena (npr. Csontos, 1995). Predneogenska podloga Panonskog bazena je složene građe i sastoji se od više tektonskih jedinica, koje su derivirane iz Europske i Jadranske ploče (npr. Schmid i dr., 2008; **Slika 3.1**). Hrvatski dio Panonskog bazenskog sustava predstavlja njegov jugozapadni rub, a prema Pavelić (2001) te Pavelić i Kovačić (2018) obuhvaća Sjevernohrvatski bazen i bazen Hrvatskog zagorja, pri čemu područje istočne Hrvatske predstavlja dio Sjevernohrvatskog bazena. Podloga neogena u ovom području obuhvaća jedinice koje su originalno pripadale Jadranskoj ploči, Europskoj ploči (Tisi) te Savskoj zoni koja predstavlja šav između Jadranske mikroploče i Tise (Pamić, 1999; Pamić, 2002, Schmid i dr., 2008). Najveći dio predneogenskih stijena jugozapadnog ruba Panonskog bazenskog sustava prekriven je neogenskim i kvartarnim sedimentima, a tek manjim dijelom izdanjuje na nekoliko „otočnih gora“ u Hrvatskoj (Medvednica, Kalnik, Moslavačka gora, Papuk, Psunj, Krndija i Požeška gora), Bosni i Hercegovini (Kozara, Prosara, Motajica, Trebovac, Vučjak i Majevica) te Srbiji (Fruška gora).



Slika 3.1 Karta tektonskih jedinica šireg područja. Pojednostavljeno prema Schmid i dr. (2008), Ustaszewski i dr. (2010).

Po trenutnom regionalno-geološkom modelu (Schmid i dr. 2008) slavonske planine Psunj, Papuk i Krndija pripadaju Europskoj ploči odnosno tektonskoj jedinici Tisi (npr. Pamić i dr., 2000a, Pamić i Jurković, 2002). Izgrađene su od kristalinskih stijena na kojima se diskordantno nalaze mezozojske sedimentne stijene te naslage neogena. Jamičić (1979, 1983, 1988) na temelju petrografskih i strukturnih podataka na području Slavonskih planina razlikuje tri metamorfna kompleksa: metamorfni kompleks Psunja (Kutjevačka serija), Papuka (Jankovačka serija) i Radlovca (Radlovačka serija). Psunjski kompleks, prema istom autoru sastoji se od metamorfita niskog i srednjeg stupnja, za koje je pretpostavljeno da su progresivno metamorfozirani tijekom bajkalske orogeneze. Unutar metamorfita se nalaze manja tijela retrogradno izmijenjenih granitoida (Marci, 1965). Papučki kompleks sastoji se od migmatitskih gnajseva i s njima asociranih granitoida, te stijena srednjeg stupnja metamorfizma: amfibolita, paragnajseva i tinjčevih škriljavaca, koji su po istom autoru metamorfozirani tijekom kaledonske orogeneze.

Granitodi se pojavljuju kao veće ili manje mase, konkordantno uloženi unutar migmatitskih gnajseva, pri čemu se odlikuju homogenom teksturom bez izrazite folijacije (Jamičić, 1983). Radlovački kompleks sastoji se od stijena vrlo niskog i niskog stupnja metamorfizma s dajkovima dijabaza, a za koji autor smatra da je metamorfoziran tijekom variscijskog orogenetskog ciklusa.

S druge strane, Pamić i Lanphere (1991) smatraju da kristalinske stijene Psunja, Papuka i Krndije čine jedinstveni progresivno metamorfni kompleks nastao tijekom hercinskog orogenetskog ciklusa. Pamić i dr. (1996) razlikuju granite I-tipa, asocirane s neutralnim i bazičnim intruzivima, a nalaze se unutar škriljavaca amfibolitnog facijesa (odgovara Psunjskom kompleksu po Jamičić, 1988), od granita S-tipa, povezanih s migmatitima i progresivno metamorfnom serijom (odgovara Papučkom kompleksu po Jamičić, 1988). Radiometrijskim određivanjem starosti pomoću K-Ar metode na muskovitima iz granita I-tipa dobiven je raspon starosti od 423,7±12,9 do 336,3±8,4 Ma dok su radiometrijske starosti dobivene na uzorcima granita S-tipa i migmatita Rb-Sr izokronom dale raspon od 314±16 do 317±17 Ma, K-Ar metodom na hornblendi 336,8±8,4 do 335,1±7,8 Ma, na muskovitu 336,3±8 do 324,6±8,3 Ma te na biotitu 300,2±7 do 277,1±5 Ma (kompilirano u Pamić i Jurković, 2002). Horvat i Buda (2004) smatraju da granitoidi Papučkog kompleksa imaju karakter S-tipa, dok granitoidi Psunjskog kompleksa imaju miješane karakteristike I/S tipa. Horvat i dr. (2018) su na temelju *in situ* U-Pb datiranjem cirkona pomoću LA-MC-ICP-MS metode na monzogranitima odredili starosti 380±4 Ma (kamenolom Omanovac, Psunj), 382±2 Ma (kamenolom Šandrovac, Papuk), 383±5 Ma (potok Kišeljevac, Papuk), što odgovara mlađem devonu. Osim toga, radiometrijski podatci od 444 ± 19 i 428 ± 25 Ma dobiveni datiranjem itrijem bogatih monacita iz granat-tinjčevih škriljavaca profila Kutjevačke rijeke na Krndiji (Balen i dr., 2006) te starost ortognajseva iz kamenoloma Vetovo na Papuku od 528 ± 7 i 465 ± 7 Ma (Balen i dr., 2015), ukazuje na postojanje predvariscijskih stijena unutar slavonskih planina.

Savska zona ili Savsko-vardarska zona, koju je definirao Pamić (2002), predstavlja tektoski šav, odnosno suturnu zonu, nastalu kao posljedica kolizije između Europske ploče (Tise-Dacije) i Jadranske ploče (Schmid i dr., 2008). Pamić (2002) smatra da se ova tektonostratigrafska jedinica sastoji od kredno-paleogenskih sedimentnih, magmatskih i metamorfnih stijena, čiji je postanak vezan za procese subdukcije te eocenskih sinkolizijskih i

oligocenskih postkolizijskih granita i vulkanita. Ustaszewski i dr. (2009; 2010) interpretiraju Savsku zonu kao relikt mezozojskog Tethysa (Vardarskog oceana) koji je ostao otvoren tijekom mlađe krede i ranog paleogena, nakon čega je došlo do kolizije i zatvaranja oceanskog prostora.

Jedna od najznačajnijih karakteristika Savske zone je gornjokredni bimodalni magmatizam (npr. Pamić, 2002), čije se stijene danas nalaze na Požeškoj gori (Šparica i Pamić, 1986; Pamić i dr., 1988; Pamić i dr., 1988/1989) i Kozari (Ustaszewski i dr., 2009; Cvetković i dr., 2014), pojave kiselih stijena na Prosari (Pamić i Injuk, 1988; Ustaszewski i dr., 2010) i bazičnih stijena na lokalitetu Klepa u Makedoniji (Prelević i dr., 2017). Bimodalni magmatizam odvijao se u rasponu starosti 87-81 Ma (Ustaszewski i dr., 2009; Balen i dr., 2017a, b i c). Njegova geotektonska pozicija interpretirana je na različite načine: kao magmatizam unutar zalučnog bazena (eng. *back-arc basin*) (Pamić, 2002; Ustaszewski i dr., 2009); kao magmatizam anomalnog srednjooceanskog hrpta tipa Islanda (Cvetković i dr., 2014); kao magmatizam kontinentalnog riftinga/pseudoriftinga (Belak i dr., 1998); kao magmatizam u pred-lučnom bazenu (eng. *fore arc basin*) unutar gornje ploče (Prelević, i dr. 2017) te kao intrakontinentalni magmatizam uzrokovan transtenzijskom tektonikom (Prelević, i dr. 2017). Kiseli magmatizam na Kozari interpretiran je kao produkt parcijalnog taljenja bazičnih stijena oceanske kore (Cvetković i dr., 2014), na Požeškoj gori kao produkt frakcionacije bazične taljevine uz kontaminaciju materijalom kontinentalne kore (Pamić i dr., 2000b) ili parcijalnog taljenja kontinentalne kore, uz mogućnost doprinosa magme plaštnog porijekla (Balen i dr., 2017a, b,c; Schneider, 2017).

Pamić (1987) opisuje alkalijsko-feldspatske granite koji se pojavljuju kao žilne stijene u alkalijsko-feldspatskim riolitima Požeške gore te pretpostavlja da predstavljaju završnu fazu magmatizma čiji su produkt i rioliti. Autor ih smatra specifičnom asocijacijom koja se jasno odvaja od okolnih granitnih stijena Slavonije, Moslavine i sjeverne Bosne te ih genetski klasificira kao A-tip granita. Balen i dr. (2017a, b, c) i Schneider (2017) proučavaju granit Požeške gore. Smatraju da je riječ o postkolizijskom A2-tipu granita nastalom u ekstenzijskim uvjetima. Temperatura magme procijenjena je na temelju zasićenja cirkonijem u magmi na 900°C, a tlak je pretpostavljen na temelju rezultata geobarometrijskog modeliranja na 5,2 kbar (oko 20 km dubine). Starost granita Požeške gore određena na temelju LA-ICP-MS na cirkonima iznosi 87,7-85,8 Ma (Balen i dr., 2017a, b, c).

Osim na Požeškoj gori, pojave granita u obliku žilnih tijela opisane su na Prosari (Pamić i Injuk, 1988) te na sjevernoj Kozari (Cvetković i dr., 2014; Ustaszewski i dr., 2009). Ustaszewski i dr. (2010) na temelju U-Pb starosti na cirkonima iz leukokratnog granita Prosare određuju starost ovih stijena na oko 83 Ma.

Kenozojski magmatizam u orogenetskom sustavu Alpa-Karpata-Dinarida karakteriziran je uglavnom linearno raspoređenim paleogenskim te prostorno raspršenim neogenskim magmatskim stijenama (sažeto u Schefer, 2011). Postoje dva paleogenska magmatska pojasa u širem području Alpa-Karpata-Dinarida: Perijadranski magmatski pojas, vezan za Perijadranski lineament u Alpama (npr. von Blackenburg i dr., 1998; Rosenberg, 2004), čiji nastavak predstavljaju i paloegenske magmatske stijene uz Balatonski rasjed (Benedek i dr., 2004) te paleogenski magmatski pojas na Balkanskom poluotoku (npr. Pamić i Balen, 2001; Pamić i dr. 2002; Schefer i dr., 2011). Paleogenski magmatizam Balkanskog poluotoka interpretiran je kao dio Savske zone (Pamić i Balen, 2001; Pamić, 2002; Pamić i dr., 2002). Međutim, navedeni pojas proteže se kroz unutrašnje Dinaride (sjeverna BiH, južna Srbija) u Daciju (južna Bugarska, sjeverna Grčka, zapadna Turska) te nije podudaran sa Savskom zonom (Schefer i dr., 2011). Pojedini autori povezuju paleogenski magmatizam Perijadranskog lineamenta s istovremenim magmatizmom Balkanskog poluotoka u jedinstveni Perijadransko-savsko-vardarski magmatski pojas (Pamić i Balen, 2001; Pamić i dr., 2002; Kovacs i dr., 2007), no drugi autori (Schefer i dr., 2011) smatraju da ova dva pojasa nisu povezana, iako su oba smještena u post-kolizijsku tektonsku fazu, zato što je polaritet subdukcije u Alpama bio suprotan polaritetu u Dinaridima.

Magmatizam vezan za Perijadranski lineament događao se u vremenskom rasponu 28-34 Ma, s izuzetkom južnog dijela plutona Adamello, gdje je magmatska aktivnost počela prije 42 Ma (sažeto u Rosenberg, 2004). Perijadranski magmatizam je kalcijsko-alkalijskog karaktera, s geokemijskim karakteritsikama koje ukazuju na taljenje u litosfernom plaštu i donjoj kori uz asimilaciju materijala iz gornje kore (npr. von Blackenburg i dr., 1998). Kao uzrok magmatizma predloženo je odlamanje ploče (eng. *slab break-off*; npr. von Blackenburg i dr., 1998), iako noviji radovi dovode u pitanje ovaj događaj i predlažu model povlačenja ploče (eng. *slab roll-back*) (Ji i dr., 2019). U području Balatonskog rasjeda, u podlozi Zala bazena u Mađarskoj, nalaze se kalcijsko-alkalijske magmatske stijene, intruzivne i efuzivne, koje su na temelju K-Ar metode na amfibolu, biotitu i plagioklasu datirane na 28,6±1,8–33,9±1,4 Ma, odnosno 26,0±1,2–34,9±1,4

Ma (Benedek, 2002; Benedek i dr., 2004). Benedek (2002) navedeni magmatizam smatra produžetkom magmatizma vezanog za Perijadranski lineament. U Dinaridima i Helenidima, paleogenska magmatska aktivnost odvijala se u vremenskom rasponu 37-22 Ma, a osim kalcijsko-alkalijskih granitoida, u ovoj regiji prisutni su istovremeni kalcijsko-alkalijski bazalti, šošoniti i ultra-kalijski vulkaniti (sažeto u Schefer i dr., 2011). Schefer i dr. (2011) smatraju da je ovaj magmatizam uzrokovan postkolizijskim procesima delaminacije i povlačenja (eng. *slab roll-back*) subducirane Jadranske ploče.

Neogenska magmatska aktivnost najvećim dijelom se manifestirala kompleksnim vulkanizmom, kalcijsko-alkalijskog, Na-alkalijskog, K-alkalijskog i ultra-K karaktera, dok je kalcijsko-alkalijski plutonizam, osim hipoabisalnih pojava u subvulkanskom nivou, uglavnom vezan za rubne dijelove poput Štajerskog bazena i Savske zone (sažeto u Seghedi i Downes, 2011). U Štajerskom bazenu riječ je o granitoidima i asociranim stijenama Pohorja u Sloveniji (Trajanova i dr., 2008, Fodor i dr., 2008), a u Savskoj zoni o granitoidima Cera (Koroneos, i dr., 2010), Bukulje (Cvetković i dr., 2007) te Polumira i Golije (Schefer i dr., 2011) u Srbiji. Interpretiran je kao posljedica ekstenzije vezane uz formiranje Panonskog bazena (Cvetković i dr., 2007; Fodor i dr., 2008; Koroneos i dr., 2010).

4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Pamić (1986) vrši korelaciju kristalinskih stijena nabušenih u podlozi hrvatskog dijela Panonskog bazena s podatcima površinske geologije te ih svrstava u sedam metamorfnih kompleksa: Pohorski, Medvednički, Moslavački, Prosarsko-motajički, Radlovački, Psunjski i Papučki. Stijene područja Beničanaca i Bizovca, korelira s Psunjskim kompleksom, no dodaje da je u ovom području teško razdvojii stijene Psunjskog i Papučkog kompleksa. Dijelom su u tom području nabušene i stijene radlovačkog kompleksa. Za područje Osijeka i Baranje smatra da dijelom pripada papučkom kompleksu (Darda-1 i Darda-2, Osijek-1 i Osijek-2), a dijelom psunjskom kompleksu (Bršadin-1, Poganovci-1). Područje Đeletovaca, Tovarnika i Ilače po autoru dijelom pripada papučkom kompleksu (Đeletovci-1, Đeletovci-3 i Đeletovci-4, Ilača-1 i Ilača-2, Tovarnik-2), a dijelom nižemetamorfnom dijelu prosarsko-motajičkog metamorfnog kompleksa (Tovarnik-1 i Tovarnik-3).

Pandžić (1986) prikazuje sastav podloge tercijara na temelju prikupljenih bušotinskih podataka, pri čemu izdavaja veće geološke jedinice: Pohorski blok, Južne Alpe i Savske bore, Zagorsko-balatonsku zonu, Slavonski blok te Savsku zonu. Područje istočne Hrvatske po autoru najvećim dijelom pripada Slavonskom bloku, a manji dio Savskoj zoni, koju povezuje s Vardarskom zonom.

Pamić i Lanphere (1991) istražuju granitne i metamorfne stijene Papuka, Psunja i Krndije, za koje smatraju da su nastale isključivo tijekom hercinskog orogenetskog ciklusa. Osim stijena s površinskih izdanaka, obrađeni su i uzorci iz bušotina, kojima je također pripisana isključivo hercinska starost. Graniti i gnajsevi iz bušotina Torjanski Rid-1, Osijek-1 i Osijek-2, zatim Privlaka-1, Cerna-1, Županja-3, Đeletovci-1, Đeletovci-3 i Đeletovci-4 te Tovarnik-2 svrstani su u skupinu hercinskih migmatita i S-granita, dok su uzorci iz bušotina Marjanci-3, Ernestinovo-1 te Tovarnik-1 i Tovarnik-3, Ilača-1 i Ilača-2 svrstani u progresivnometamorni kompleks grinšistnog i amfibolitnog facijesa.

Pamić (1993) istražuje vulkanske stijene iz naftnih bušotina u Dravskoj depresiji i okolnim planinama. Analizirani su uzorci vulkanskih stijena – bazalta, metabazalta i riolita te s njima asociranih hipoabisalnih dijabaza i granitporfira iz bušotina Bizovac-6, Cabuna-11, Lacić-1, Letičani-5, Obod-14 i Obod-31 i Rovišće-1. Uzorci iz bušotine Lacić-1 određeni su kao honblenda dijabazi i hornblenda-kvarc diorit-porfiriti, dok su uzorci iz bušotina Obod-14 i Obod-31 (biotitni) alkalijsko-feldspatski granit porfiri i/ili holokristalino-porfirni rioliti. Autor ih na temelju petrografskih karakteristika i K-Ar starosti (65,9-58,4 Ma) interpretira kao gornjokrednu bimodalnu asocijaciju te povezuje s vulkanskom masom Požeške gore i Voćina na Papuku. Smatra da su ove stijene alohtone, odnosno tektonskim putem dovedene u današnji položaj, a da izvorno predstavljaju dio sjevernih Dinarida.

Pamić i Pécskay (1994) obrađuju gornjokredne i tercijarne magmatske stijene Slavonsko-srijemske depresije. Izdvajaju sljedeće skupine: gornjokrednu ofiolitnu bazalt-dijabaz-gabro formaciju, senonsku bimodalnu bazalt-riolitnu formaciju, gornjooligocenske do donjomiocenske trahidacite te badenske bazalte. Po autorima, ofiolitnoj bazalt-dijabaz-gabro formaciji pripadaju odgovarajuće stijene iz bušotina Cerna-1, Đeletovci-2, Banov Do-2, Privlaka-3, Vukovar-5 i Županja-1. K-Ar starosti od 80,3 Ma određene su na gabru iz bušotine Privlaka-3, od 66,8 Ma na dijabazu iz Cerna-1, od 62,2 Ma na dijabazu iz Đeletovci-2, te od 58,4 na dijabazu iz Županja-1.

Senonskoj bimodalnoj bazalt-riolitnoj formaciji pridruženi su alkalijsko-feldspatski rioliti i alkalijsko-feldspatski kvarcni trahiti iz bušotina Otok-1 (61,1 Ma) i Vukovar-1 (59,9 Ma), kao i alkalijsko-feldspatski rioliti (44-32 Ma) i bazalti iz bušotine Bršadin-1. Autori smatraju da su gornjokredne magmatske stijene stijene alohtone, odnosno tektonskim putem dovedene u današnji položaj, a da izvorno predstavljaju dio sjevernih Dinarida.

Najdenovski i dr. (1995) na osnovi petroloških značajki i geografskog položaja u podlozi neogenskih sedimenata savsko-dravskog područja izdvajaju pet magmatsko-metamorfnih kompleksa (Moslavački, Psunjski, Papučki, Molvanski i Prosarsko-motajički) te kao šestu skupinu izdvajaju mezozojske sedimentne stijene. Najveći dio, koji obuhvaća cijeli sjeverni dio te područje do Vinkovaca, svrstavaju u Papučki kompleks, dok manji dio, koji obuhvaća područje Vinkovaca i južnije, izuzevši područje Vukovara, svrstavaju u Psunjski kompleks.

Pamić (1999) izdvaja četiri megabloka u podlozi južnih dijelova Panonskog bazena: Južnotisijski (Slavonsko-moslavački), Sjevernodinaridski, Zagorsko-srednjotransdanubijski i Pohorsko-međimurski. Najveći dio područja istočne Hrvatske autor pribraja Južnotisijskom megabloku, a tek mali dio Zapadnog Srijema pripada Sjevernodinaridskom megabloku. Autor tako gnajseve iz bušotine Tovarnik-2 svrstava u regionalnometamorfnu sekvenciju niskog i srednjeg stupnja metamorfizma, izgrađenu uglavnom od paragnajsova i tinjčevih škriljavaca, odnosno smatra ih paragnajsevima. S druge strane, jezgre iz bušotina Đeletovci-3 i Đeletovci-4 te Marjanci-3 smatra granitima S-tipa.

5. UZORCI I METODE

Pregledom Fonda stručne dokumentacije Istraživanja i proizvodnje nafte i plina, INA d.d. (FSD IPNP) te objavljenih znanstvenih i stručnih radova prikupljeni su podatci o bušotinama u kojima su jezgrovani granitoidi i s njima asocirane stijene. Terenski dio istraživanja i uzrokovanje obavljeni su u skladištu jezgara na Mramor Brdu u razdoblju od 2014. do 2018. godine. Ukupno je iz 21 bušotine odabrano 105 uzoraka iz kojih su izrađeni tanki izbrusci za petrografske analize. Osim novoizrađenih preparata, korišteni su već postojeći preparati iz Arhive Istraživanja stijena i fluida, INA d.d., izrađeni iz uzoraka jezgara, ali i krhotina iz isplake. Osim ciljanih intervala u kojima su jezgrovane stijene od interesa, pregledani su i ostali intervali unutar bušotina, kao i iz okolnih bušotina, posebice tamo gdje je nabušena podloga neogena.

Svi uzorci podvrgnuti su petrografskoj analizi, 23 uzorka analizi kemijskog sastava cijele stijene, pet uzoraka SEM analizi i analizi kemijskog sastava minerala elektronskom mikrosondom te tri uzorka analizi izotopa stroncija. Popis uzoraka koji su osim petrografskoj analizi, podvrgnuti i drugim navedenim analizama prikazan je u **Tablici 5.1.** s navedenim bušotinama i intervalima iz kojih su uzorkovani, zatim pripadajućim oznakama i petrografskom odredbom. Obrada podataka dobivenih kemijskom analizom pojedinih minerala i cijele stijene izvršena je u programskom paketu GeoChemical Data toolkit (Janoušek i dr., 2006).

Tablica 5.1 Popis uzoraka s odgovarajućim oznakama, petrografskom odredbom i analizama koje su provedene.

Područje	Bušotina	Interval (m)	Uzorak	Odredba	Analize
SS depresija	Đeletovci-48	1093-1099	Đt-48-5	AF sijenit	WRA
SS depresija	Privlaka-1	1010-1011	Pri-1-3	AF granit	WRA, Sr^{87}/Sr^{86}
SS depresija	Privlaka-1	1070-1072	Pri-1-4	AF granit	WRA
SS depresija	Privlaka-1	1140-1141,5	Pri-1-5	AF granit	WRA, EMPA, SEM
SS depresija	Privlaka-2	1028-1029,5	Pri-2-1	mikro granit	WRA
SS depresija	Tovarnik-2	1568-1570	Tov-2-2	mil. gnajs	WRA
SS depresija	Đeletovci-1	1156-1158,5	Đt-1-5	mil. gnajs	WRA
SS depresija	Županja-3	1427-1430	Ž-3-2	porf. granit	WRA
SS depresija	Županja-3	1427-1430	Ž-3-2R	riolit	WRA
D depresija	Lacići-1A	2402-2403	Lac-1A-3	metadijabaz	WRA
D depresija	Obod-34	2394-2403	Ob-34-9D	hbl dijabaz	WRA
D depresija	Obod-34	2413,5-2417,3	Ob-34-2B	bazaltni andezit	WRA
D depresija	Obod-34	2475-2476,3	Ob-34B	mnz diorit	WRA, Sr^{87}/Sr^{86}, EMPA, SEM
D depresija	Obod-34	2570-2571,7	Ob-34-22	mnz diorit	WRA
D depresija	Obod-34	2475-2476,3	Ob-34	mnz diorit	WRA
D depresija	Lacići-1S	2349-2352	Lac-1S-4	mnz diorit	WRA
D depresija	Obod-34	2394-2403	Ob-34-9G	grd+MME	WRA
D depresija	Obod-34	2394-2403	Ob-34-8G	grd	WRA
D depresija	Lacići-1S	3001-3001,5	Lac-1S-8D	dacit	WRA
D depresija	Obod-34	2570-2571,7	Ob-34-22G	gnajs	WRA
D depresija	Marjanci-4	3311-3312	Mar-4-9	mil. gnajs	WRA, EMPA, SEM
D depresija	Osijek-2A	1322,3-1326,3	Os-2A-2	mnz granit	WRA, EMPA, SEM
D depresija	Torjanski Rid-1	1146-1148	TR-1-2	lc. granit	WRA, Sr^{87}/Sr^{86}, EMPA, SEM

SS depresija – Slavonsko-srijemska depresija, D depresija – Dravska depresija, AF – alkalijsko-feldspatski, mil. – milonitni, porf. – porfiroidni, hbl – hornblenda, mnz diorit – monzodiorit, grd+MME – granodiorit s mikrogranularnim mafitnim enklavma, grd – granodiorit, mnz granit – monzogranit, lc. granit – leukogranit, WRA – kemijska analiza cijele stijene (eng. *Whole Rock Analysis*), Sr- Sr^{87}/Sr^{86} analiza izotopa stroncija, EMPA – analiza kemijskog sastava stijena pomoću elektronske mikrosonde (eng. *Electron Microprobe Analyser*), SEM – analiza pomoću skenirajućeg elektronskog mikroskopa (eng. *Scanning Electron Microscope*).

5.1. Petrografska analiza

Nakon uzorkovanja, stijene su makroskopski pregledane pomoću ručne lupe kako bi se opisala boja, vidljive strukture i teksture, prepoznatljivi minerali, pukotine, trošnost, itd. Na temelju makroskopskog pregleda odabrana su mjesta za izradu pločica za mikroskopske izbruske. Pločice su dobivene piljenjem uzorka, nakon čega su polirane korundovim prahom do standardne debljine izbruska od 0,02-0,03 mm.

Kanadski je balzam korišten kao vezivo, a njegove su optičke karakteristike uzete kao unutarnji standard. Mikroskopska istraživanja izvršena su u laboratoriju Istraživanje stijena i fluida, Istraživanje i proizvodnja nafte i plina, INA d.d., Zagreb.

Za određivanje mineralnog sastava te opažanje različitih strukturnih i teksturnih značajki stijena korišten je polarizacijski mikroskop u ortoskopskim uvjetima opažanja s jednim i oba polaroida. Raspon korištenih povećanja bio je 2,5x do 25x. U ortoskopskim uvjetima rada bez uklopljenog analizatora određivana su svojstva poput habitusa i oblika presjeka, kalavosti, pukotina, vlastite boje, reljefa, pseudoapsorpcije i međusobnog odnosa minerala. Pri radu s uklopljenim analizatorom određena je vrsta potamnjenja i interferencijska boja u položaju maksimalne rasvjete. Na temelju ovih podataka određene su struktura i tekstura te mineralni sastav stijena.

5.2. SEM analiza

SEM analiza, odnosno analiza skenirajućim elektronskim mikroskopom izvršena je u Istraživanju stijena i fluida, Istraživanje i proizvodnja nafte i plina, INA d.d., Zagreb na uređaju marke JEOL, model JSM-6510 LV, opremljenim EDS (eng. *energy dispersive system*) detektorom. Uzorci su analizirani pomoću sekundarnih elektrona (SEI – eng. *secondary electron image*) i povratno raspršenih elektrona (BSE – eng. *backscattered electron*). Ukupno pet uzoraka, koji su prethodno ispolirani i prekriveni ugljikom, analizirano je u svrhu identifikacije akcesornih mineralnih faza.

5.3. Analiza kemijskog sastava minerala

Kemijski sastav minerala određen je na ukupno pet uzoraka, koji su prethodno ispolirani i prekriveni ugljikom. Analize su napravljene pomoću elektronske mikroskonde (EMPA – engl. *Electron Microprobe Analyzer*) marke JEOL, model 8900F u Institut für Geowissenschaften, Goethe Universität u Frankfurtu, u Njemačkoj.

Uvjeti mjerenja bili su: napon struje 15 kV, jakost struje 20 nA, za sve minerale osim feldspata, koji su analizirani strujom jakosti od 12 nA. Promjer točke mjerenja (eng. *spot size*) bio je 3 μm. Za mjerenje kemijskog sastava minerala korišteni su valno disperzivni spektrometri (WDS – eng. *wavelenght dispersive system*). Mjerenja su izvršena na tankim izbruscima i poliranim nabruscima. Rezultati mjerenja izraženi su kao oksidi u masenim postotcima. Ukupni sadržaj željeza izražen je kao FeO. Kao standardi su korišteni albit, K-feldspat, forsterit, fajalit, korund, wollastonit i fluorit.

5.4. Kemijska analiza stijene

Za analitički postupak određivanja kvantitativnog kemijskog sastava stijena, odabrana su 23 uzorka. Uzorci su zdrobljeni u mlinu do dimenzija čestica manjih od 5 mm. Prije mljevenja ručno su uklonjene čestice na kojima su bile uočljive žilice sekundarnih minerala i kora trošenja. Fragmenti su potom u ahatnome tarioniku usitnjeni u čestice dimenzija praha. Prije analize prah uzoraka osušen je na temperaturi od 105 °C do konstantne težine.

Za analizu kemijskog sastava su korištene dvije spektrometrijske metode, emisijska spektrometrija s induktivno spregnutom plazmom (ICP-ES) te masena spektrometrija s induktivno spregnutom plazmom (ICP-MS). Deset glavnih elemenata, te ugljik i sumpor su određeni primjenom ICP–ES metode, s granicom detekcije 0,01%, izuzevši SiO_2 (0,04%), Al_2O_3 (0,03%) i Fe_2O_3 (0,04%). Elementi u tragovima, uključujući vrlo lake elemente (Li, Be i B) i REE analizirani su ICP–MS metodom, s donjom granicom detekcije od 0,1 ppm. Za kalibraciju instrumenta korišteni su referentni standardi koji su po mineralnom sastavu, koncentracijama glavnih elemenata i elemenata u tragovima bliski analiziranim uzorcima. Pripremljeno je oko 5 g uzorka u prahu.

Analize su izvršene u Acme Laboratiories Ltd u Vancouveru u Kanadi. Sadržaj glavnih elemenata izražen je u obliku masenog postotka njihovih oksida, a sadržaji standardnih elemenata u tragovima (mikroelemenata) uključujući elemente rijetkih zemalja (REE) izraženi su u ppm jedinicama. Ukupni sadržaj željeza izražen je kao Fe_2O_3, a sadržaj volatilnih komponenti kao gubitak žarenjem.

5.5. Analiza izotopa stroncija

Na tri uzorka stijena napravljena je analiza izotopa stroncija ($^{87}Sr/^{86}Sr$) pomoću termalne ionizacijske masene spektrometrije (TIMS). Priprema uzorka prije dostavljanja u laboratorij jednaka je kao i za kemijsku analizu stijene. Za kalibraciju instrumenta korišten je standard NBS 987, a odstupanje iznosi 0,000004 za uzorak TR-1 te 0,000003 za uzorke Pri-1-3 i Ob-34B. Analiza je izvršena u Activation Laboratiories Ltd u Ancasteru (Ontario) u Kanadi.

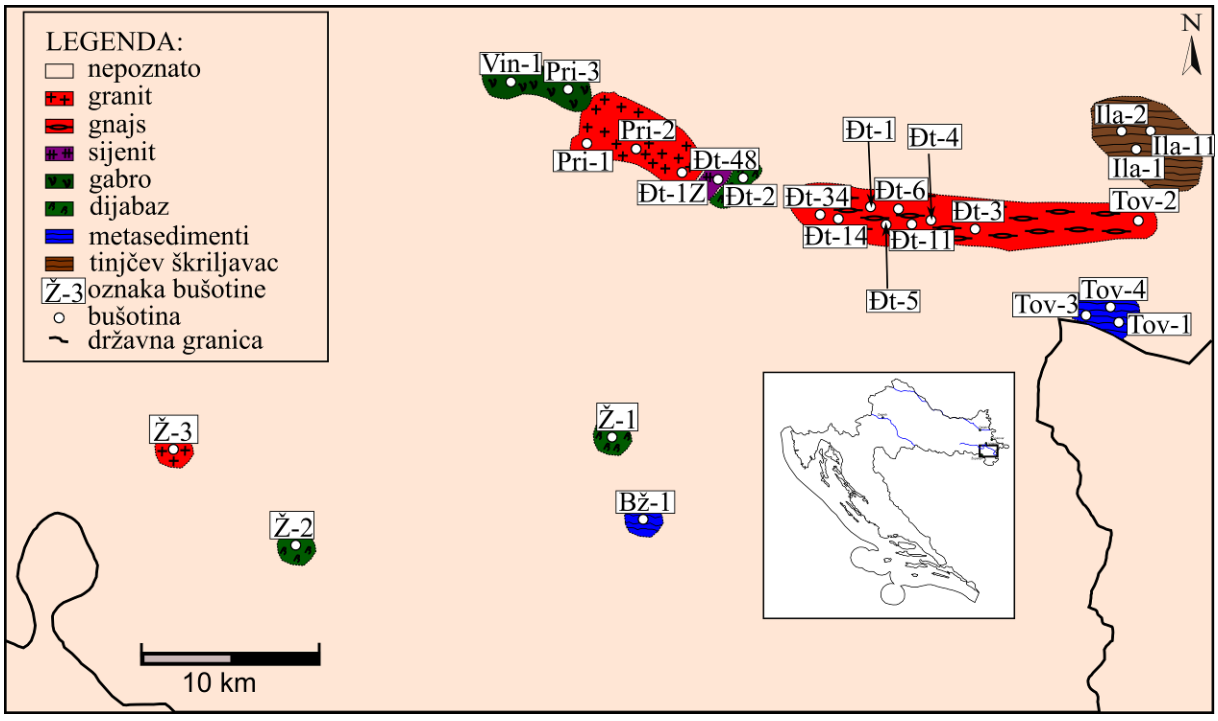
6. LOKALNA GEOLOŠKA SITUACIJA

Prikaz geološke građe podloge neogena u Panonskom bazenu na području Slavonsko-srijemske depresije i istočnog dijela Dravske depresije temelji se na pregledu mikroskopskih preparata iz Arhive INA-Industrija nafte d.d. i na podatcima iz Fonda stručne dokumentacije Istraživanja i proizvodnje nafte i plina INA-Industrija nafte d.d. (FSD IPNP).

Prikaz razvoja naslaga koje prekrivaju stijene podloge gotovo u potpunosti je preuzet iz FSD IPNP. U ovom poglavlju prikazane su bušotine kojima su probušeni granitoidi u podlozi neogena, ali i okolne bušotine u kojima je probušena podloga neogena općenito.

6.1. Slavonsko-srijemska depresija

Građa podloge neogena na području istraživanja u Slavonsko-srijemskoj potolini prikazana je na **Slici 6.1**.



Slika 6.1 Građa vršnog dijela podloge neogena na području polja Privlaka (bušotine Pri-1, Pri-2, Pri-3), polja Đeletovci (bušotine Đt-1Z, Đt-1, Đt-2, Đt-3, Đt-4, Đt-5, Đt-6, Đt-11, Đt-14, Đt-34, Đt-48), područja Tovarnik (bušotine Tov-1, Tov-2, Tov-3, Tov-4), polja Ilača (bušotine Ila-1, Ila-2, Ila-11), područja Županje (bušotine Ž-1, Ž-2, Ž-3), područja Brežnice (bušotina Bž-1) i područja Vinkovaca (bušotina Vin-1).

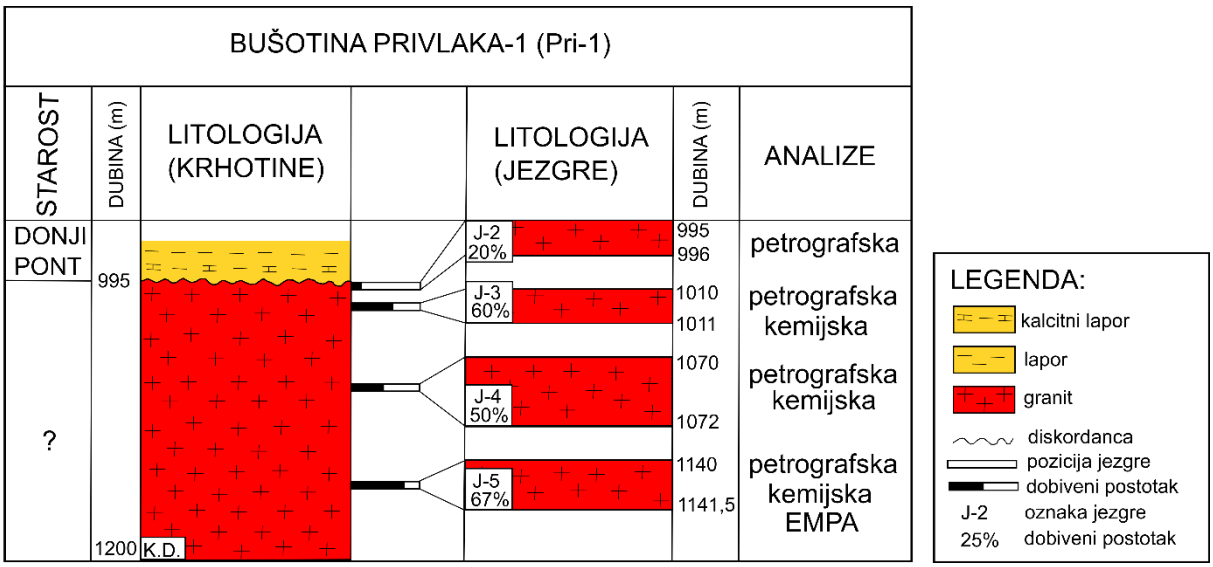
Podloga neogena na području Privlake, Đeletovaca i bušotine Tovarnik-2 dio je razvedenog paleoreljefa (eng. *buried hill*) koji se naziva struktura Vinkovci (npr. Filipović i Dadić, 1997a). Riječ je uskom pojasu pružanja ISI-ZJZ, koji se proteže od područja Vinkovaca do Tovarnika i nastavlja se dalje prema Srbiji. S obzirom da se na ovom području nalaze naftna polja Privlaka, Đeletovci i Tovarnik, postoji veći broj bušotina pa je bilo moguće izraditi detaljniju kartu podloge neogena. S druge strane, u području Županje postoji samo nekoliko istražnih bušotina pa su na ovom području dostupni jedino točkasti podatci za relativno široko područje.

Graniti i gnajsevi u podlozi neogena na području Slavonsko-srijemske depresije probušeni su na području polja Privlaka (bušotine Pri-1, Pri-2) i Đeletovci (bušotine Đt-1Z, Đt-1, Đt-3, Đt-4, Đt-5, Đt-6, Đt-11, Đt-14, Đt-34) te bušotinama Tovarnik-2 (Tov-2) i Županja-3 (Ž-3).

6.1.1. Područje Privlaka

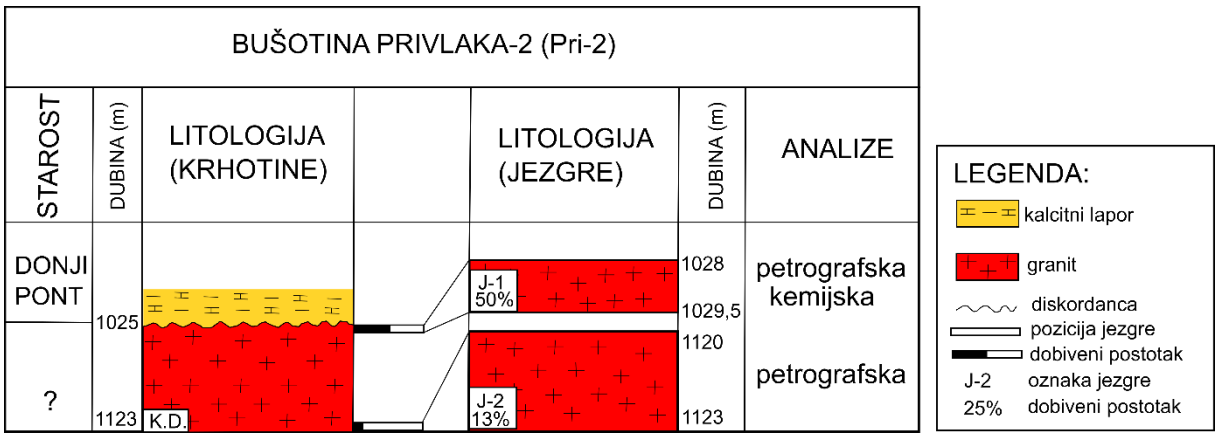
Podloga neogena sjeverozapadnog ruba područja Privlake izgrađena je od bazičnih stijena, o čemu svjedoči sadržaj bušotina Vinkovci-1 i Privlaka-3, u kojima je probušen gabro (**Slika 6.1**), dok su u bušotini Privlaka-9 probušene izrazito hidrotermalno izmijenjene bazične stijene (Vragović i Sokolović, 1986). Ostatak podloge neogena područja Privlake izgrađen je od alkalijsko-feldspatskih granita, koji su jezgrovani u bušotinama Privlaka-1 i Privlaka-2. Karakteristike krhotina iz isplake dubljih intervala u bušotinama Privlaka-4, Privlaka -6, Privlaka -11, Privlaka -15, Privlaka -13 i Privlaka -16 ukazuju na isti sastav podloge u ovim bušotinama. U ostalim bušotinama podloga nije probušena.

U bušotini Privlaka-1 alkalijsko-feldpatski granit probušen je u intervalu od 995 m do konačne dubine od 1200 m (**Slika 6.2**). Dobivene su četiri jezgre koje su izgrađene od alkalijsko-feldspatskih granita. U svim jezgrama su za potrebe ovog doktorskog rada napravljene petrografske analize, tri su jezgre odabrane za kemijsku analizu cijele stijene, a u jednom uzorku jezgre je napravljena i analiza kemijskog sastava minerala te analiza izotopa stroncija u stijeni (**Slika 6.2**). Na podlozi neogena u ovoj bušotini nalaze se kalcitni lapori donjeg ponta (Sokolović i Brodarić, 1983a).



Slika 6.2 Dio stupa bušotine Privlaka-1 u intervalu 990-1200 m. Modificirano prema Sokolović i Brodarić (1983a). K.D. – konačna dubina bušotine.

U bušotini Privlaka-2 alkalijsko-feldspatski mikrogranit probušen je u intervalu od 1025 m do konačne dubine od 1123 m (**Slika 6.3**). Dobivene su dvije jezgre, koje su podvrgnute petrografskoj analizi, a na jednom uzorku je izvršena i analiza kemijskog sastava stijene. Neposredno na granitu nalaze se kalcitni lapori donjeg ponta (Sokolović i Brodarić, 1983b).



Slika 6.3 Dio stupa bušotine Privlaka-2 u intervalu 1020-1123 m. Modificirano prema Sokolović i Brodarić (1983b). K.D. – konačna dubina bušotine.

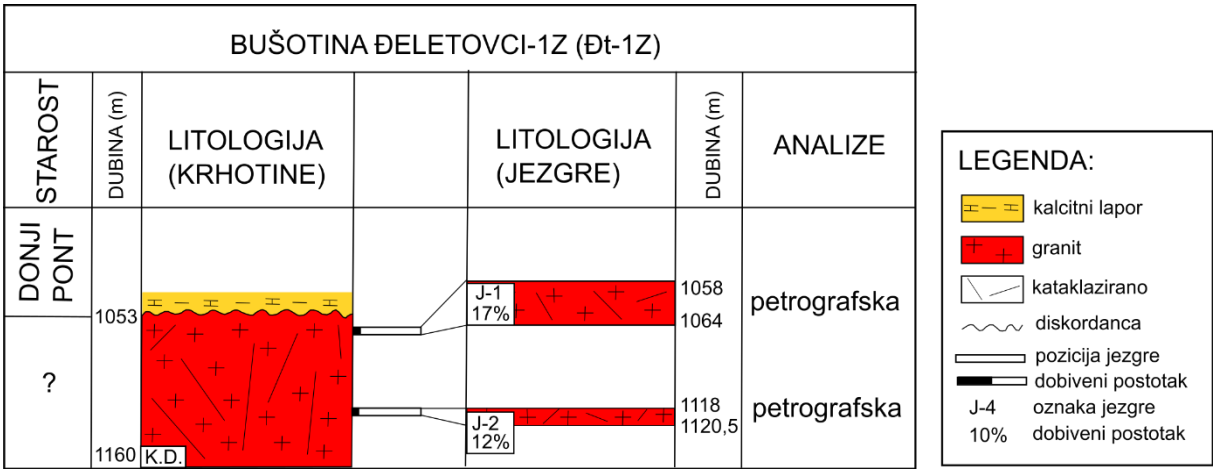
Prikaz razvoja neogena na području Privlaka preuzet je iz Filipović i Dadić (1997a). Na podlozi se transgresivno talože stratigrafski nedeterminirani krupni klastiti za koje je na temelju analogije s poljem Đeletovci pretpostavljena badenska starost. Ove stijene nisu rasprostranjene na cijelom području, već se u najvećem dijelu na podlogu neogena direktno talože naslage donjeg ponta, a

koje se uglavnom sastoje od izmjene lapora i pješčenjaka debljine oko 100 m. Naslage gornjeg ponta čini izmjena lapora (kojima se udio glinovite komponente povećava prema plićim dijelovima) i slabo vezanih pijeska i pješčenjaka, s proslojcima ugljena, ukupne debljine oko 100 m. Pliocenske naslage debljine su oko 600 m i sastoje se od glina, pijesaka i šljunaka, s pojavama ugljena. Sastav kvartarnih naslaga vrlo je sličan pliocenskim. Granica pliocena i kvartara procijenjena je na 30 m dubine.

6.1.2. Područje Đeletovci

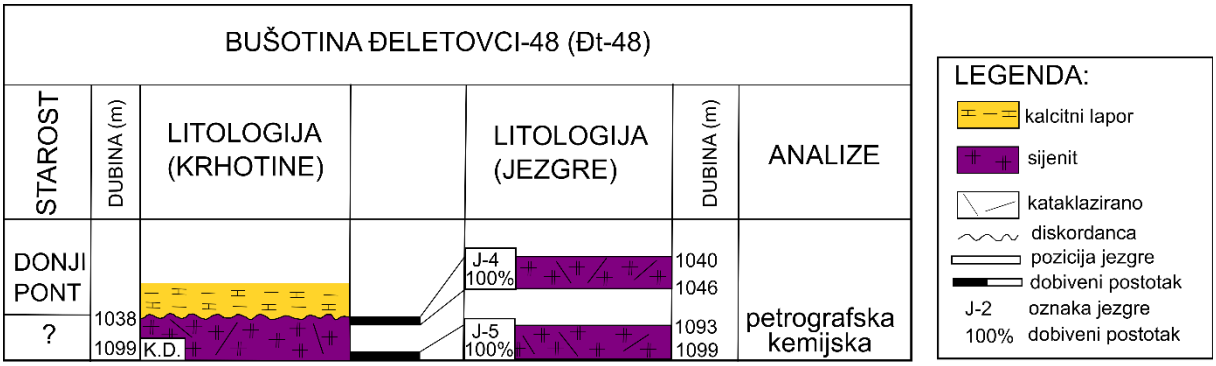
Na zapadnom dijelu područja Đeletovci podloga neogena je heterogene građe (**Slika 6.1**). Probušeni su izrazito tektonizirani (milonitizirani i kataklazirani) alkalijsko-feldspatski granit (Đeletovci-1Z), alkalijsko-feldspatski sijenit (Đeletovci-48,) i dijabaz (Đeletovci-2, kojeg su odredili Sokolović i Brodarić, 1983c; te Đeletovci-10, na temelju krhotina iz isplake). Podloga neogena na ostatku područja Đeletovci izgrađena je dominantno od milonitnih gnajseva, podređeno porfiroblastičnih gnajseva i riolita. Porfiroblastični gnajsevi i rioliti imaju malo prostorno pojavljivanje pa nisu mogli biti prikazani na **Slici 6.1**.

U bušotini Đeletovci-1 Zapad (**Slika 6.4**) alkalijsko-feldspatski granit probušen je u intervalu od 1053 m do konačne dubine od 1160 m. Dobivene su dvije jezgre, koje su petrografski analizirane. Stijena je izrazito tektonizirana, u vršnom dijelu kataklazirana, a u dubljim dijelovima milonitizirana. Na podlozi neogena talože se kalcitni lapori donjeg ponta.



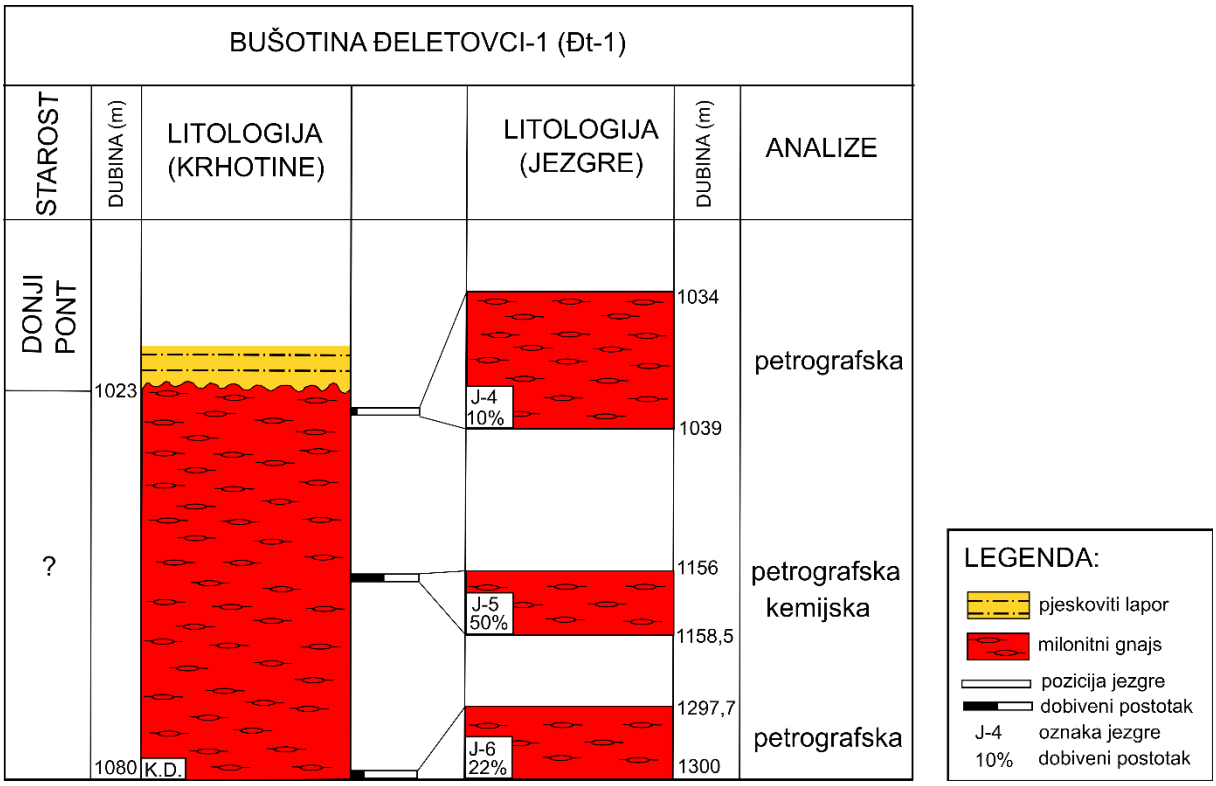
Slika 6.4 Dio stupa bušotine Đeletovci-1 Zapad u intervalu 1050-1160 m. Modificirano prema Brajković i dr. (2012). K.D. – konačna dubina bušotine.

U bušotini Đeletovci-48 probušen je alkalijsko-feldspatski sijenit u intervalu od 1038 m do konačne dubine od 1099 m (**Slika 6.5**). Dobivene su dvije jezgre, koje su jezgrovane specijalnim aparatom za rastresite materijale, pa su dobivene u potpunosti. Stijene su kataklazirane i zahvaćene procesima trošenja, posebno vršna jezgra. Dublja jezgra uzorkovana je za petrografske analize, a izvršena je i analiza kemijskog sastava stijene. Na podlozi se nalaze kalcitni lapori donjeg ponta (Fararik i Kraljević, 1989).



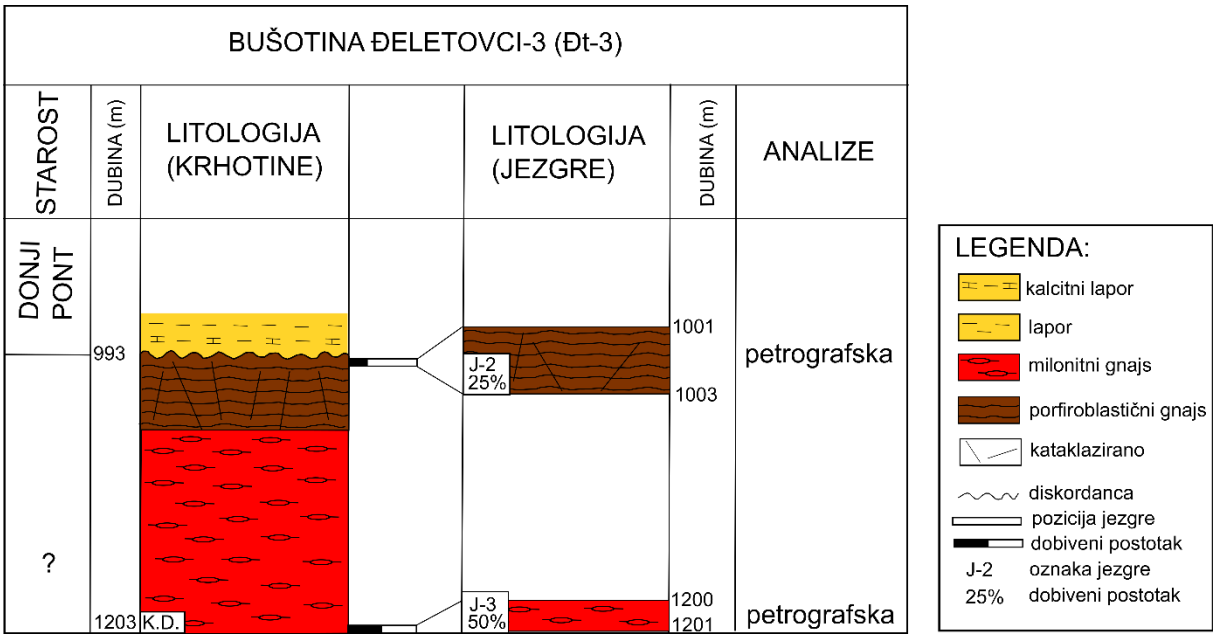
Slika 6.5 Dio stupa bušotine Đeletovci-48 u intervalu 1030-1099 m. Modificirano prema Fararik i Kraljević (1989). K.D. – konačna dubina bušotine.

U bušotini Đeletovci-1 probušen je milonitni gnajs u intervalu od 1023 m do konačne dubine od 1028 m (**Slika 6.6**). Unutar ovog intervala dobivene su tri jezgre, koje su podvrgnute petrografskoj analizi, a na jednom uzorku izvršena je i kemijska analiza cijele stijene. Na podlozi se nalaze pjeskoviti lapori donjeg ponta (Sokolović i Vlahović, 1982).



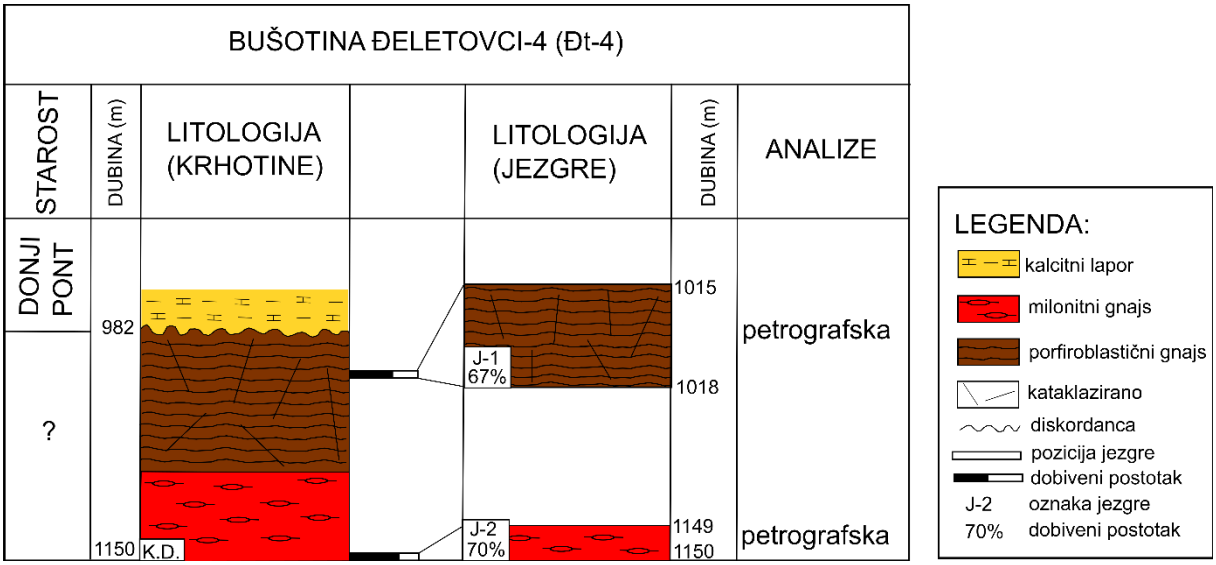
Slika 6.6 Dio stupa bušotine Đeletovci-1 u intervalu 1020-1080 m. Modificirano prema Sokolović i Vlahović (1982). K.D. – konačna dubina bušotine.

U bušotini Đeletovci-3 u intervalu od 993 m do konačne dubine od 1203 m probušena su dva tipa gnajsa: porfiroblastični i milonitni gnajs (**Slika 6.7**). Iz ovog intervala dobivene su dvije jezgre, na kojima su izvršene petrografske analize. U vršnom dijelu jezgrovan je porfiroblastični gnajs koji je izrazito kataklaziran dok je kao završna jezgra dobiven milonitni gnajs. Pretpostavljena granica između ove dvije litologije preuzeta je iz Sokolović i Vlahović (1983a). Na gnajsevima se nalaze kalcitni lapori donjeg ponta.



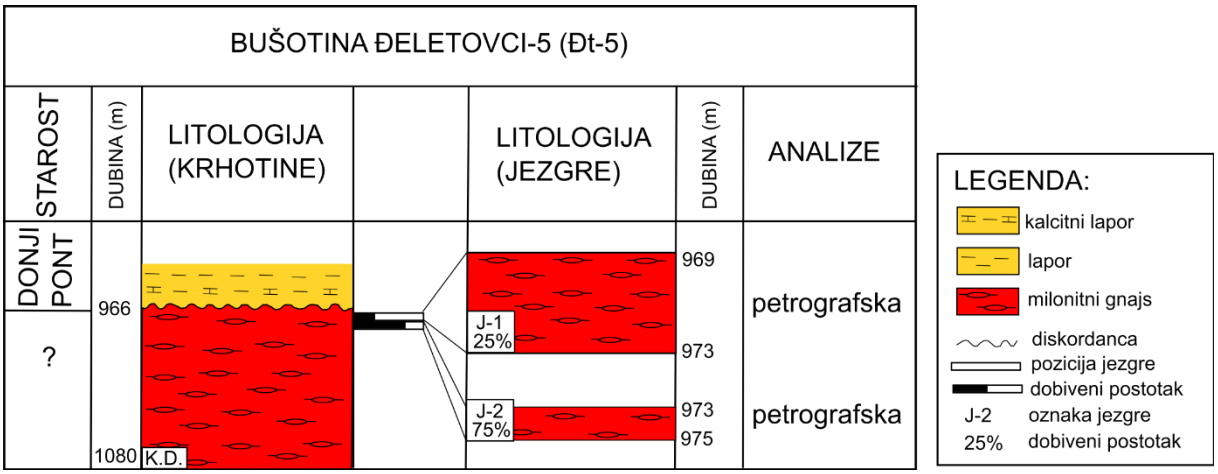
Slika 6.7 Dio stupa bušotine Đeletovci-3 u intervalu 985-1203 m. Modificirano prema Sokolović i Vlahović (1983a). K.D. – konačna dubina bušotine.

U bušotini Đeletovci-4 u intervalu od 982 m do konačne dubine 1150 m također su probušeni porfiroblastični i milonitni gnajs (**Slika 6.8**). Dobivene su dvije jezgre koje su petrografski analizirane, a pretpostavljena granica između porfiroblastičnog i milonitnog gnajsa preuzeta je od Sokolović i Vlahović (1983b). Na gnajsevima se nalaze kalcitni lapori donjeg ponta (Sokolović i Vlahović, 1983b).



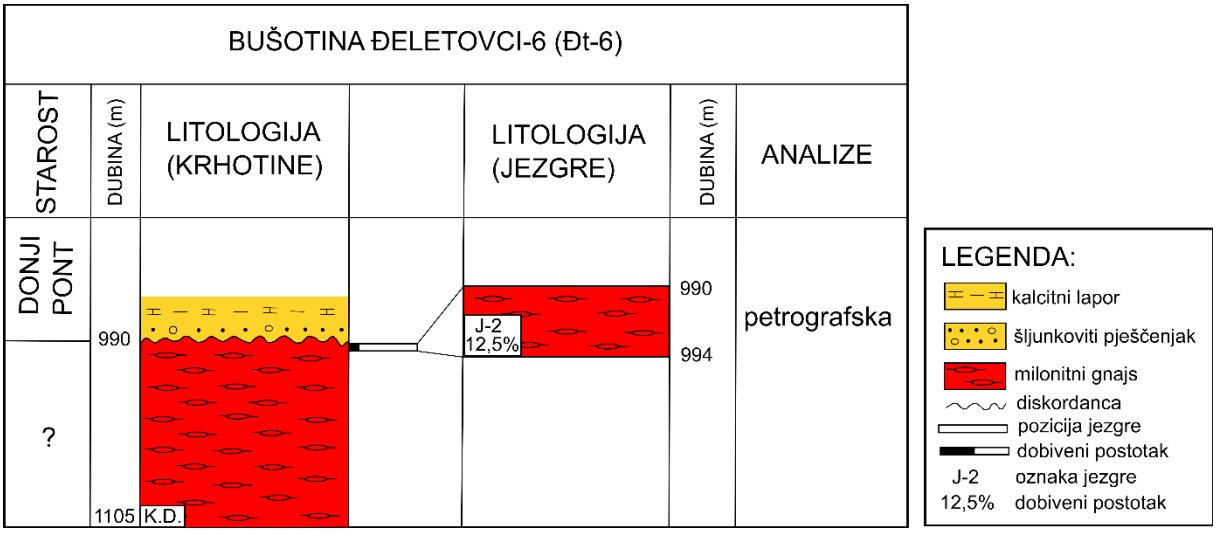
Slika 6.8 Dio stupa bušotine Đeletovci-4 u interval 970-1150 m. Modificirano prema Sokolović i Vlahović (1983b). K.D. – konačna dubina bušotine.

U bušotini Đeletovci-5 u intervalu od 966 m do konačne dubine od 1080 m probušen je milonitni gnajs (**Slika 6.9**). Dobivene su dvije jezgre na kojima je izvršena petrografska analiza. Na gnajsu se nalaze kalcitni lapori donjeg ponta (Husnjak, 1983).



Slika 6.9 Dio stupa bušotine Đeletovci-5 u intervalu 960-1080 m. Modificirano prema Husnjak (1983). K.D. – konačna dubina bušotine.

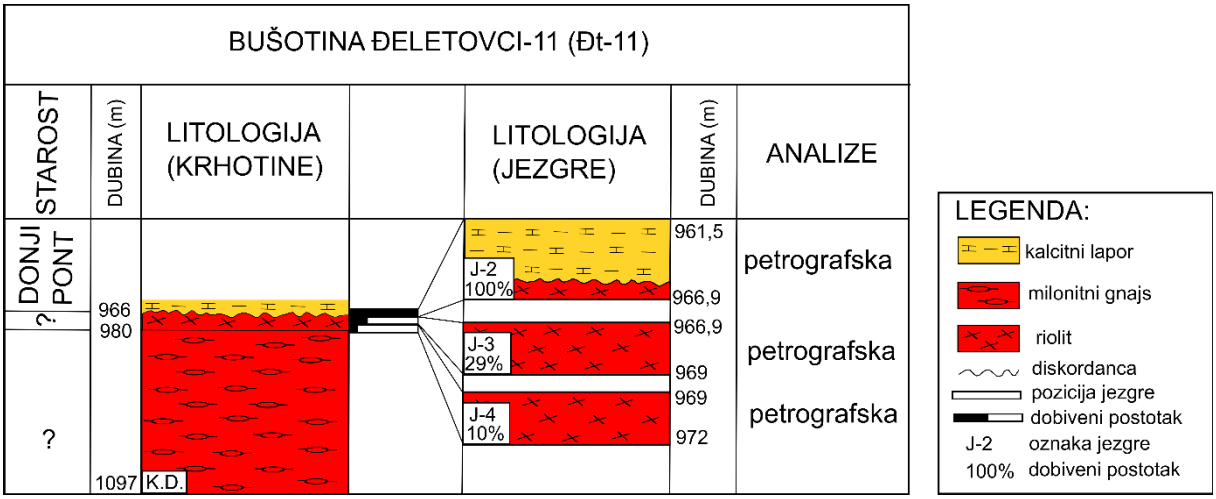
U bušotini Đeletovci-6 u intervalu od 990 m do konačne dubine od 1105 m probušen je milonitni gnajs (**Slika 6.10**). U vršnom dijelu dobivena je jezgra na kojoj je izvršena petrografska analiza. Na gnajsu se nalazi šljunkoviti pješčenjak donjeg ponta (Husnjak, 1984).



Slika 6.10 Dio stupa bušotine Đeletovci-6 u intervalu 980-1105. Modificirano prema Husnjak (1984). K.D. – konačna dubina bušotine.

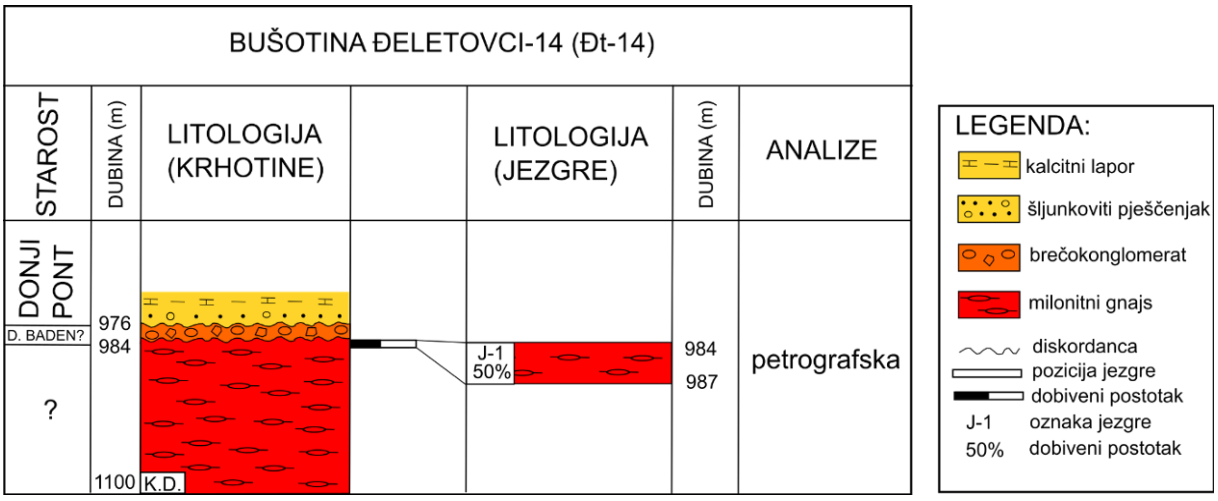
U bušotini Đeletovci-11 u podlozi kalcitnih lapora donjeg ponta (Kunštek, 1985) na dubini od 966 do 980 m nalazi se riolit (**Slika 6.11**). Ovaj interval obuhvaćen je s tri jezgre koje su petrografski analizirane isključivo na temelju mikroskopskih preparata iz Arhive INA-Industrija

nafte d.d., zato što jezgre više nisu dostupne u skladištu na Mramor Brdu. U podini riolita nalazi se milonitni gnajs u kojem bušotina i završava na 1097 m.



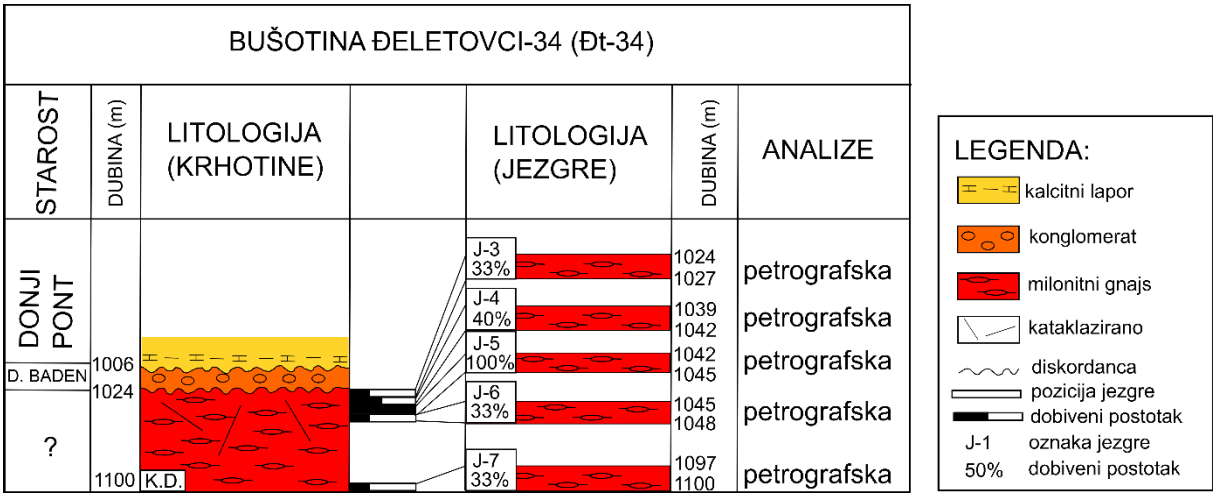
Slika 6.11 Dio stupa bušotine Đeletovci-11 u intervalu 960-1097 m. Modificirano prema Kunštek, (1985). K.D. – konačna dubina bušotine.

U bušotini Đeletovci-14 probušen je milonitni gnajs u intervalu od 984 do konačne dubine od 1100 m (**Slika 6.12**). Pridobivena je jedna jezgra koja je petrografski analizirana. Na gnajsu se nalaze konglomerati pretpostavljene donjobadenske starosti (Cesar, 1985). Slijedi diskordanca nakon koje se talože šljunkoviti pješčenjaci i kalcitni lapori donjeg ponta (Cesar, 1985).



Slika 6.12 Dio stupa bušotine Đeletovci-14 u intervalu 970-1100 m. Modificirano prema Cesar (1985). K.D. – konačna dubina bušotine.

U bušotini Đeletovci-34 probušen je milonitni gnajs u intervalu od 1024 m do konačne dubine od 1100 m (**Slika 6.13**). Unutar navedenog intervala dobiveno je pet jezgara koje su petrografski analizirane. Na gnajsu se nalaze konglomerati donjeg badena (Fararik, 1985), a na njima su u diskordantnom odnosu kalcitni lapori donjeg ponta (Fararik, 1985).

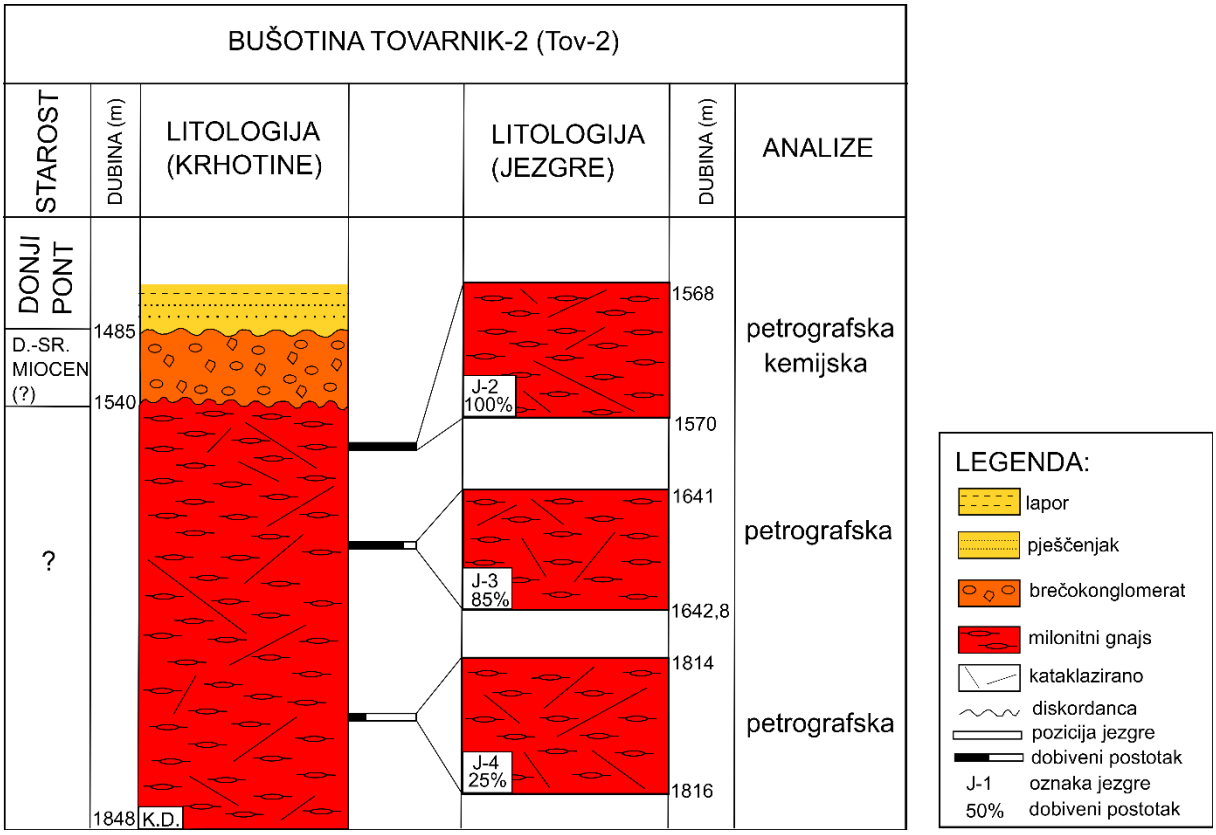


Slika 6.13 Dio stupa bušotine Đeletovci-34 u intervalu 1000-1100 m. Modificirano prema Fararik, B. (1985). K.D. – konačna dubina bušotine.

Razvoj neogena na području Đeletovaca vrlo je sličan razvoju na području Privlake. Na podlozi neogena nalaze se kronostratigrafski nedeterminirane breče koje sadrže uglavnom klaste i blokove milonitnog gnajsa. Donjobadenske naslage, koje također mogu biti transgresivne na podlogu neogena, sastoje se od breča, konglomerata, lapora i pješčenjaka (npr. Vlahović, 1984a, b, c). Prikaz ostatka razvoja naslaga na području Đeletovaca preuzet je iz Filipović i Dadić (1997b). Naslage donjeg ponta transgresivne su na badenske naslage, ali i na stijene podloge neogena. Sastoje se od lapora i pješčenjaka debljine 150-300 m. Gornji pont sastoji se od izmjene lapora s porastom glinovite komponente prema plićim dijelovima i slabo vezanih pijesaka i pješčenjaka, ukupne debljine 100-200 m. Pliocenske naslage sastoje se od izmjena glina i pijesaka te šljunaka s pojavama ugljena. Prosječne su debljine oko 600 m. Kao i na Privlaci, debljina kvartara procijenjena je na 30 m.

6.1.3. Bušotina Tovarnik-2

Bušotina Tovarnik-2 nalazi se istočno od polja Đeletovci i južno od polja Ilača (Slika 6.1). U polju Ilača su probušeni granat-biotit-muskovitni škriljavci (Belak, 1995) u izmjeni s granat-biotit-muskovitnim gnajsevima. Južno od bušotine Tovarnik-2 nalaze se bušotine Tovarnik-1, Tovarnik -3 i Tovarnik -4. U navedenim bušotinama su u podlozi neogena nabušene metasedimentne stijene vrlo niskog do niskog stupnja metamorfizma koje se sastoje od izmjene različitih vrsta metapelita, metapsamita, mramora i zelenih škriljavaca. Podloga neogena u bušotini Tovarnik-2 probušena je na dubini od 1540 m, a izgrađena je od milonitnih gnajseva (**Slika 6.14**). Unutar intervala od 1540 do 1848 m dobivene su tri jezgre, koje su petrografski analizirane, a jedna je jezgra analizirana i kemijski (**Slika 6.14**). Transgresivno na gnajsu u bušotini Tovarnik-2 nalazi se pjeskoviti konglomerat debljine oko 55 m, s pretpostavljenom miocenskom starošću (Matišin i dr., 1977), a u okviru ovog doktorskog rada petrografska analiza je pokazala da sadrži valutice gnajsa, eklogita, škriljavaca i moguće hornfelsa. Na konglomeratu se diskordatno talože lapori i pješčenjaci donjeg ponta debljine 285 m, zatim lapori, pješčenjaci i pijesci gornjeg ponta debljine oko 470 m te pliocenski sedimenti debljine oko 700 m (Matišin i dr., 1977).

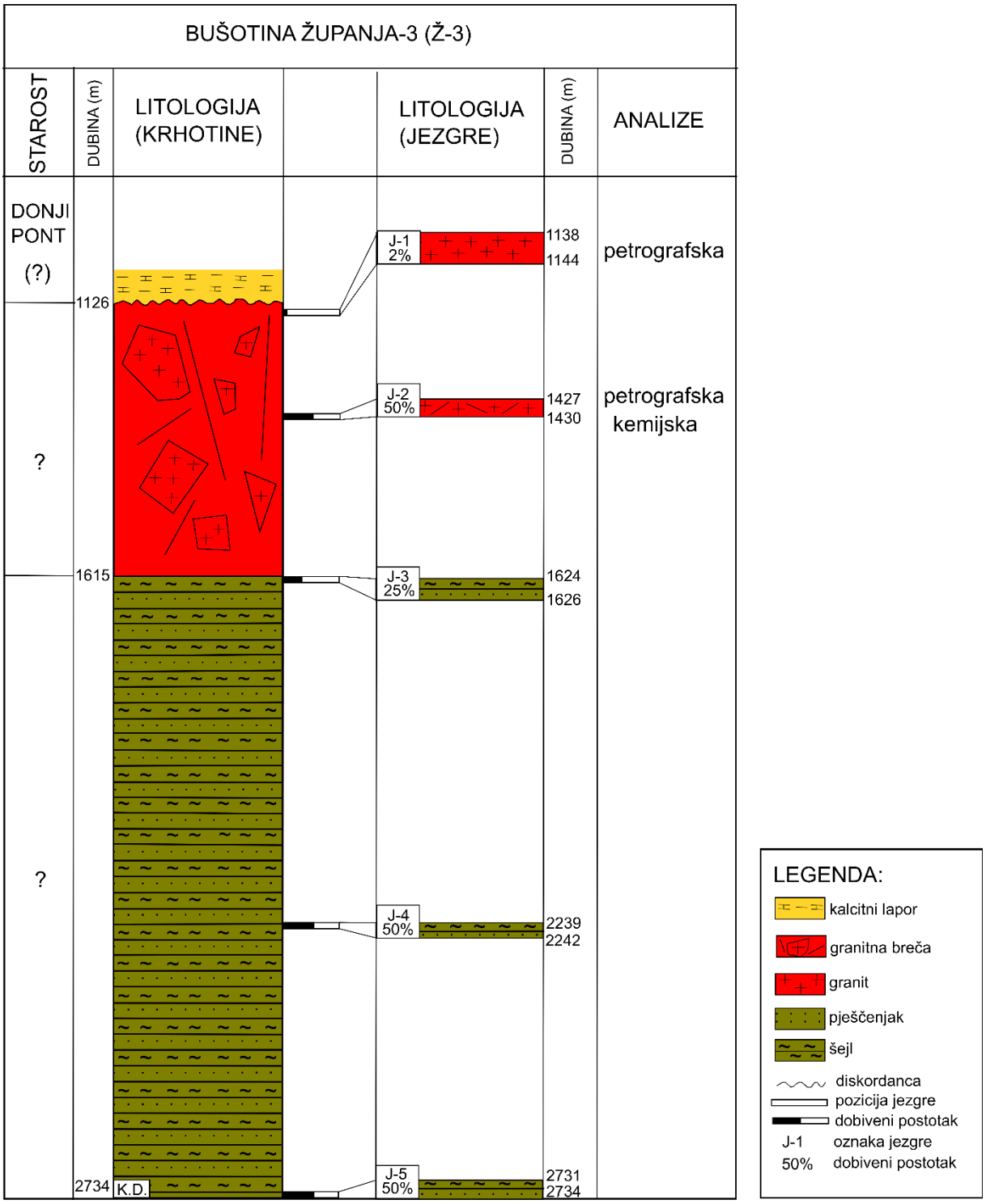


Slika 6.14 Dio stupa bušotine Tovarnik-2 u intervalu 1480-1848 m. Modificirano prema Matišin i dr. (1977). K.D. – konačna dubina bušotine.

6.1.4. Bušotina Županja-3

U širem području Županje probušeni su dijabazi (bušotine Županja 1 i 2) te metasedimentne stijene (bušotina Brežnica-1). U bušotini Županja-3 u intervalu od 1135 m do 1615 m probušene su stijene koje su Ivaniček i Vlahović (1986) odredili kao kataklastične granitne breče (**Slika 6.15**). Interval je obuhvaćen s dvije jezgre, koje su petrografski analizirane, a na jednom uzorku jezgre je napravljena i kemijska analiza. Iz prve jezgre dobiven je samo jedan komad stijene veličine oko 0,10 m, koji je određen kao kataklazirani granit. Iz druge jezgre dobiveno je oko 1,2 m stijenskog uzorka, također uglavnom kataklaziranog porfiroidnog granita, ali u vršnom dijelu jezgre nalazi se i komad riolita veličine oko 0,1 m. Zbog izlomljenosti velikog dijela jezgre, nije utvrđen odnos između riolita i granita. Na temelju dobivenih podataka ne može se pouzdano utvrditi je li riječ o kataklaziranom granitu ili o breči sastavljenoj od klasta granitnog sastava. Ispod ovog intervala probušena je izmjena šejlova i pješčenjaka u intervalu od 1615 do konačne dubine od 2734 m (**Slika 6.15**). Pretpostavljena starost ovih stijena je mezozojska (Ivaniček i Vlahović, 1986). Organskom petrologijom (Barić, 1999) utvrđeno je da je organska tvar u šejlovima iz ovog intervala termički izmijenjena, na što ukazuje vrijednost vitrinitne refleksije (Ro=2,83%) i termalnog alteracijskog indeksa (TAI=4). Iako pitanje starosti ostaje otvoreno, vjerojatno je riječ o predneogenskim naslagama.

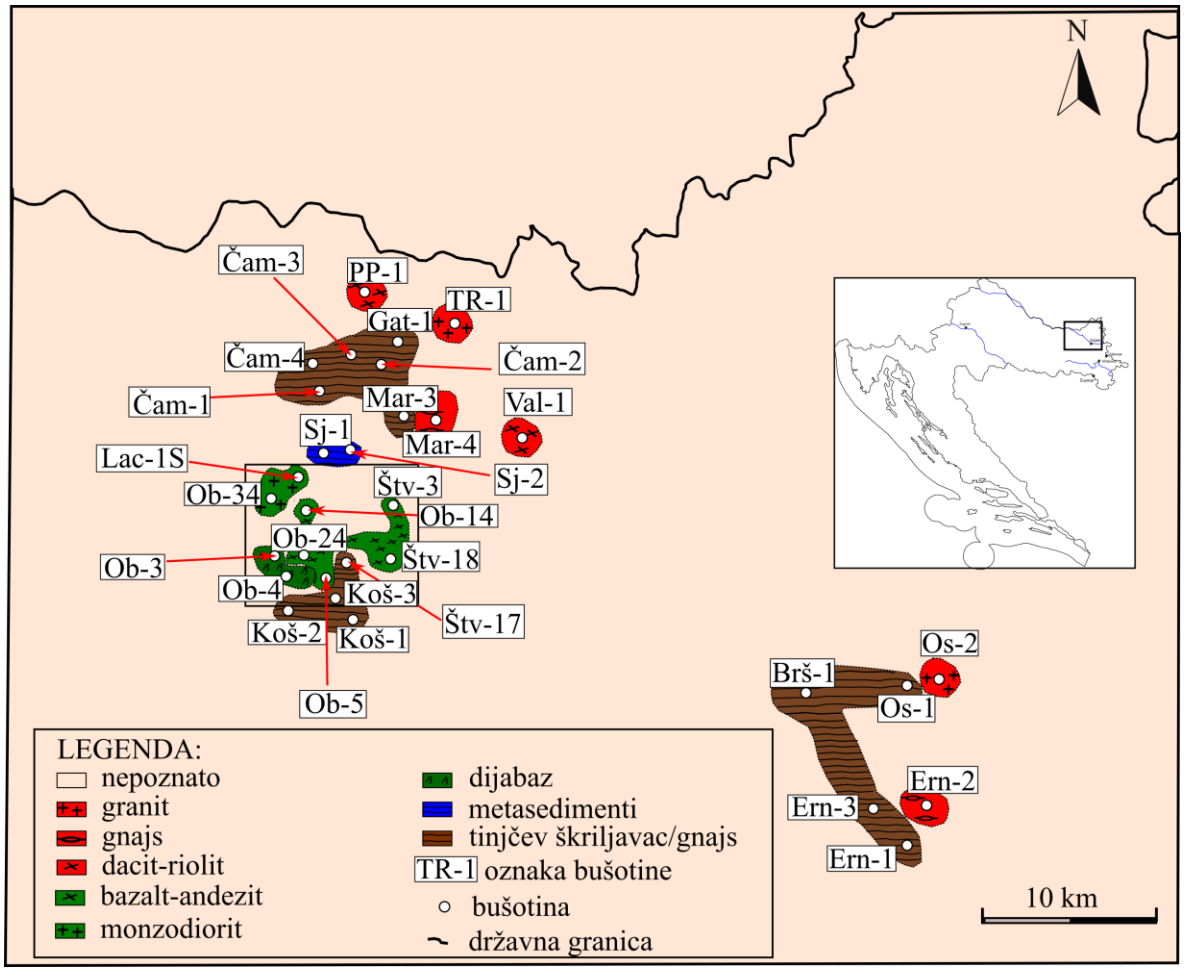
Na kataklazirani granit/granitnu breču talože se lapori i kalcitom bogati lapori kojima je procijenjena panonska starost, a debljine su 9 m (Ivaniček i Vlahović, 1986). S obzirom da je riječ o vrlo uskom intervalu te da nema paleontoloških dokaza, ove naslage bi mogle pripadati i donjem pontu, čija je starost paleontološki dokazana u nešto plićem intervalu. Na njima se nalaze naslage ponta u debljini oko 340 m, pri čemu nisu razdvojeni donji i gornji pont, a sastoje se od glinovitih lapora s tankim proslojcima pješčenjaka (Ivaniček i Vlahović, 1986). Pliocenske naslage debljine su oko 700 m, a sastoje se od glina s proslojcima pijeska, u plićem intervalu i šljunka s pojavama ugljena (Ivaniček i Vlahović, 1986).



Slika 6.15 Dio stupa bušotine Županja-3 u intervalu 1120-2734 m. Modificirano prema Ivaniček i Vlahović, (1986). K.D. – konačna dubina bušotine.

6.2. Istočni dio Dravske depresije

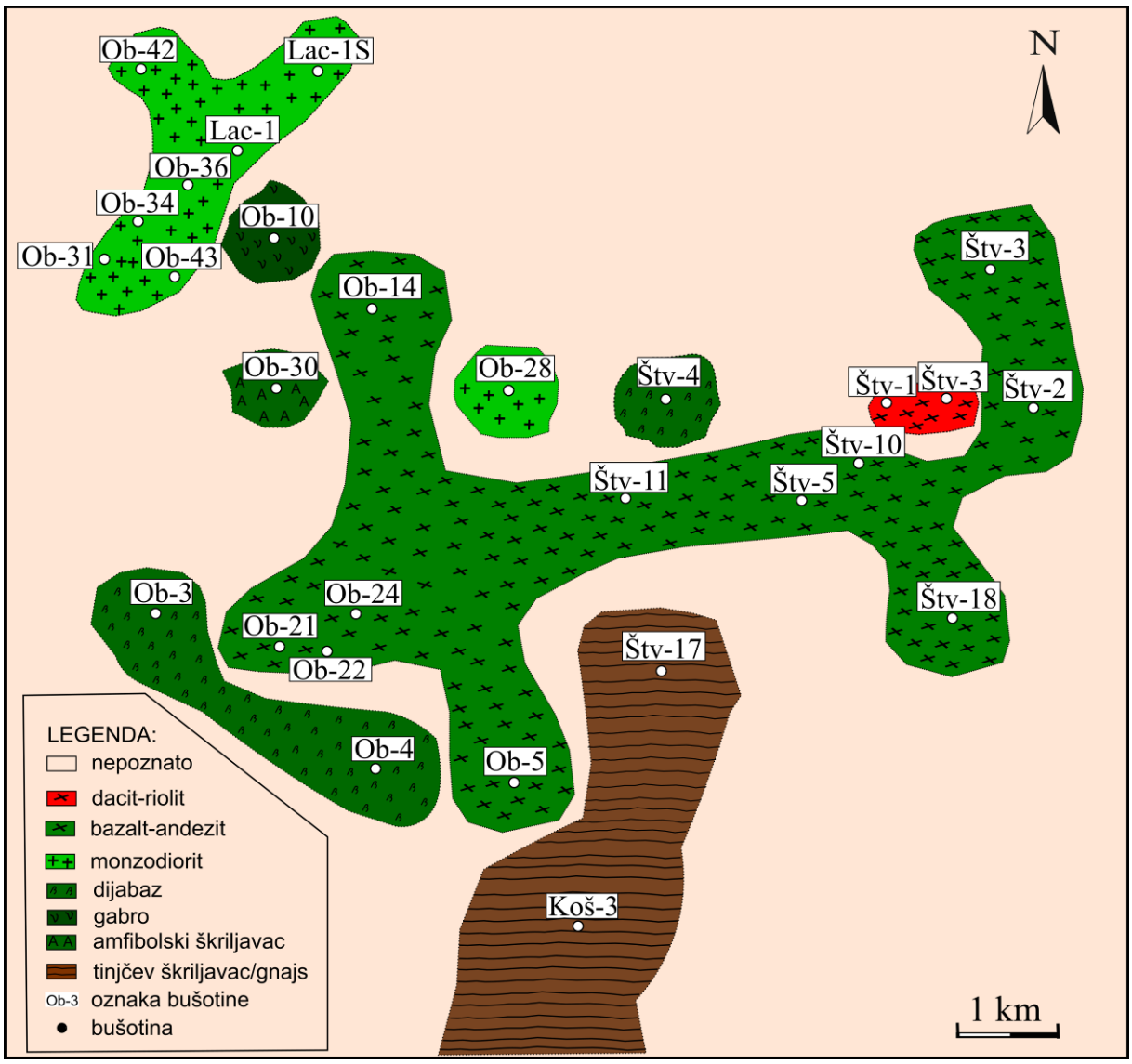
Na području istočnog dijela Dravske depresije granitoidi i gnajsevi su probušeni u više bušotina: Torjanski Rid-1 u blizini Donjeg Miholjca, zatim Marjanci-4, Osijek-2 i Ernestinovo-2 te na području naftnog polja Obod. Građa podloge neogena u okolici spomenutih bušotina prikazana je na **Slici 6.16**. Detaljniji prikaz bio je moguć na području polja Obod i Ševkovica dok je na ostatku područja prikaz točkast i manje pouzdan zbog nedostatka većeg broja bušotina.



Slika 6.16 Građa vršnog dijela podloge neogena na području polja Obod (bušotine Ob-3, Ob-4, Ob-5, Ob-14, Ob-24, Ob-34, Lac-1S), polja Ševkovica (bušotine Štv-3, Štv-17 i Štv-18), i polja Sječe (bušotine Sj-1 i Sj-2) te na području istražnih bušotina Podravski Podgajci (bušotina PP-1), Čamagajevci (bušotine Čam-1, Čam-2, Čam-3, Čam-4), Gat (bušotina Gat-1), Torjanski Rid (bušotina TR-1), Marjanci (bušotine Mar-3 i Mar-4), Valpovo (bušotina Val-1), Koška (Koš-1, Koš-2 i Koš-3), Osijek (Os-1 i Os-2), Brešće (Brš-1), Ernestinovo (Ern-1, Ern-2 i Ern-3).

6.2.1. Područje Obod

Magmatske i metamorfne stijene na području Oboda i Štekovice prikazane su na **Slici 6.17.**

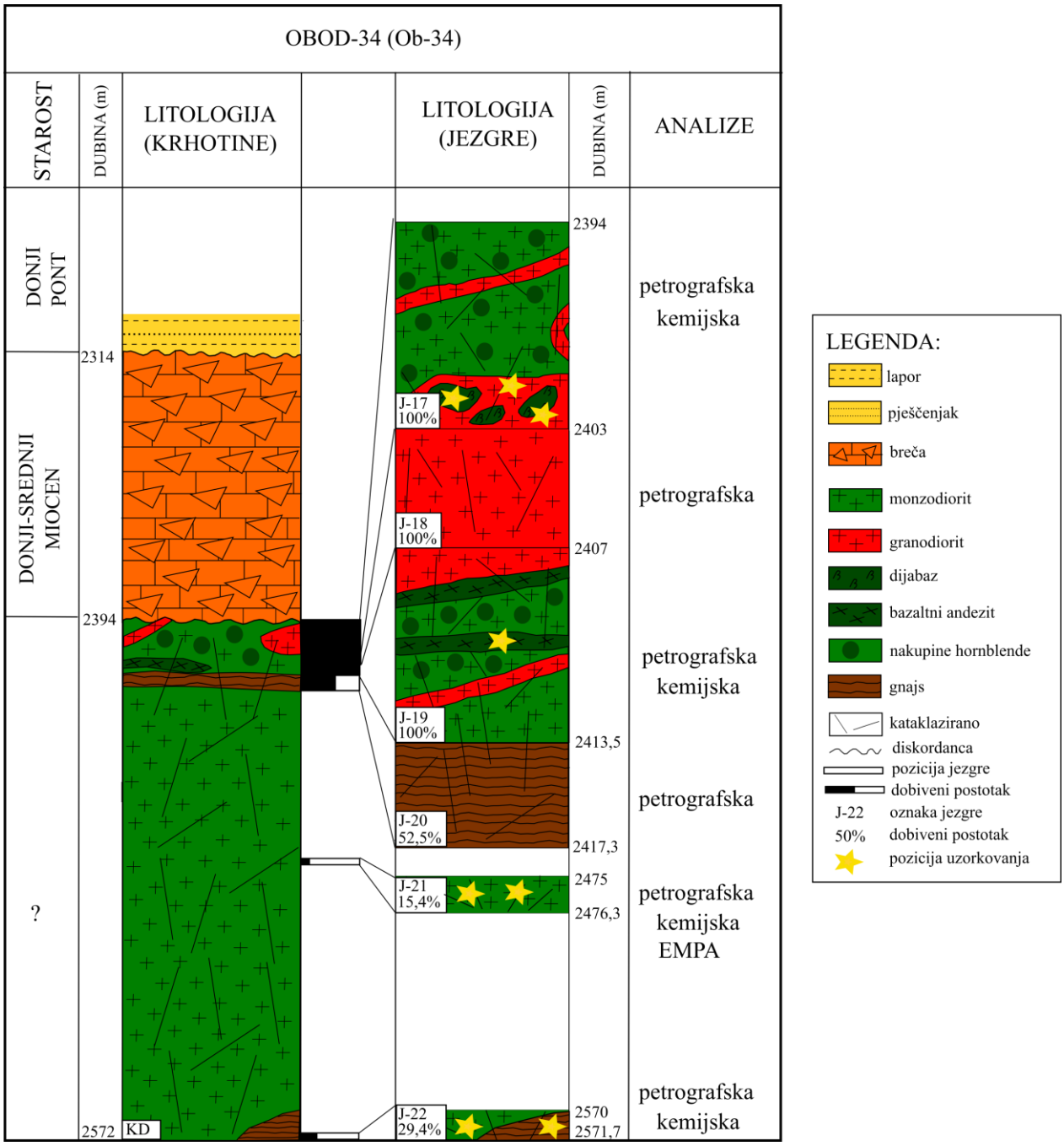


Slika 6.17 Prikaz magmatskih i metamorfnih stijena na području polja Obod (bušotine Ob-3, Ob-4, Ob-5, Ob-10, Ob-14, Ob-21, Ob-22, Ob-24, Ob-28, Ob-30, Ob-31, Ob-34, Ob-36, Ob-42, Ob-43, Lac-1, Lac-1S) i dijela polja Štekovica (bušotine Štv-1, Štv-2, Štv-3, Štv-4, Štv-5, Štv-6, Štv-10, Štv-11, Štv-17, Štv-18) te istražne bušotine Koška-3 (Koš-3).

Na području Obod probušene su različite vrste intruzivnih, efuzivnih i žilnih magmatskih stijena. Monzodioriti su probušeni i jezgrovani na području bušotina Obod-34, Lacići-1 i Lacići-1S, a na temelju krhotina iz isplake njihovo rasprostiranje pretpostavljeno je i u bušotinama Obod-36,

Obod-42, Obod-43 i Obod-46. Porfiroidni diorit probušen je bušotinom Obod-28. U bušotini Ob-10 jezgrovan je gabro, a u bušotini Obod-14 alterirani efuziv (bazalt-andezit). Amfibolski škriljavac probušen je bušotinom Ob-30. U južnom dijelu polja, alterirani efuzivi (bazalt-andezit?) jezgrovani su u bušotinama Obod-21, Obod-22, Obod-24. U bušotini Obod-5 probušeni su bazalt-andeziti s uklopcima pelita badenske starosti (V.Premec-Fućek, usmeno priopćenje). Dijabazi su probušeni bušotinama Obod-3 i Obod-4. Na susjednom polju Števkovica u brojnim su bušotinama probušene različite vrste vulkanita (dacit-andezit i bazalt) te s njima asociranih stijena (peperita, vulkanoklastita), rijetko dijabaza, a u pojedinim bušotinama probušen je i dvotinjčasti gnajs (Štv-5 i Štv-17).

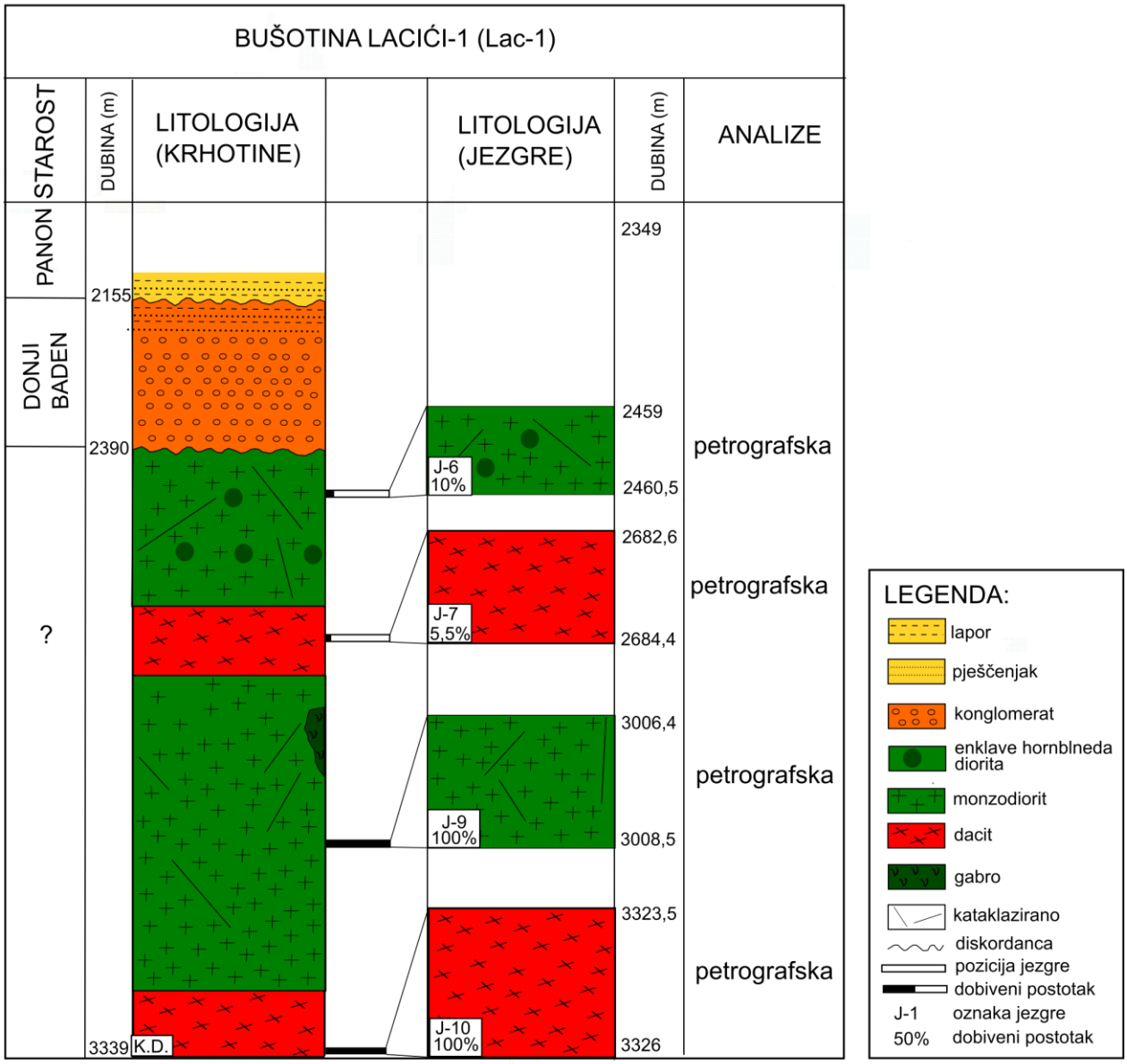
U bušotini Ob-34 različite vrste magmatskih stijena probušene su u intervalu od 2394 m do konačne dubine od 2572 m (**Slika 6.18**). Na odabranim uzorcima jezgara provedene su petrografske analize, kemijske analize cijele stijene te analize kemijskog sastava minerala. Interval od 2394 do 2417,3 m kontinuirano je jezgrovan (J-17, J-18, 1-19 i J-20) i sastoji se najvećim dijelom od monzodiorita, zatim od granodiorita, hornblenda dijabaza, vulkanita (bazaltni andezit) i na kraju gnajsa. Iz međusobnog odnosa ovih stijena vidljivo je miješanje felzitne i mafitne magme i njihova hibridizacija. Odnos s gnajsom nije u potpunosti jasan zbog izostanka jasnog kontakta s navedenim magmatskim stijenama. Iz ovog intervala napravljene su petrografske analize i kemijske analize cijele stijene na odabranim uzorcima. U intervalu od 2475 do 2476,3 m (J-21) jezgrovan je monzodiorit na kojem su izvršene petrografska analiza, kemijska analiza stijene i analiza kemijskog sastava minerala. Završna jezgra u intervalu od 2570 do 2571,7 m (J-22) sastoji se od monzodiorita i gnajsa, koji su podvrgnuti petrografskoj i kemijskoj analizi. Zbog razlomljenosti jezgre nije pronađen neposredni konakt između navedenih stijena pa nije bilo moguće utvrditi u kakvom su odnosu. Na kvarcnom monzodioritu talože se vapnenačke breče pretpostavljene starije do srednje miocenske starosti (Tadej i dr., 1991). Diskordantno na njima leže pješčenjaci i lapori kojima je pretpostavljena stratigrafska pripadnost donjem pontu (Benko, 1985).



Slika 6.18 Dio stupa bušotine Obod-34 u intervalu 2310-2572 m. Modificirano prema Tadej i dr. (1991) i Benko (1985). K.D. – konačna dubina bušotine.

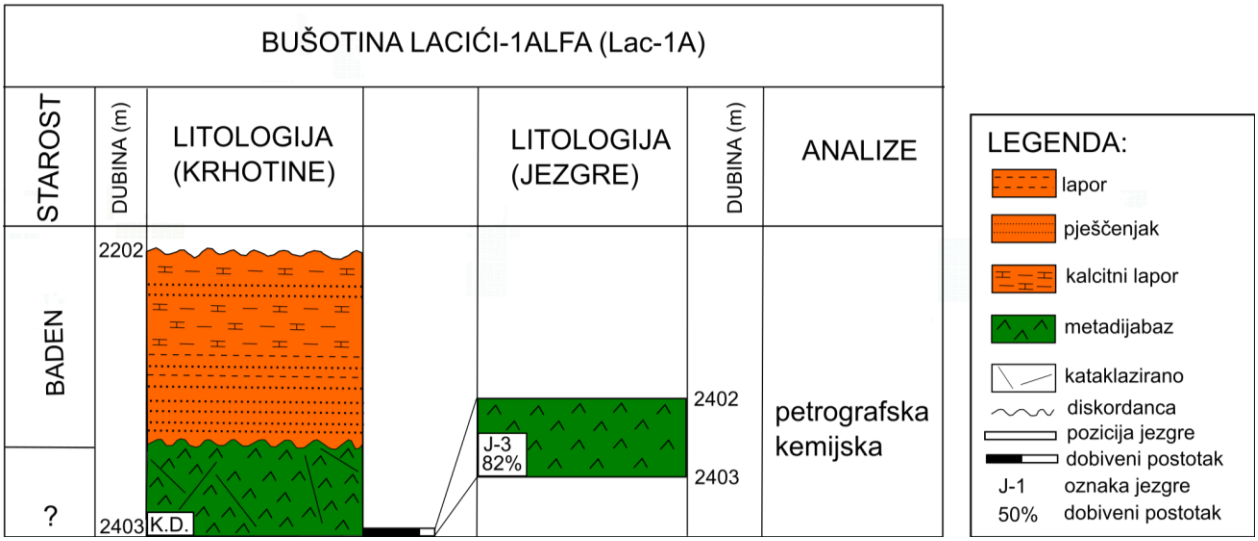
U bušotini Lacići-1 u intervalu od 2390 m do konačne dubine od 3339 m probušene su različite vrste magmatskih stijena: dominantno monzodiorit, zatim diorit i gabro (**Slika 6.19**). U ovom intervalu dobivene su četiri jezgre, na kojima su izvršene petrografske analize. Jezgra u vršnom dijelu (J-6) građena je od monzodiorita s mikrogranularnim mafitnim enklavama. Sljedeća jezgra

(J-7) izgrađena je od holokristalnog dacita, a iza nje opet slijedi kvarcni monzodiorit (J-9). Bušotina završava u dacitu s mikrokristalastim matriksom (J-10). Na dubini od 2842 tijekom vađenja zaglavljenog alata (tzv. postupak instrumentacije) dobiven je i uzorak gabra. Na navedenim magmatskim stijenama nalaze se konglomerati, pješčenjaci i lapori starijeg badena (Matišin i dr., 1978). Diskrdantno na njima su lapori i pješčenjaci panonske starosti (Matišin i dr., 1978).



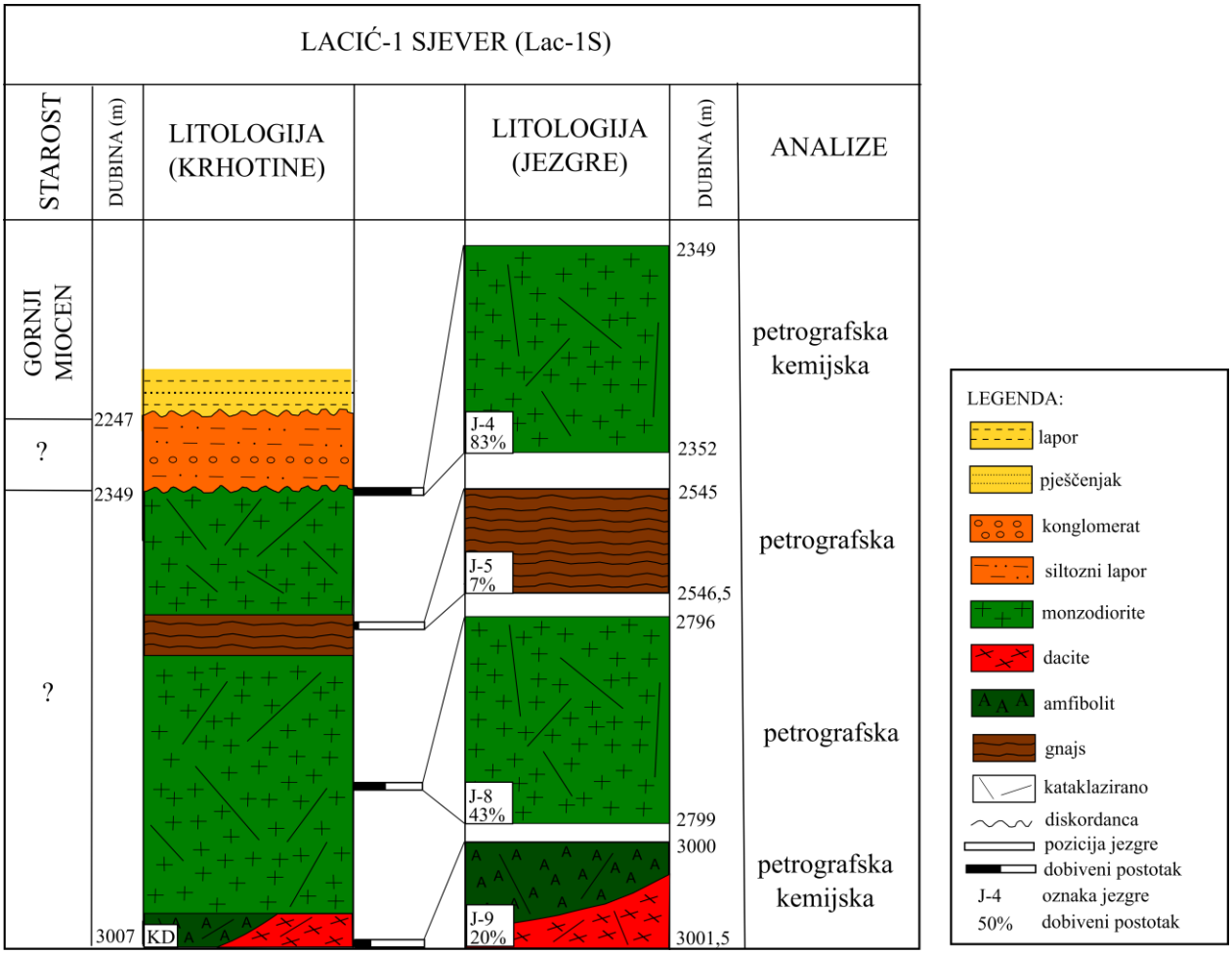
Slika 6.19 Dio stupa bušotine Lacići-1 u interval 2150-3339 m. Modificirano prema Matišin i dr. (1978). K.D. – konačna dubina bušotine.

Osim vertikalnog kanala Lacići-1, bušen je i kosi kanal Lacići-1alfa (**Slika 6.20**). U mjerenom intervalu od 2335 m do 2403,1 m probušena je magmatska stijena koja je u jezgrovanom intervalu 2402-2403,1 određena kao metadijabaz. Na metadijabazu se nalaze pješčenjacim kalcitom bogati lapori i lapori badenske starosti (Matišin i dr., 1978).



Slika 6.20 Dio stupa bušotine Lacići-1 u intervalu 2002-2403 m. Modificirano prema Matišin i dr. (1978). K.D. – konačna dubina bušotine.

U bušotini Lacići-1Sjever različite vrste magmatskih i metamorfnih stijena probušene su u intervalu od 2349 do konačne dubine od 3007 m (**Slika 6.21**). Najveći dio ovog intervala izgrađen je od monzodiorita, koji je dobiven u dvije jezgre. Unutar monzodiorita nalazi se i zona s gnajsom kakav je probušen i u bušotini Obod-34. Bušotina završava u holokristalnom dacitu i biotitnom ortoamfibolitu, koji su dobiveni završnim jezgrovanjem. Odnos između ove dvije litologije nije jasan zbog nedovoljne očuvanosti jezgre. Petrografska analiza izvršena je u sve četiri kristalinske stijene, a kemijska analiza stijene u monzodioritu (J-4, interval: 2349-2352 m) te u dacitu (J-9, interval: 3000-3001,5 m). Na monzodioritu se taloži siltozni lapor i konglomerat srednjeg badena.



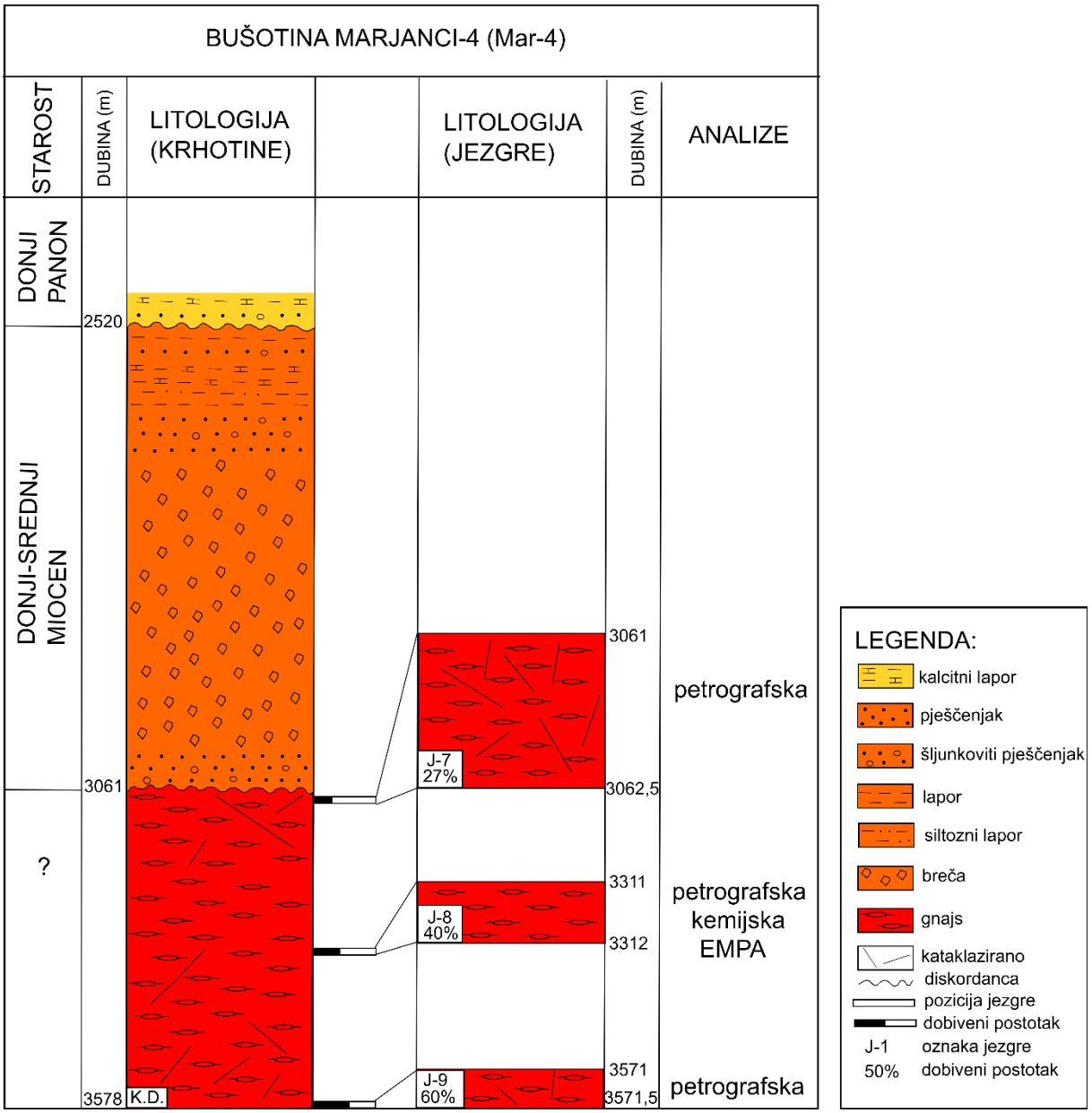
Slika 6.21 Dio stupa bušotine Lacići-1 Sjever u intervalu 2240-3007 m. Modificirano prema Sokolović i Vlahović, (1989). K.D. – konačna dubina bušotine.

Prikaz sedimentnog razvoja na polju Obod preuzet je iz Curi i dr. (1990) te Curi (1995). Na velikom dijelu područja prisutne su karbonatne breče kojima je pretpostavljena donjokredna starost (bušotine Obod-33, Obod-34, Obod-35, Obod-36, Obod-42, Obod-44, Obod-46). Međutim, ostaje otvorena mogućnost da je riječ o donjomiocenskim siparnim brečama. Naime, unutar karbonatnih breča iz bušotine Obod-34 određene su palinomorfe miocenske starosti (Tadej i dr., 1991). Naslage donjeg do srednjeg miocena diskordantne su na podlogu. Sastoje se od siparnih karbonatnih breča, siltoznih lapora i brečokonglomerata karpatske starosti te badenskih brečokonglomerata, s maksimalnom debljinom od 600 m. Vapnenci donjeg panona, debljine do 40 m, transgresivni su na donji do srednji miocen. Lapori i pješčenjaci gornjeg panona na južnom dijelu područja Obod dosežu prividne debljine do 550 m, dok na sjevernom dijelu područja gotovo izostaju. Naslage donjeg ponta, debljine oko 700 m, sastoje se od izmjene pješčenjaka i

lapora, a gornjeg ponta od pješčenjaka i glinovitih lapora, debljine oko 300 m. Pliocen se sastoji od glina, pješčenjaka i ugljena u dubljem dijelu te šljunka, pijeska i humusa u plićem dijelu, a debljina im je uglavnom oko 600 m, iako mogu doseći debljine i do 870 m.

6.2.2. Bušotina Marjanci-4

U bušotini Marjanci-4 (**Slika 6.16**) probušen je kataklazirani ortognajs, na dubini od 3061 m sve do ušća bušotine koje se nalazi na 3578 m (**Slika 6.22**). Unutar ovog intervala dobivene su tri jezgre. Na svima je izvršena petrografska analiza, a na jednoj dodatno kemijska analiza cijele stijene i analiza kemijskog sastava minerala. Podlogu neogena u okolnim bušotinama čine granat-biotit-muskovitni gnajs (bušotina Marjanci-3), zatim retrogradno izmijenjeni i milonitizirani/filonitizirani gnajs i granat-muskovit-biotitni škriljavci (bušotine Čamagajevci-1, Čamagajevci-2, Čamagajevci-3 i Čamagajevci-4), metasedimentne stijene (bušotine Sječe-1 i Sječe-2), dacitni tufovi (bušotina Sječe-2) i izrazito izmijenjeni dacit-rioliti (Valpovo-1; Maljak, 1964).



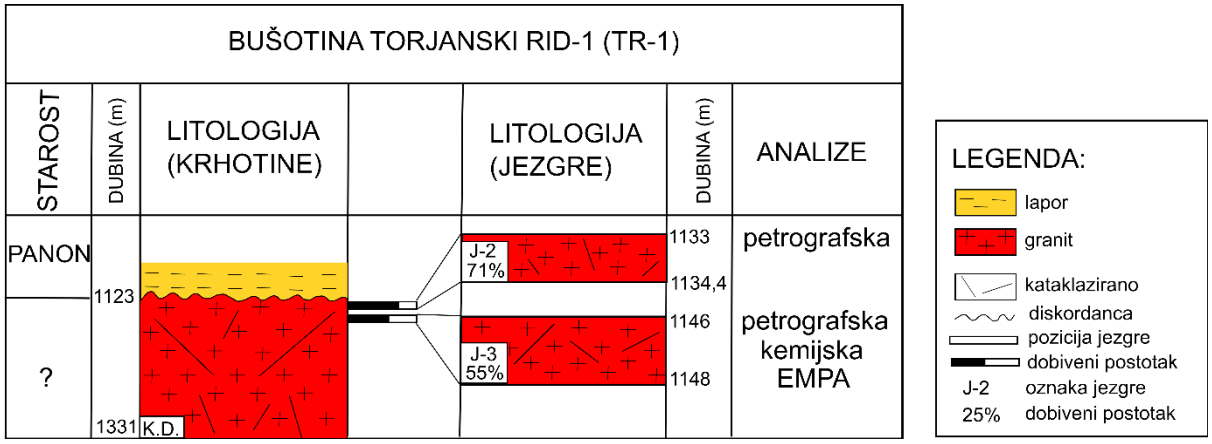
Slika 6.22 Dio stupa bušotine Marjanci-4 u intervalu 2510-3578 m. Modificirano prema Raškaj i dr., (1984). K.D. – konačna dubina bušotine.

Sedimentni razvoj područja bušotine Marjanci-4 preuzet je iz Raškaj i dr. (1984). Na podlozi neogena leže brečokonglomerati i šljunkoviti kvarcni pješčenjaci kojima je pretpostavljena donjomiocenska starost. Na njima se nalaze pješčenjaci, siltiti i brečokonglomerati s otnanškim mikrofosilima. Badenske naslage sastoje se od šljunkovitog pješčenjaka, kalcitnog lapora, siltita i pjeskovitog fosilifernog vapnenca. Naslage gornjeg miocena su afosiliferne te su određene na temelju korelacije sa susjednim bušotinama. Donji panon sastoji se od vapnenca i glinovitog

vapnenca, debljine 160 m, a gornji od kalcitnog lapora debljine oko 150 m. Glinoviti lapori s proslojcima ugljena i pješčenjaka, donjeg ponta, debljine su oko 700 m, a glinoviti lapori i pješčenjaci gornjeg ponta oko 300 m. Pjeskovite gline, pijesci ugljeni i šljunci pliocena debljine su preko 900 m.

6.2.3. Bušotina Torjanski Rid-1

U bušotini Torjanski Rid-1 probušen je granit od 1122 m do konačne dubine od 1331 m (**Slika 6.23**). Dobivene su dvije jezgre, koje su petrografski analizirane, a u jednoj su dodatno napravljene i kemijske i mineraloške analize. U okolnim bušotinama probušeni su retrogradno izmijenjeni i milonitizirani/filonitizirani gnajs i granat-muskovit-biotitni škriljavci (bušotine Čamagajevci-1, Čamagajevci-2, Čamagajevci-3 i Čamagajevci-4, Gat-1, Podravski Pogajci-1 – dublji intervali), te metamorfozirani daciti i dacitni tufovi (plići intervali u podlozi neogena bušotine Podravski Pogajci-1).



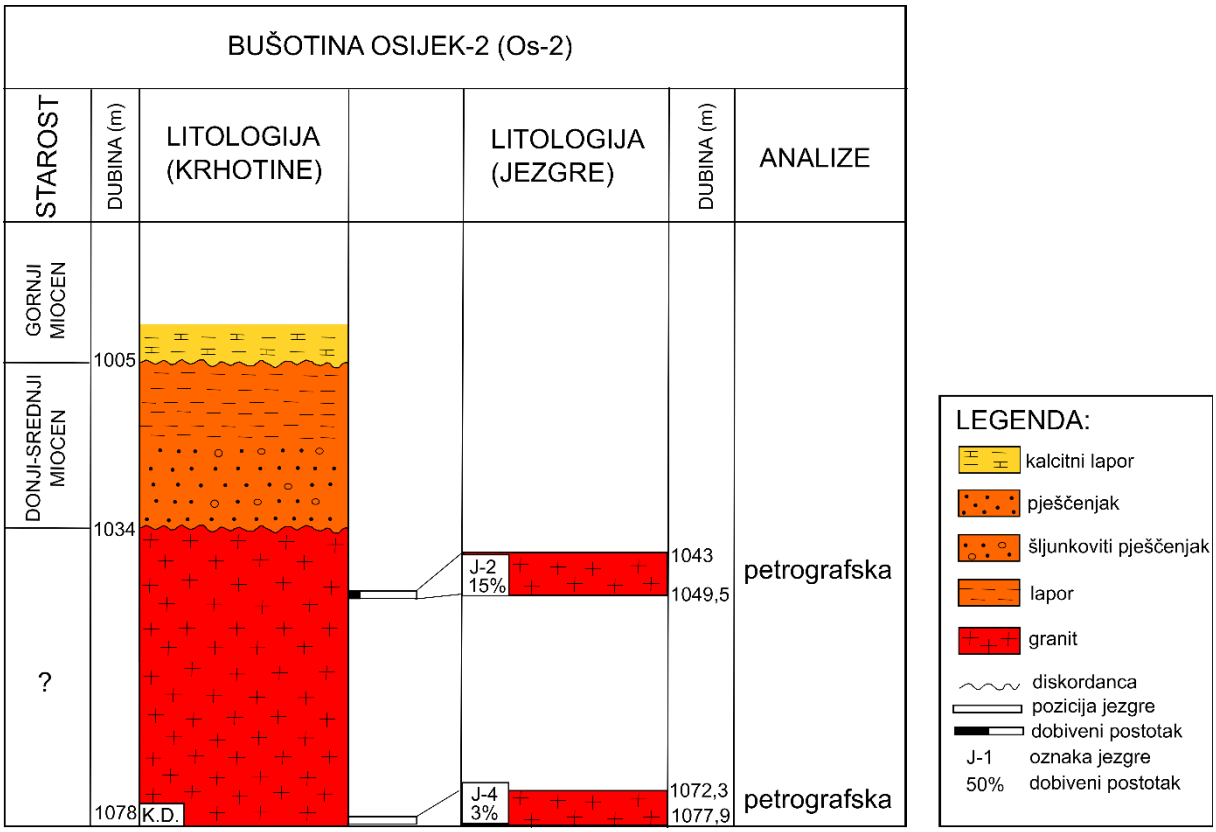
Slika 6.23 Dio stupa bušotine Torjanski Rid-1 u intervalu 1120-1331 m. Modificirano prema Matišin i dr. (1979). K.D. – konačna dubina bušotine.

Sedimentni razvoj u bušotini Torjanski Rid-1 preuzet je iz Matišin i dr. (1979). Transgresivno na podlozi nalaze se panonski lapori debljine oko 115 m. Pontske naslage debljine su oko 550 m i sastoje se od izmjene pješčenjaka i lapora. Pliocenske gline s proslojcima pijeska i ugljena (Kadić, 1979) debljine su oko 650 m.

6.2.4. Osijek-2

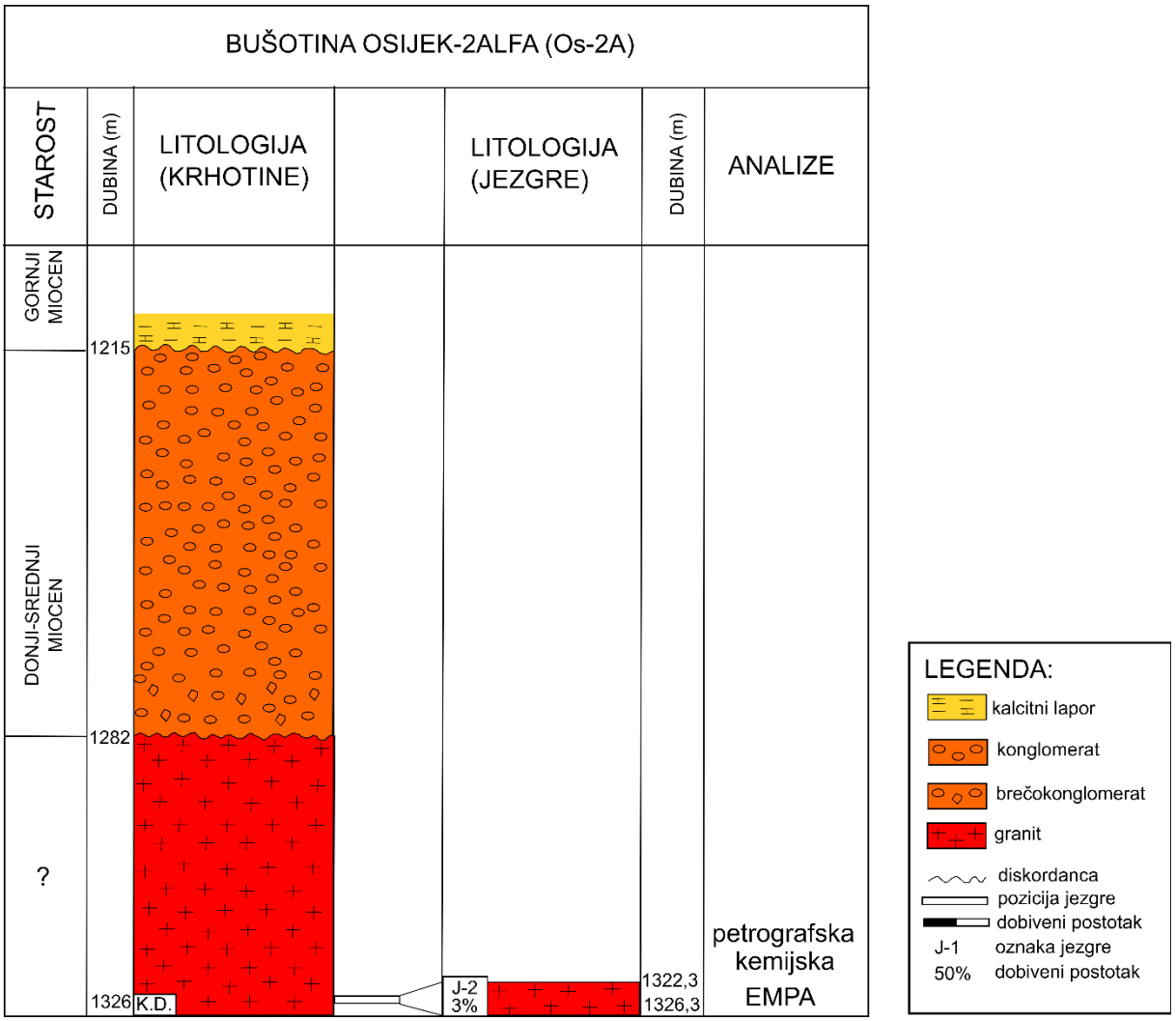
Podloga neogena u okolici bušotine Osijek-2 (**Slika 6.16**) sastoji se dominantno od granat-biotitnih gnajseva (bušotine Osijek-1, Brešće-1, Ernestinovo-1 i Ernestinovo-3) i milonitnih gnajseva (bušotina Ernestinovo-2).

U bušotini Osijek-2 probušena je podloga na 1034 m, a sastoji se od monzogranita koji dijelom prelazi u ortognajs (**Slika 6.24)**. Iz ovog intervala dobivene su dvije jezgre, koje su petrografski analizirane.



Slika 6.24 Dio stupa bušotine Osijek-2 u intervalu 1000-1078 m. Modificirano prema Bistričić i dr. (1973) i Ilijanić, (1973). K.D. – konačna dubina bušotine.

Osim vertikalnog kanala, bušen je kosi kanal Osijek-2α (**Slika 6.25**) s otklonom od 451,1 m i 23°30', u kojem je podloga probušena na 1282 prividne dubine (Ilijanić, 1973). Iz ovog intervala dobivena je jedna jezgra, na kojoj je izvršena petrografska, kemijska i mineraloška analiza.



Slika 6.25 Dio stup bušotine Osijek-2α u intervalu 1210-1326 m. Modificirano prema Bistričić i dr. (1973) i Ilijanić, (1973). K.D. – konačna dubina bušotine.

Sedimentni razvoj opisan je prema Bistričić i dr. (1973) i Ilijanić, (1973). Na podlozi se nalaze naslage donjeg-srednjeg miocena (baden?) koje se sastoje od šljunkovitih pješčenjaka i lapora u kanalu Osijek-2 (debljine oko 30 m) te brečokonglomerata i konglomerata u kanalu Osijek-2α. Na bušotini Osijek-2 nije probušen panon, dok je u kanalu Osijek-2α probušen te se sastoji od 50-ak m debelih kalcitnih lapora (donji panon) i lapora (gornji panon). Donji pont je karakteriziran kalcitom bogatim laporima i laporima debljine dvadesetak metara. Gornji pont ima prividnu debljinu preko 300 m, a sastoji se od izmjene lapora i pješčenjaka u donjem dijelu te glinovitih lapora i pješčenjaka u gornjem. Pliocenske naslage debljine preko 600 m sadrže glinovite lapore u izmjeni s pješčenjacima u donjem dijelu te gline i pijeske u gornjem dijelu.

7. PETROGRAFSKE ANALIZE

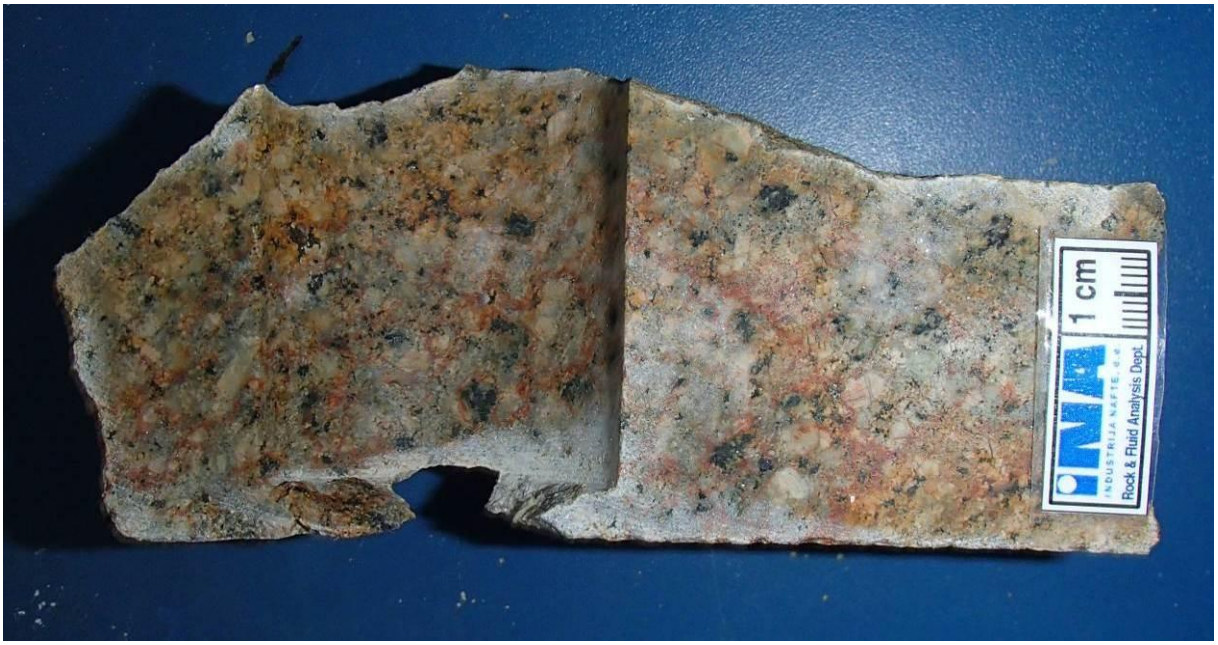
7.1. Slavonsko-srijemska depresija

7.1.1. Alkalijsko-feldspatski granit Privlake

Alkalijsko-feldspatski granit Privlake (**Slika 7.1-7.4**) leukokratna je stijena, ružičaste do sivo-ružičaste boje. Stijena je krupnozrnata (**Slika 7.1**), karakterizirana proraštanjima između zrna feldspata i kvarca. Mjestimično se može uočiti i prijelaz u porfiroidnu strukturu (**Slika 7.2**) s ružičastim K-feldspatom (do 5 mm) u srednjozrnatoj osnovnoj masi (veličina zrna oko 0,5 mm) granofirske strukture. U porfiroidnim su varijetetima veća zrna pertita okružena granofirskim prorastanjima K-feldspata i kvarca. Stijena je mjestimično izrazito hidrotermalno alterirana te sadrži nepravilne prsline ispunjene hematitom (**Slika 7.3**).

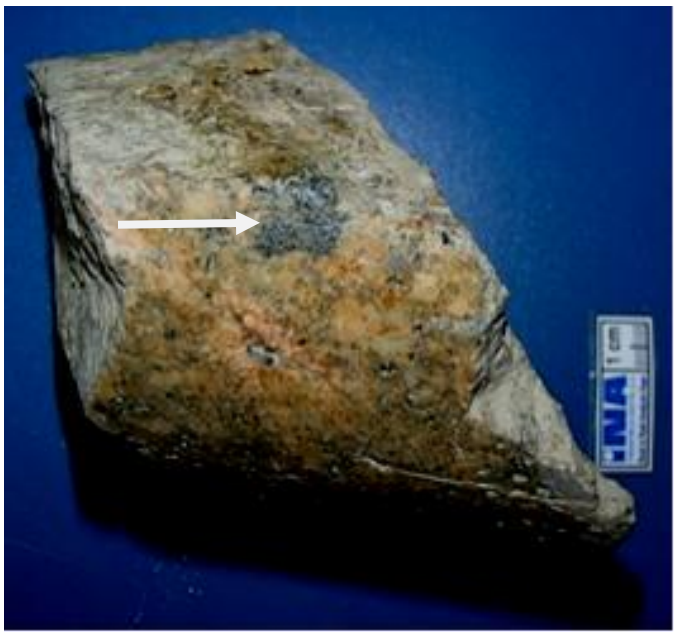
Slika 7.1 Alkalijsko-feldspatski granit krupnozrnate strukture s ružičastim K-feldspatom, sivim kvarcom, sivozelenim albitom, intersticijskim crnim biotitom te sivkastim do tamnim sitnozrnatim nakupinama hornblende, biotita i albita. Prisutne su i tanke crne pukotine ispunjene stilpnomelanom. Privlaka-1, J-5, interval 1140 – 1141,5 m.

Slika 7.2 Alkalijsko-feldspatski granit s izraženom porfiroidnom strukturom. Krupnija zrna K-feldspata i kvarca okružena su granofirskim prorastanjem navedenih minerala. Vidljiv je crni intersticijski biotit te sitnozrnate nakupine hornblende, biotita i albita. Privlaka-1, J-3, interval 1010 – 1011 m.



Slika 7.3 Uzorak alkalijsko-feldspatskog granita s izraženim alteracijama. Jasno su vidljive nepravilne isprepletene pukotine ispunjene crvenim hematitom. Privlaka-1, J-3, interval 1010 – 1011 m.

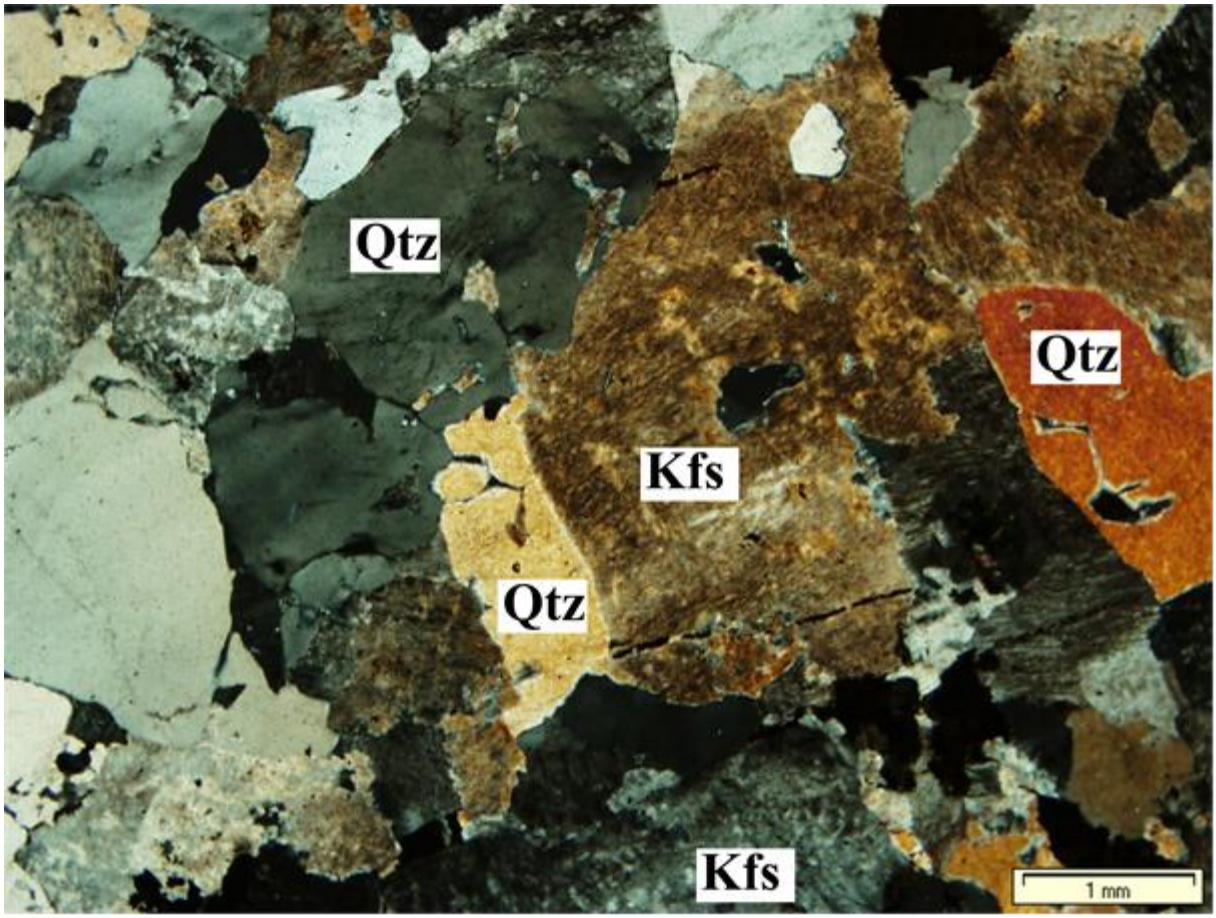
Hornblenda se uglavnom nalazi u nakupinama s biotitom i albitom. Uzorci s povišenim udjelom feromagnezijskih minerala vrlo rijetko sadrže i mafitne mikrogranularne enklave (**Slika 7.4**) promjera do 1 cm. Imaju zrnatu strukturu i sastoje se od hornblende, albita, biotita i kvarca.



Slika 7.4 Mikrogranularna mafitna enklava (označena strelicom) u porfiroidnom alkalijsko-feldspatskom granitu. Privlaka-1, J-5, interval 1140 – 1141,5 m.

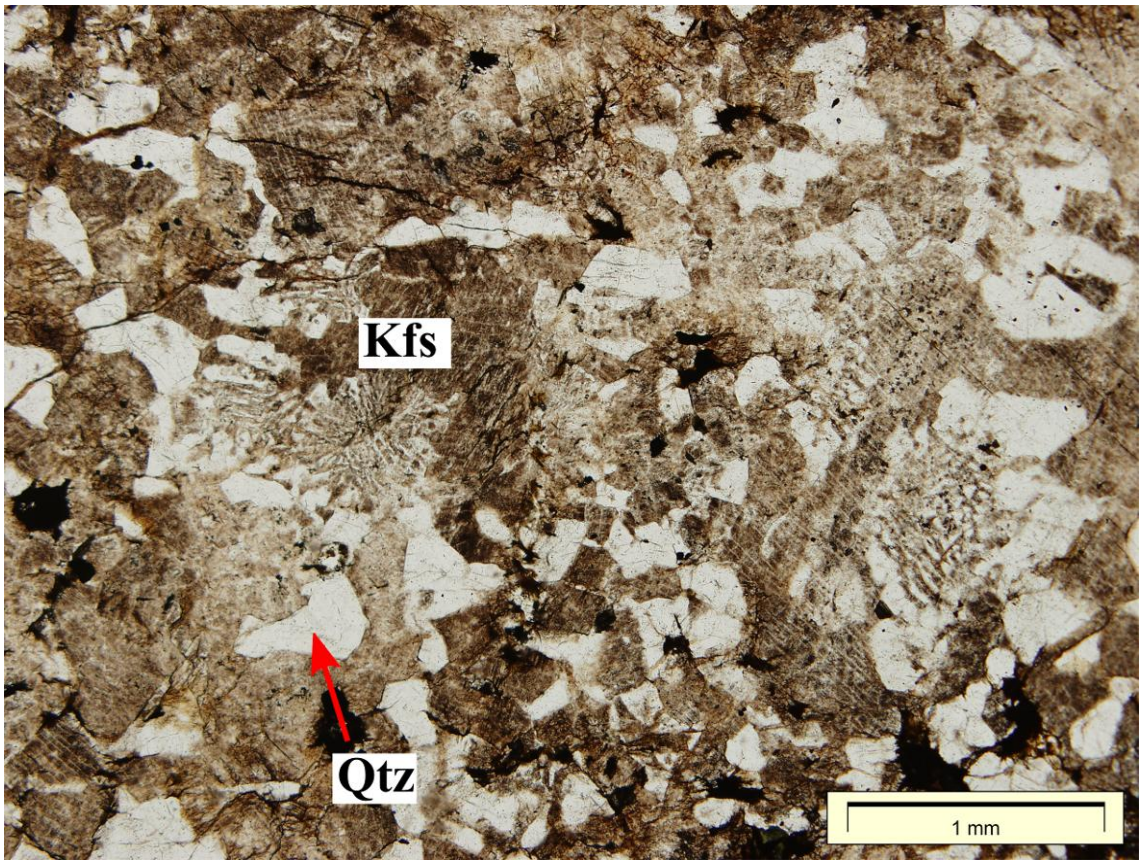
Glavni minerali alkalijsko-feldspatskog granita Privlake su pertit (40–50%), kvarc (25–30%), albit (15–20%) te biotit (5%) i hornblenda (>1%). Zajednica akcesornih minerala sastoji se od opakih minerala, titanita, cirkona, apatita i torita. Sekundarni minerali su klorit, stilpnomelan, allanit, epidot, fluorit, hematit, pirit, kalcit, sericit i kaolinit.

K-feldspat (veličine do 5 mm) je pertit s albitnim eksolucijskim lamelama, koje čine 20–50% minerala domaćina. Eksolucijske lamele su nepravilnog oblika. U pravilu, K-feldspat po rubovima zrna formira grafičke proraslace s kvarcom, čak i u krupnozrnatim varijetetima (**Slika 7.5**). Grafička proraštanja K-feldspata i kvarca posebice su izražena u sitnozrnatoj osnovnoj masi porfiroidnih varijeteta (**Slika 7.6**). Na rubu zrna pertita mjestimično se nalazi albit iste kristalografske orijentacije kao i eksolucijske lamele unutar tog zrna. Između susjednih zrna pertita vidljiva je subsolidus rekristalizacija, odnosno migracija granice zrna. K-feldspat je intenzivno alteriran u minerale glina.



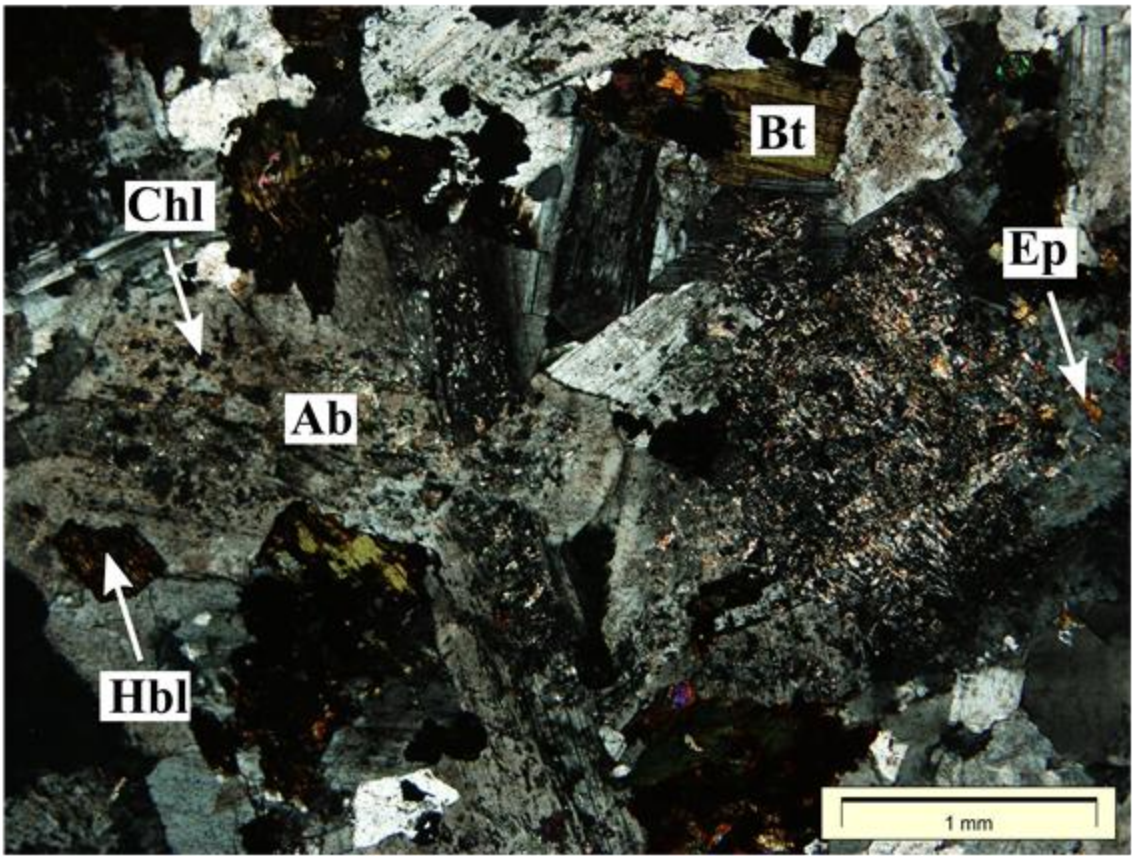
Slika 7.5 Alotriomorfno zrnata struktura alkalijsko-feldspatskog granita Privlake. Na slici su prepoznatljivi K-feldspat (K-fsp) koji je izrazito alteriran u minerale glina te svježi kvarc (Qtz) s unduloznim potamnjenjem. Vidljiva su i prorastanja između K-feldspata i kvarca. Privlaka-1, J-5, interval 1140 – 1141,5 m. N+

Kvarc (do 5 mm) sadrži nepravilno raspoređene izometrične i igličaste fluidne inkluzije submikroskopskih dimenzija. Pokazuje undulozno potamnjenje i slabo izraženu segmentaciju. Pojedina zrna kvarca sadrže i tlačne lamele.



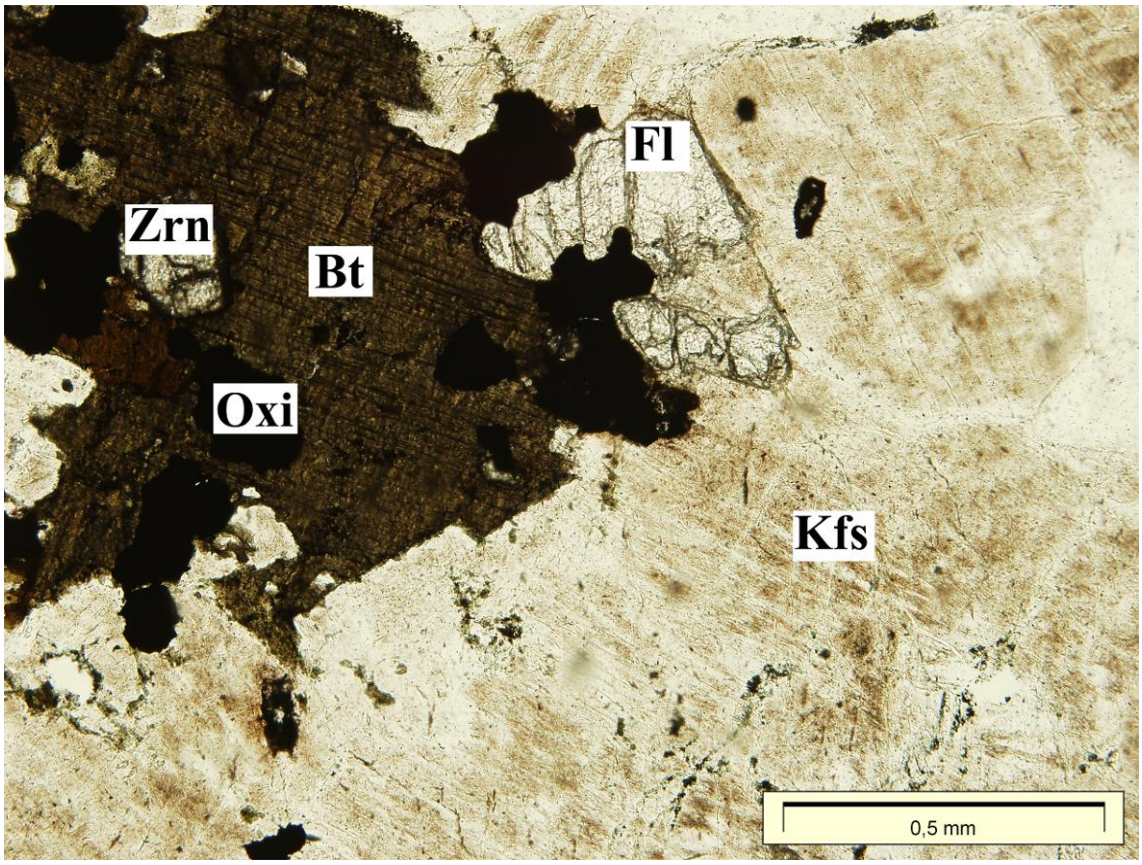
Slika 7.6 Prorastanja kvarca (Qtz) i pertita (Kfs) u porfiroidnom varijetetu, u kojem su izražene hidrotermalne alteracije. Zrna pertita su izrazito alterirana u minerale glina. Uočljive su i brojne prsline ispunjene hematitom. Privlaka-1, J-3, interval 1010 – 1011 m. N-

Albit, veličine do 2 mm, uglavnom je subhedralnog, prizmatičnog habitusa. Uglavnom nije jednolično raspoređen u stijeni, nego je asociran s hornblendom i biotitom u sitnozrnatijim nakupinama. Mjestimično ima zonalnu građu, osobito unutar navedenih nakupina. U tom slučaju jezgra albita sadrži sitni epidot i/ili klorit (**Slika 7.7**). U intenzivnije alteriranim porfiroidnim varijetetima albit je mjestimično obrubljen pertitom. Mjestimično formira mirmekitne proraslace s kvarcom na kontaktu s većim zrnima K-feldspata.



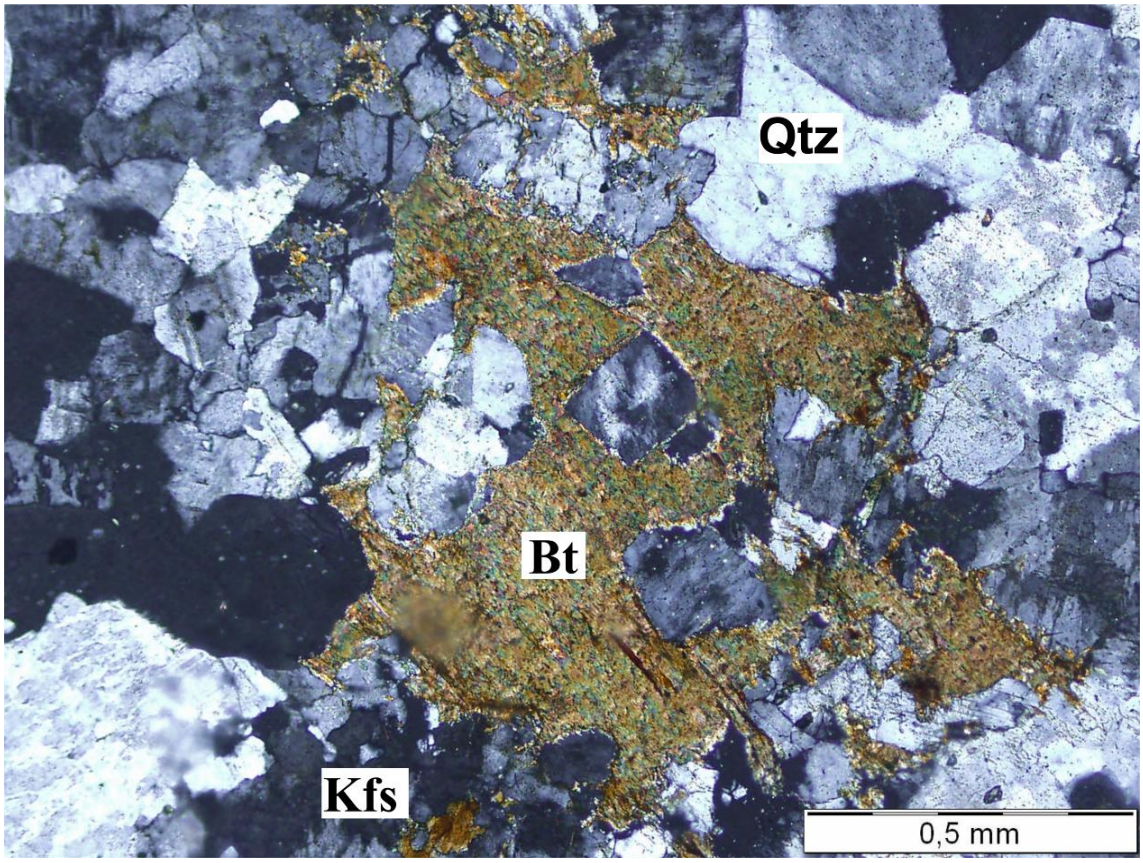
Slika 7.7. Nakupina alteriranog prizmatičnog albita (Ab) s kloritom (Chl) i epidotom (Ep), koji predstavljaju alteracijski produkt primarne hornblende i biotita. Na slici su vidljivi kloritizirani biotit (Bt) i alterirana hornblenda (Hbl). Privlaka-1, J-5, interval 1140 – 1141,5 m. N+

Biotit se pojavljuje u vidu anhedralnih listića do 2 mm dužine. Nalazi se u intersticijskom prostoru (**Slika 7.8**), što je posebice izraženo u porfiroidnim varijetetima (**Slika 7.9**). Osim toga, prisutan je i u nakupinama s hornblendom i albitom (**Slika 7.7**). Pokazuje svijetlo do tamnosmeđi pleokroizam. Dijelom je kloritiziran, preferirano duž pukotina kalavosti. U tom slučaju sadrži i inkluzije opakih minerala. Po rubovima često prelazi u crvenkastosmeđi igličasti stilpnomelan.



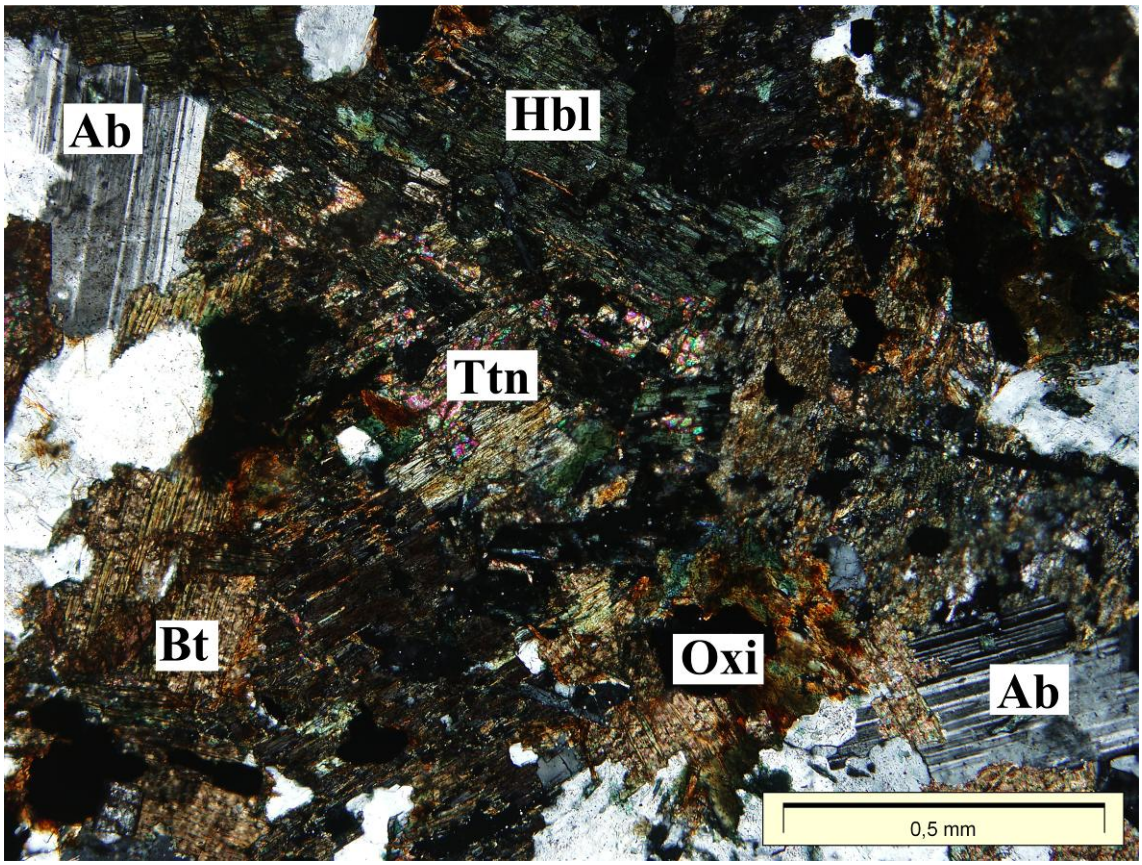
Slika 7.8 Intersticijski biotit (Bt) s uklopcima cirkona (Zrn) i opakog minerala (Oxi). Na slici su vidljivi fluorit (Fl) i pertit (K-fsp) alteriran u minerale gline. Privlaka-1, J-2, interval 995 – 996 m. N-

Hornblenda, veličine ispod 1 mm, ima euhedralan do subhedralan habitus (**Slika 7.7** i **7.10**). Pokazuje tamnozeleni do svijetlozeleni pleokroizam. Često je resorbirana, djelomično ili potpuno izmijenjena. Najčešći alteracijski produkti su agregat listićavog crvenkasto-smeđeg stilpnomelana, rjeđe zelenog klorita. Sadrži epidot, titanit, opake minerale i cirkon.



Slika 7.9 Prorastanja pertita (K-fsp), kvarca (Qtz) i biotita (Bt) u porfiroidnom varijetetu alkalijsko-feldspatskog granita. Privlaka-1, J-3, interval 1010 – 1011 m. N+

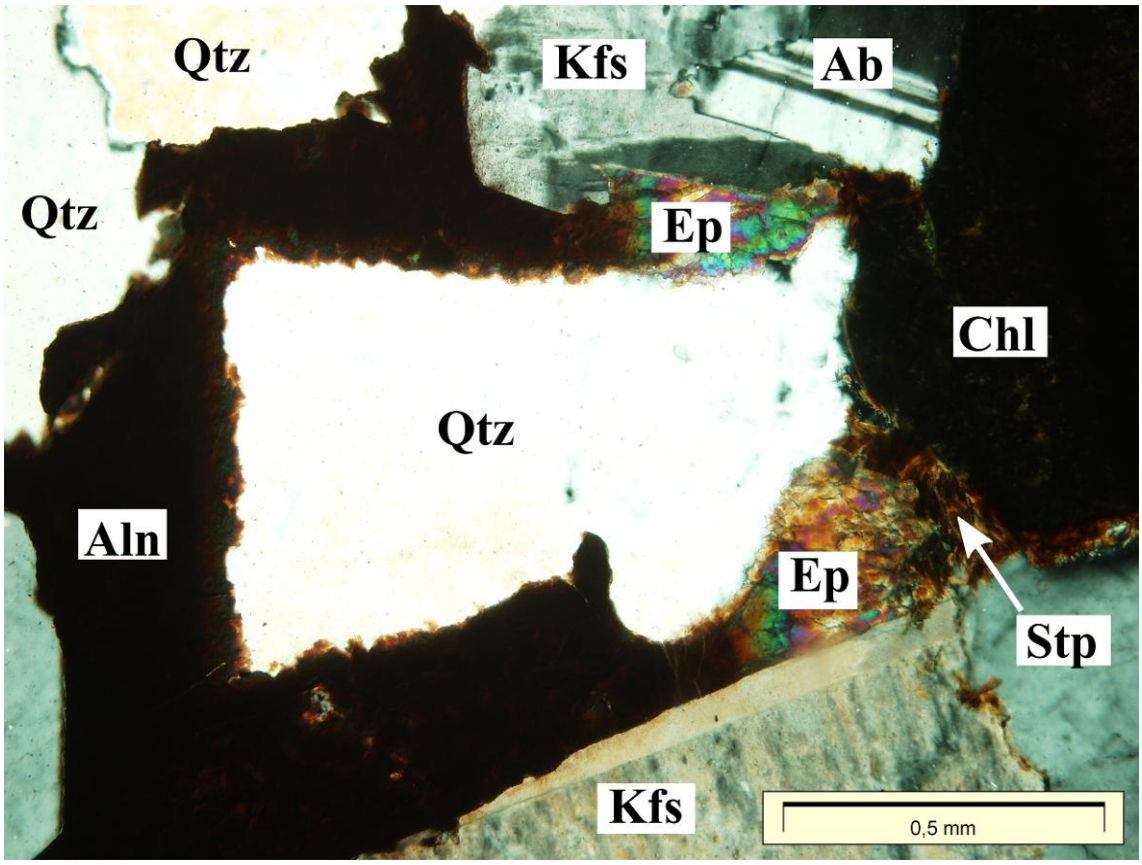
Allanit, anhedralnog habitusa, veličine do 0,3 mm, ima izražen tamnosmeđi do crni pleokroizam. Kristalizira u intersticijskom prostoru ili u pukotinama. Ponekad je zonalan te na rubovima ili u pojedinim dijelovima prelazi u epidot (**Slika 7.11**).



Slika 7.10 Nakupina hornblende (Hbl), biotita (Bt) i albita (Ab). Na slici su također vidljivi titanit (Ttn) i opaki minerali (Oxi). Privlaka-1, J-5, interval 1140 – 1141,5 m. N+

Epidot, anhedralnog habitusa, pojavljuje se unutar biotita, (veličine do 0,5 mm) albita (veličine do 1 mm; **Slika 7.7**) i hornblende ili se nalazi u intersticijskom prostoru. Osim toga, mjestimično je prisutan i na rubu allanitnih zrna.

Fluorit, veličine do 1,2 mm, ima anhedralan do subhedralan habitus. Nalazi se u intersticijskom prostoru (**Slika 7.8** i **7.12**) ili kao ispuna pukotina. Uglavnom je asociran s allanitom te dolazi u zonama intenzivnije hidrotermalne alteracije. Mjestimično se nalazi u nakupinama hornblende, albita i biotita, gdje uklapa opake minerale i apatit. U trošnijim je uzorcima djelomično alteriran u karbonat.



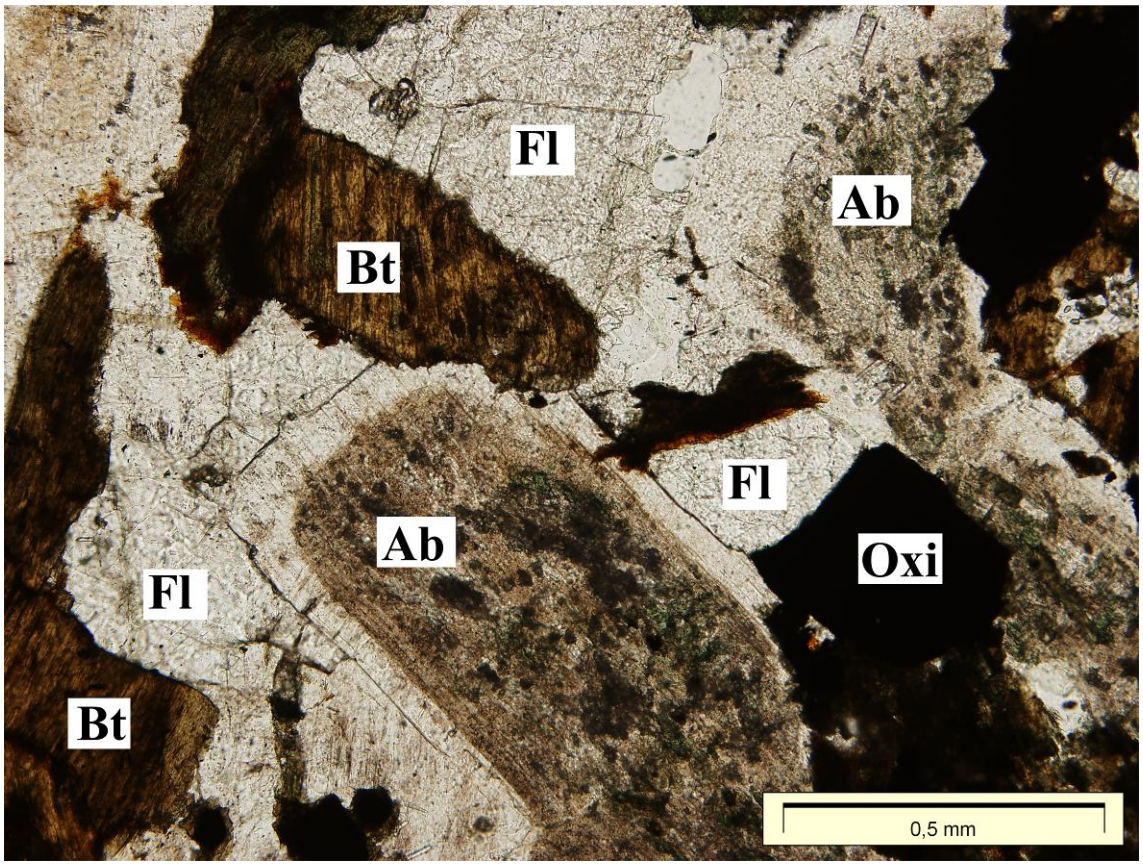
Slika 7.11 Intersticijski allanit (Aln) s prijelazom u epidot (Ep). Na slici su također vidljivi kvarc (Qtz), pertit (Kfs), albit (Ab), klorit (Chl) i stilpnomelan (Stp). Privlaka-1, J-5, interval 1140 – 1141,5 m. N+

Apatit se pojavljuje u obliku štapićastih i prizmatičnih kristala dužine do 0,3 mm.

Cirkon je veličine do 0,4 mm, sadrži brojne pukotine, a uglavnom je subhedralnog do euhedralnog habitusa.

Opaki minerali, veličine maksimalno do 0,4 mm, subhedralnog su do euhedralnog habitusa, a mjestimično sadrže uklopke štapićastog apatita.

Hematit se pojavljuje u intenzivnije alteriranim dijelovima kao ispuna pukotina, pseudomorfoza po opakim mineralima ili u obliku nakupina submikroskopskih čestica unutar feldspata.



Slika 7.12 Na slici je vidljiv intersticijski fluorit (Fl), zonalni alterirani albit (Ab), biotit (Bt) i opaki mineral (Oxi). Privlaka-1, J-5, interval 1140 – 1141,5 m. N-

Titanit, veličine do 0,8 mm, ima anhedralan do subhedralan habitus. Karakteriziran je brojnim pukotinama. Asociran je s primarnim feromagnezijskim mineralima, biotitom i hornblendom (**Slika 7.10**), odnosno njihovim alteacijskim produktima kloritom ili stilpnomelanom.

Stilpnomelan je crvenkastosmeđe obojen. Pojavljuje se u formi agregata, uglavnom tvoreći pseudomorfoze po hornblendi. Često se može prepoznati i po rubovima listića biotita. Sporadično se pojavljuje kao ispuna pukotina, uglavnom unutar većih zrna pertita ili na granici između zrna pertita.

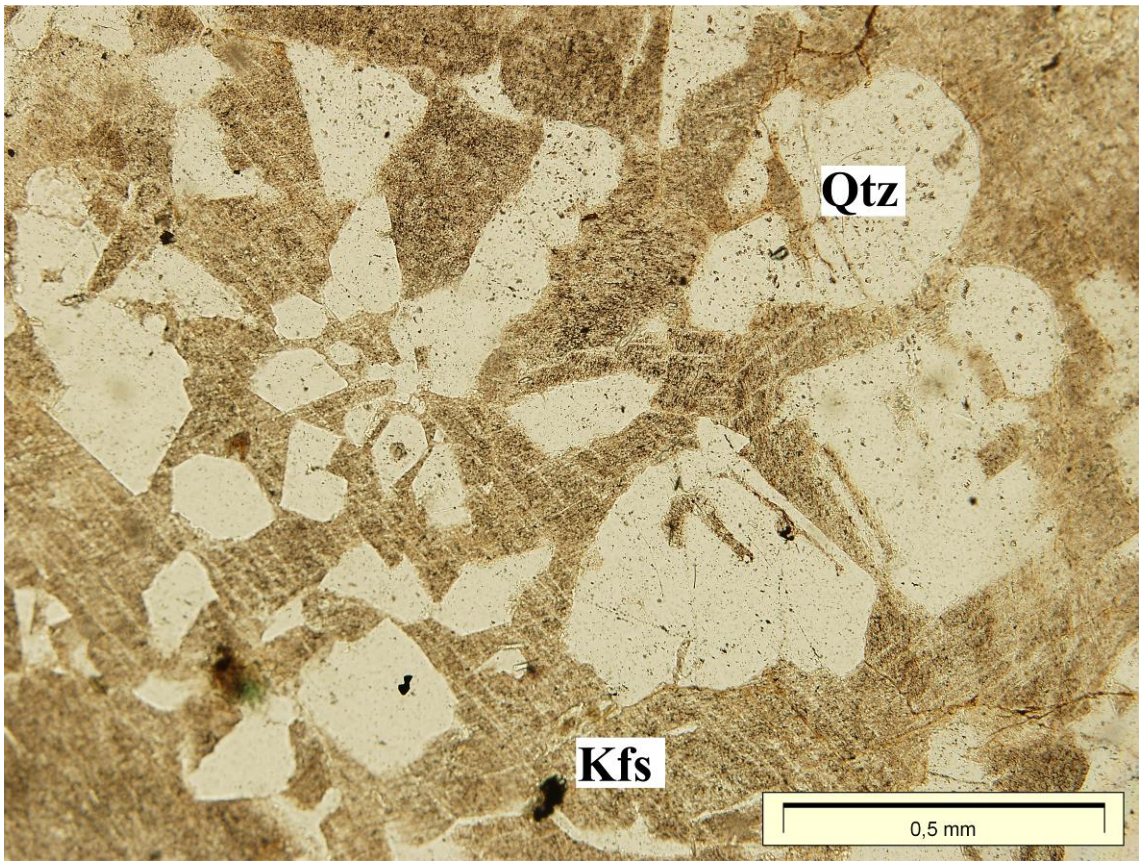
Klorit uglavnom nastaje alteracijom biotita, s kojim je interstratificiran, a rjeđe i alteracijom hornblende.

Pirit se nalazi unutar intenzivnije alteriranih dijelova, uglavnom u pukotinama.

7.1.2. Alkalijsko feldspatski mikrogranit Privlake

Alkalijsko feldspatski mikrogranit (**Slika 7.13**), sitnozrnata je stijena, veličine zrna manjih od 1,5 mm. Karakteriziran je izrazitim grafičkim proraštanjima kvarca i feldspata (**Slika 7.14**). Mjestimično ima blago izraženu porfiroidnu strukturu. Sastoji se kvarca (40%), antipertita (30%), pertita (20%) i albita (5%). Akcesorni minerali su apatit, cirkon i opaki minerali. Sekundarni minerali su klorit (5 %), sericit i rijetko karbonat.

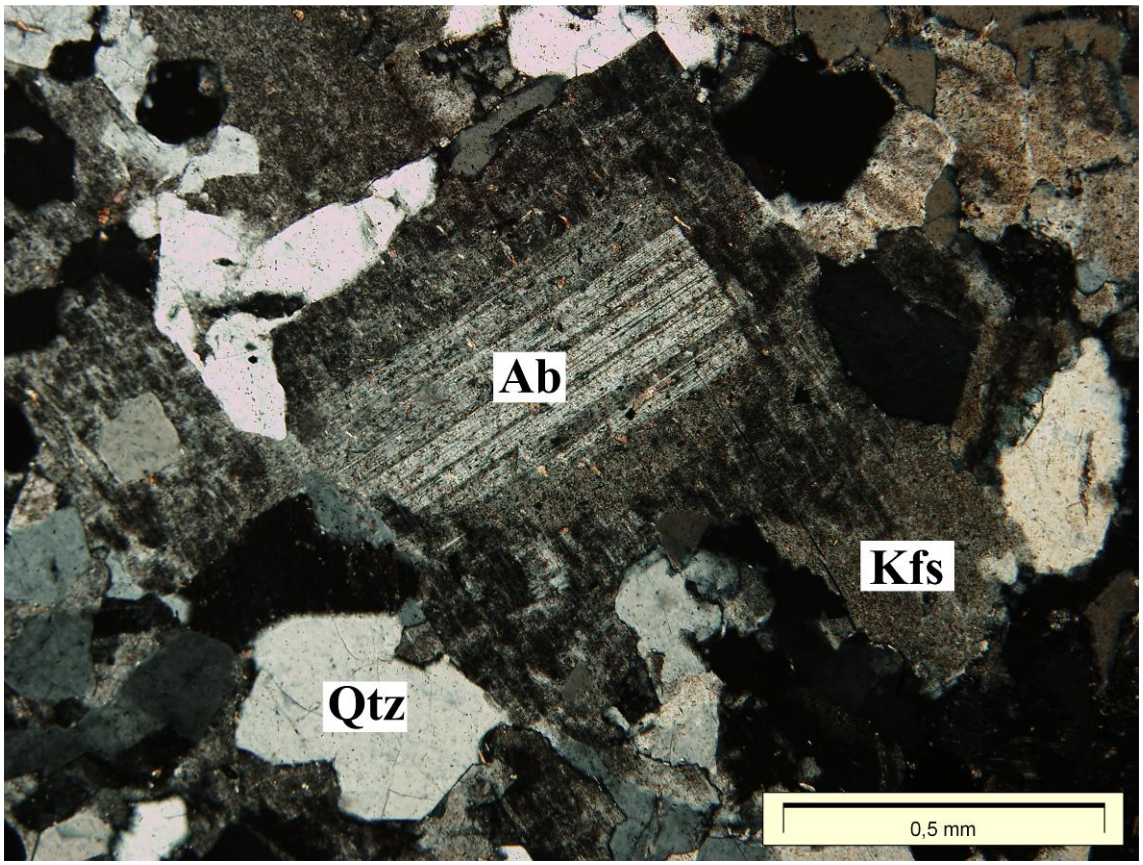
Slika 7.13 Alkalijsko feldspatski mikrogranit Privlake. Stijena je intenzivno alterirana te ima zelenkastu boju. Privlaka-2, J-1, interval 1028 – 1029,5 m.



Slika 7.14 Granofirska prorastanja kvarca (Qtz) i K-feldspata (Kfs). Privlaka-2, J-1, interval 1028 – 1029,5 m. N-

Pertit i antipertit se pojavljuju u vidu relativno krupnijih zrna, veličine do 1x1,5 mm, ili kao dio granofirske kvarc-feldpatske osnove. Sporadično sadrže sekundarni bijeli tinjac – sericit, a mjestimično u vidu lepezastih agregata. Uglavnom su alterirani u minerale glina. Alteracija je intenzivnija kod K-feldspata nego kod albita.

Albit, veličine do 0,6x1 mm, uglavnom se pojavljuje kao složeno zrno s albitnom jezgrom i pertitnim rubom koje grafički prorasta s kvarcom (**Slika 7.15**). U pojedinim uzorcima albit je djelomično (samo jezgra) ili u potpunosti sericitiziran.



Slika 7.15 Albit (Ab) obrubljen pertitom koji mikrografski prorasta s kvarcom(Qtz). Jasno je uočljiva eksolucija kalijskog feldspata (Kfs). Privlaka-2, J-2, interval 1120 – 1123 m N+

Kvarc se podređeno pojavljuje u formi većih zrna (do 1,5 mm), ali uglavnom je dio mikrografske osnove. U većim zrnima kvarca uočljive su tlačne lamele.

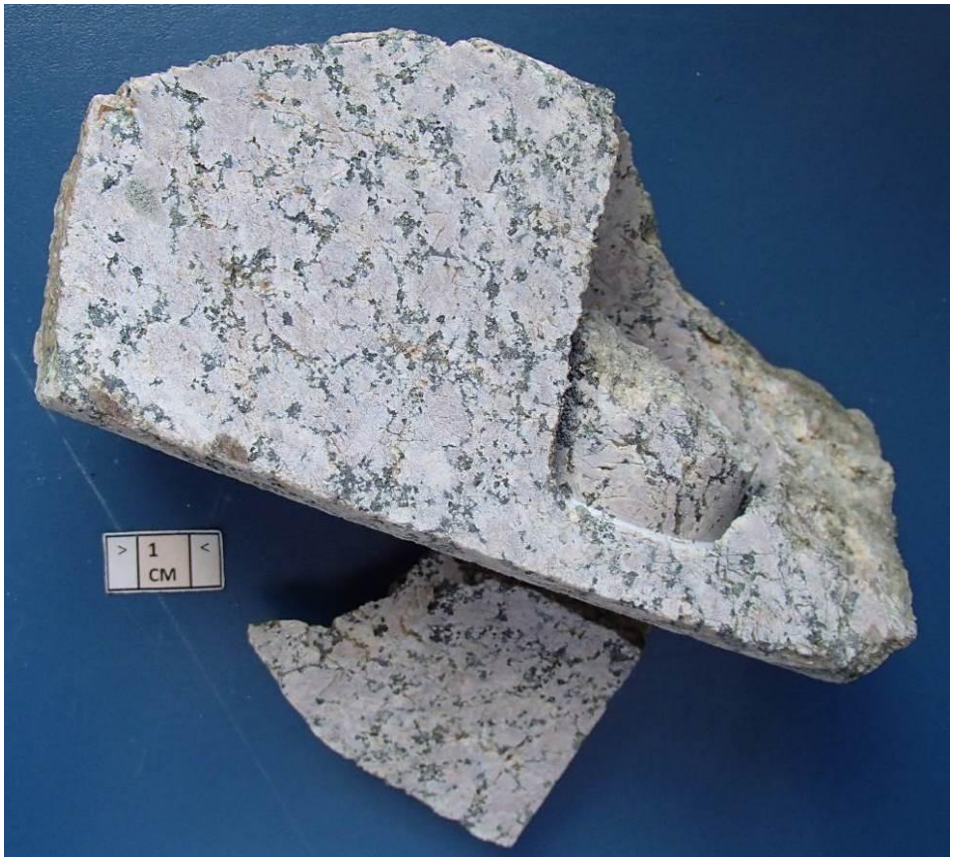
Klorit se najčešće pojavljuje u formi lepezastih agregata te kao pseudomorfoza vjerojatno po biotitu (veličina do 0,6 mm).

Sericit se nalazi u intersticijskom prostoru kao lepezasti agregat ili unutar feldspata, pri čemu je alterirana jezgra feldspata, dok je rub relativno svjež.

Hematit je asociran sa zrnima magnetita, ali nalazi se i unutar mikropukotina. Također može biti raspršen unutar feldspata i asociran s kloritom kao produkt alteracije biotita.

7.1.3. Alkalijsko-feldspatski sijenit

Alkalijsko-feldspatski sijenit (**Slika 7.16** i **7.17**) sličnog je sastava i strukturno-teksturnog sklopa kao i granit s kojim je asociran. Riječ je o primarno porfiroidnoj, krupnozrnatoj stijeni (**Slika 7.16**), koja je velikim dijelom kataklazirana (**Slika 7.17**).



Slika 7.16 Alkalijsko-feldpatski sijenit krupnozrnate porfiroidne strukture. K-feldspat daje stijeni karakterističnu ružičastu boju. Đeletovci-48, J-5, interval 1093 – 1099 m.

Slika 7.17 Alkalijsko-feldpatski sijenit kataklastične teksture. U stijeni su prisutne mnogobrojne pukotine ispunjene epidotom, kloritom ili karbonatom. Đeletovci-48, J-5, interval 1093 – 1099 m.

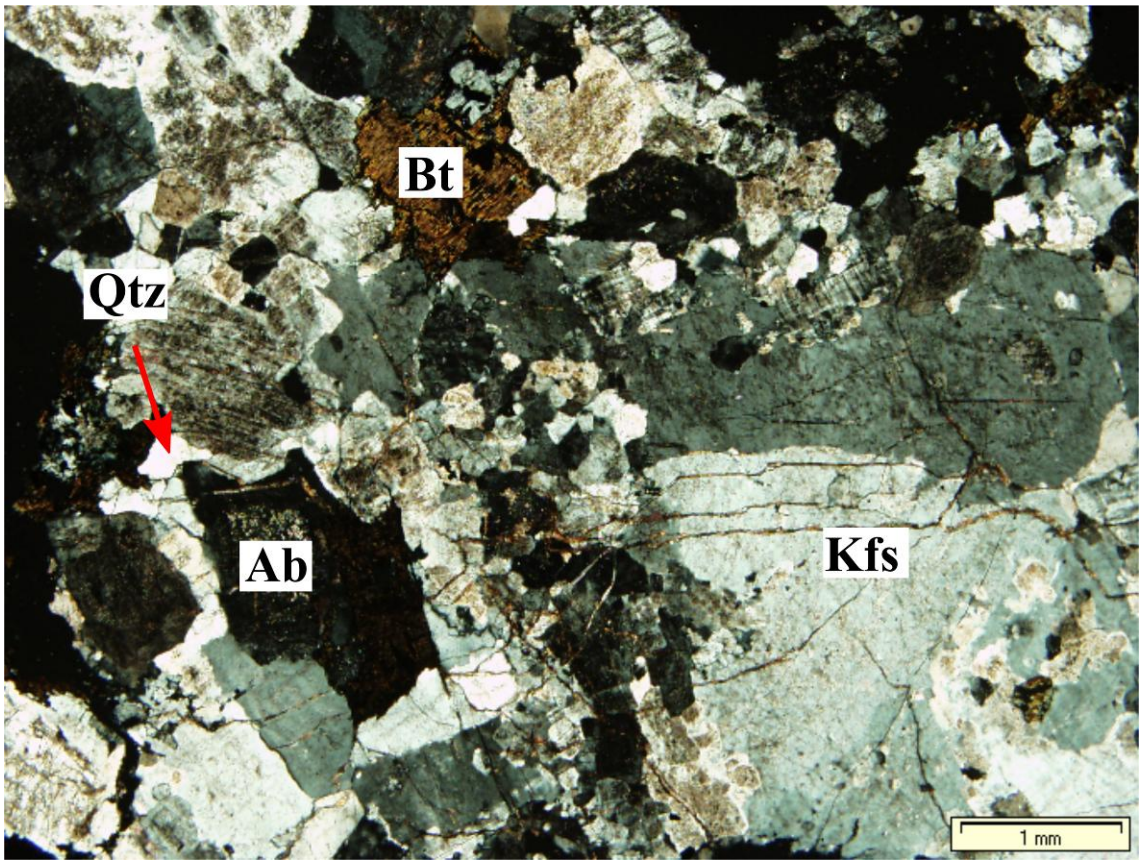
Sastoji se od pertita (70%), biotita (15%), albita (10%), kvarca (5%) i hornblende (<1%). Akcesorni minerali su cirkon, apatit te opáki minerali. Sekundarni minerali su klorit, epidot, hematit, karbonat i minerali glina.

Stijena sadrži brojne znakove deformacijskih procesa poput obavijenih (eng. *mantled*) porfiroklasta pertita, distorzije sraslačkih lamela u plagioklasu i iskrivljenih (eng. *kink-band*) listića biotita.

K-felspat, veličine do 3 cm, predstavljen je pertitom ahedralnog habitusa. Sadrži nepravilne i isprepletene albitne eksolucijske lamele, a mjestimično i uklopke albita. Uslijed deformacija pojedina zrna imaju segmentiranu građu. Granice između različitih zrna pertita su neravne i nepravilne, s brojnim ispupčenjima koja ukazuju na rekristalizaciju.

Kvarc se pojavljuje kao sporedan sastojak stijene. Veličina zrna ne prelazi 0,3 mm. Habitus je anhedralan, a unutar stijene zrna kvarca uglavnom su prisutna u intersticijskom prostoru (**Slika 7.18**).

Albit, veličine do 1 cm, ima anhedralan habitus. Rub zrna albita uglavnom je izrazito svjež u odnosu na ostatak minerala. Mirmekitna proraštanja kvarca i plagioklasa vidljiva su na mjestima gdje je albit u kontaktu s pertitom. Albit je djelomično alteriran u minerale glina.

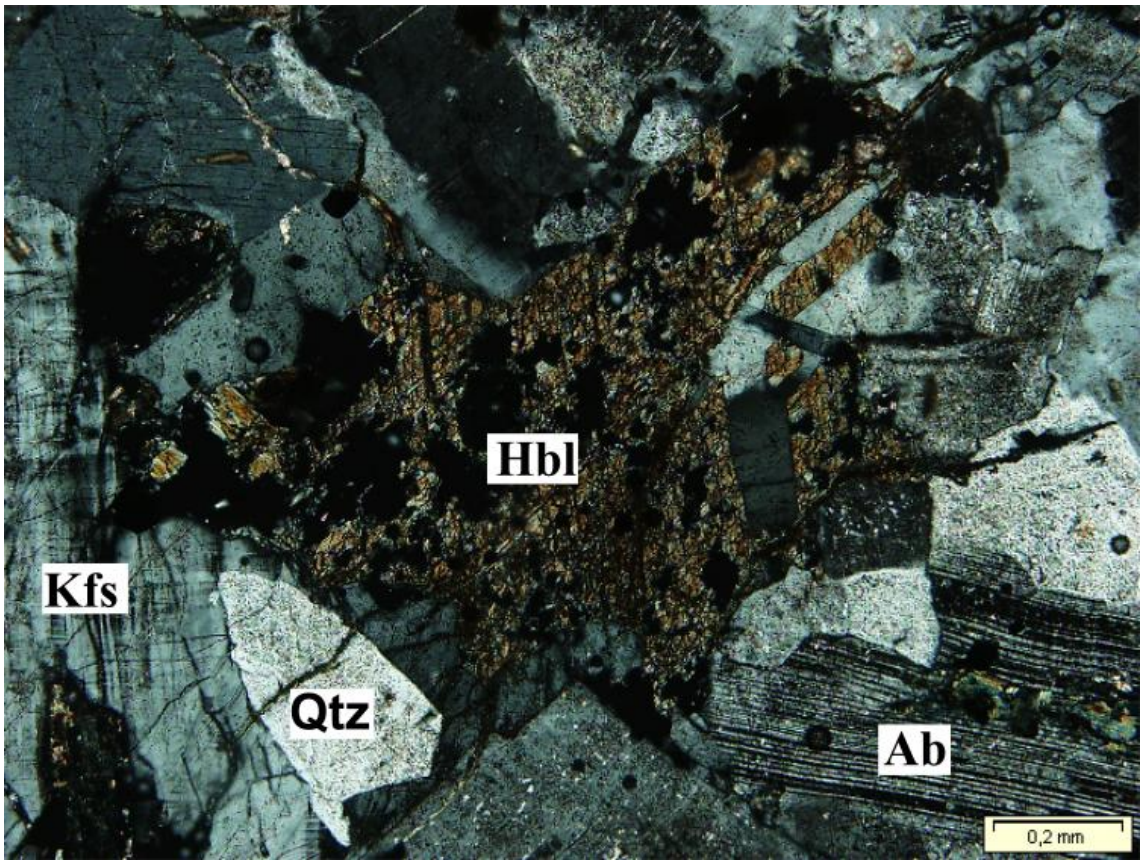


Slika 7.18 Alkalijsko-feldspatski sijenit porfiroidne strukture. Na slici su prepoznatljiva krupna zrna K-feldspata (Kfs), okruženog sitnijim albitom (Ab) i vrlo sitnim intersticijskim kvarcom (Qtz). Na slici je prepoznatljiv i intersticijski biotit (Bt). Đeletovci-48, J-5, interval 1093 – 1099 m. N+

Biotit ima anhedralan habitus, a nalazi se u intesticijskom prostoru kao listić veličine do 2 mm. Karakteriziran je svijetlo do tamnosmeđim pleokroizmom. Listići biotita najvećim su dijelom iskrivljeni (eng. *kink band*). Često je alteriran u klorit.

Hornblenda (**Slika 7.19**) je krupnija nego u granitu te doseže veličinu od 2 mm. Mjestimično sadrži uklopke feldspata.

Klorit se pojavljuje kao pseudomorfoza po biotitu te u manjoj mjeri kao ispuna pukotina. *Epidot* se nalazi unutar pukotina kao sitnozrnati agregat dimenzija manjih od 0,1 mm. *Karbonat* je također vezan uz pukotine. *Hematit* se uglavnom nalazi kao ispuna pukotina, po rubnim dijelovima opákog minerala ili kao pseudomorfoza po opakom mineralu u intenzivnije alteriranim dijelovima.



Slika 7.19 Hornblenda (Hbl) u alkalijsko-feldspatskom sijenitu. Na slici su također vidljivi albit (Ab) s distorzijom sraslačkih lamela, K-feldspat (K-fsp) i kvarc (Qtz). Đeletovci-48, J-5, interval 1093 – 1099 m. N+

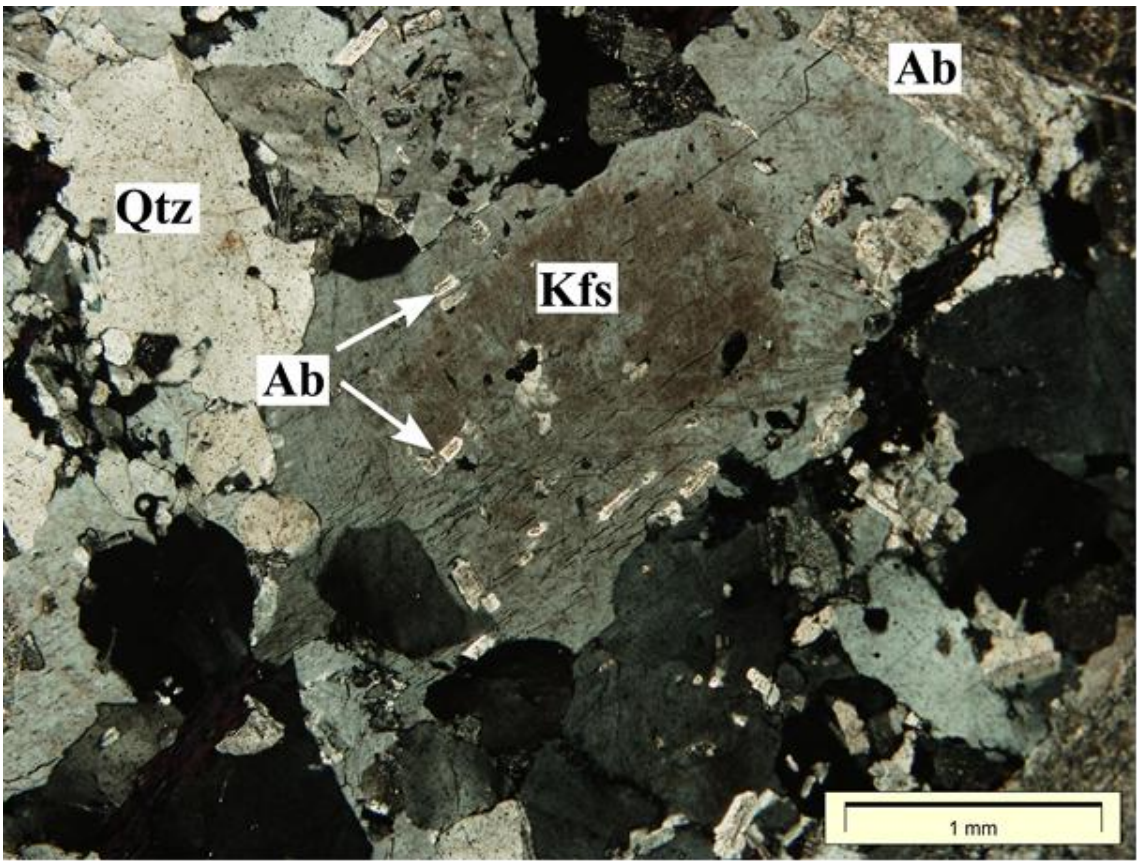
7.1.4. Porfiroidni granit Županje

Porfiroidni granit Županje je leukokratna stijena s krupnim zrnima crvenog ortoklasa i narančastog albita u osnovnoj masi serijatne strukture. Prisutni su i rijetki, do 5 cm veliki crveni megakristali ortoklasa (**Slika 7.20**). Stijena je djelomično kataklazirana, s odlomcima granita u tamnozelenom matriksu (**Slika 7.21**). Sastoji se od ortoklasa (50%), albita (25%), kvarca (15%), akcesornog cirkona, apatita i opakih minerala, sekundarnog klorita (10%), bijelog tinjca, hematita, minerala glina i karbonata.

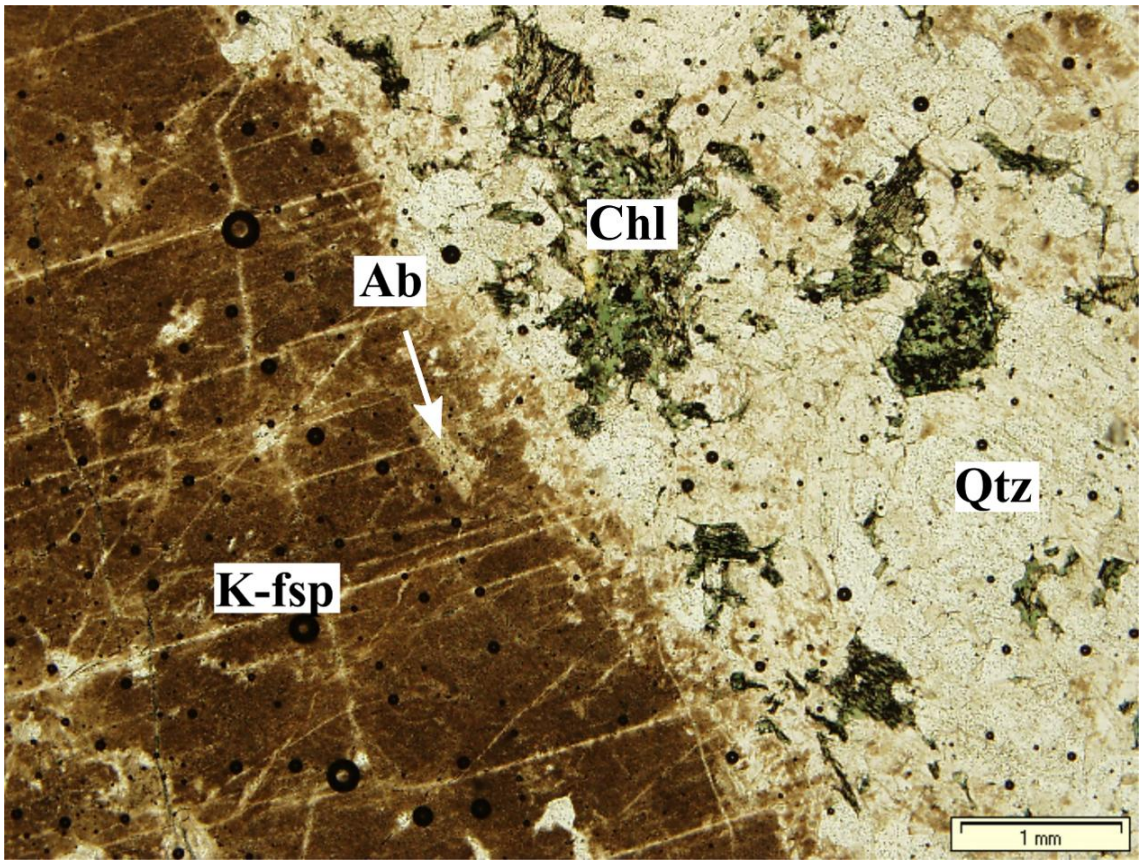
Slika 7.20 Porfiroidni granit Županje. Na slikama je jasno vidljiv prizmatični megakristal K-feldspata. Osnovna masa sastoji se od crvenkastog K-feldspata, narančastog plagioklasa i sivoga kvarca. Županja-3, J-2, interval 1427 – 1430 m.

Ortoklas, anhedralnog habitusa, veličine zrna od 0,1 mm do preko 5 cm, sadrži tanke albitne eksolucijske lamele. Zrna ortoklasa uglavnom su izrazito izmijenjena u minerale glina, a sadrži i raspršeni hematit submikroskopskih dimenzija. Veća zrna ortoklasa sadrže malene uklopke albitnih mikrolita i kvarca (**Slika 7.22**). Megakristal ortoklasa (**Slika 7.23**) ima prizmatičan habitus, no granice s okolnom osnovnom masom su nepravilne. Sadrži koncentrično raspoređene uklopke kvarca, albita i klorita (veličina 0,5 mm). Također je karakteriziran pukotinama ispunjenim kvarcom ili karbonatom.

Slika 7.21 Kataklastična tekstura u porfiroidnom granitu. Županja-3, J-2, interval 1427 – 1430 m.



Slika 7.22 Na slici je vidljiv ortoklas (Kfs) s vrlo sitnim uklopcima albita (Ab), zatim veći prizmatični albit u gornjem desnom kutu slike te anhedralni kvarc. Ortoklas i albit su alterirani. Županja-3, J-2, interval 1427 – 1430 m. N+



Slika 7.23 Megakristal ortoklasa (K-fsp) s uklopkom albita (Ab). Na slici su također vidljivi kvarc (Qtz) i klorit (Chl). Županja-3, J-2, interval 1427 – 1430 m. N-

Kvarc, veličine do 1 cm, anhedralnog je habitusa. Obično ima izraženo undulozno potamnjenje te brojne fluidne inkluzije. Mjestimično formira proraslace s ortoklasom.

Albit, ahedralnog do subhedralnog habitusa, veličine od 0,1 mm do preko 10 mm, djelomično je sericitiziran. Albit je prisutan i kao mikrolit dužine do 0,2 mm unutar većih zrna ortoklasa i kvarca.

Klorit (0,1–1,5 mm) ima izražen zeleni pleokroizam, a čini pseudomorfoze po primarnom feromagnezijskom mineralu, s brojnim opakim uklopcima. U zonama kataklastičnih deformacija ima izražene iskrivljene (eng. *kink-band*) strukture. Nalazi se i u formi sferičnih agregata kao ispuna pukotina.

7.1.5. Riolit Županje i Đeletovaca

Riolit Županje i Đeletovaca je svijetlo maslinasto sivo obojena stijena (**Slika 7.24**). Struktura stijene je oligofirna, tekstura sferulitna. Sastoji se od rijetkih fenokristala kvarca te vrlo rijetko feldspata u rekristaliziranoj mikropoikilitnoj osnovnoj masi (**Slika 7.25**).

Slika 7.24 Riolit sferulitne teksture. Županja-3, J-2, interval 1427 – 1430 m.

Fenokristali *kvarca* (veličine oko 0,5 mm) su potpuno ili djelomično zaobljeni (**Slika 7.25**), iako pojedini fenokristali imaju i subhedralan habitus, dijelom s razvijenim ravnim plohama. Mjestimično su resorbirani pa imaju oblik polumjeseca ili su karakterizirani udubljenjima zaljevastog oblika (eng. *embayments*).

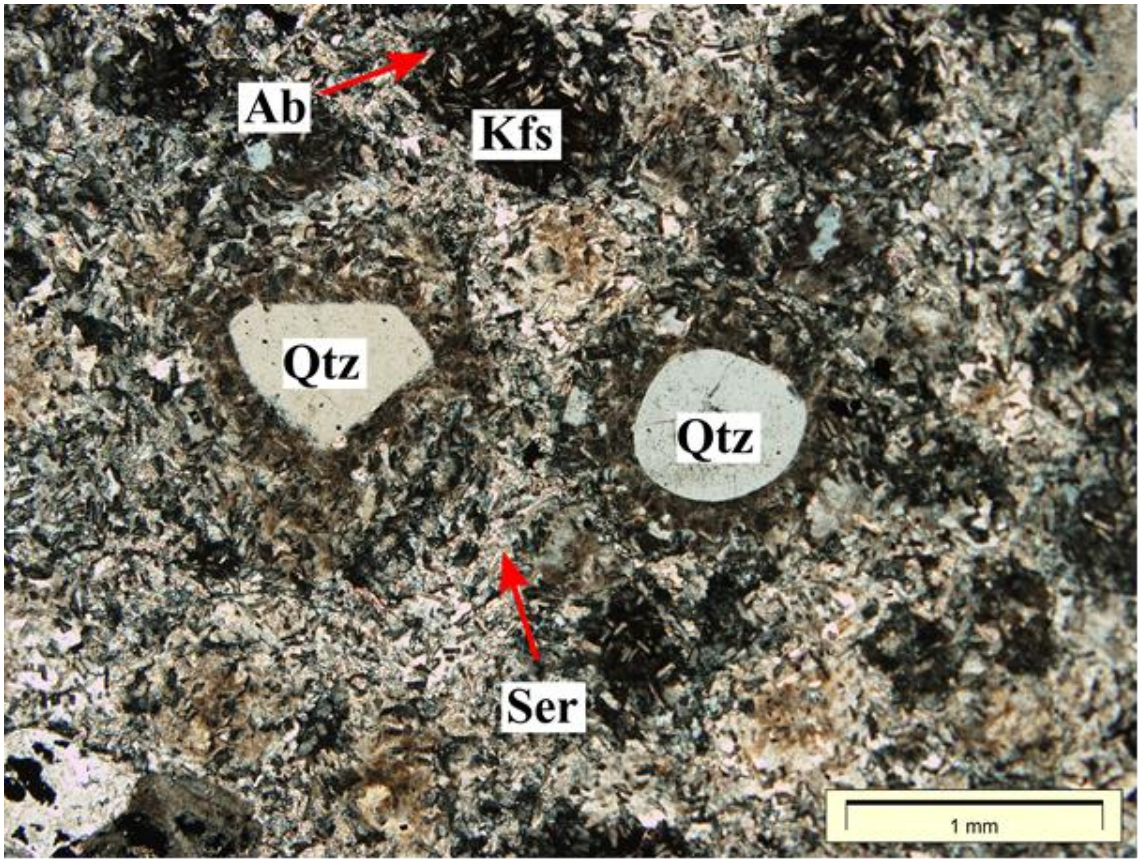
Fenokristali *feldspata* (veličine do 0,7x1,1 mm) imaju prizmatičan habitus. U potpunosti su alterirani – sericitizirani i kaolinitizirani, stoga nije moguće utvrditi o kojem je feldspatu riječ.

U stijeni je prisutan i *muskovit,* veličine do 0,5 mm, koji ima subhedralan habitus. Sadrži brojne uklopke rutila ili titanita (?) anhedralnog habitusa koji se pojavljuju povezani s pukotinama kalavosti.

Osnovna masa je rekristalizirana, a sastoji se od kvarca, feldspata i bijelog tinjca (sericit?). Struktura osnovne mase je mikropoikilitna: zrna K-feldpata uklapaju mikrolite albita (**Slika 7.25**). Mjestimično su prepoznatljivi i sferuliti (K-feldspat+kvarc?).

Bijeli tinjac tvori lepezaste agregate.

U nepravilnim šupljinama je prisutan sekundarni *kalcit*, a mjestimično se pojavljuje i *pirit* po pukotinama.



Slika 7.25 Fenokristali kvarca (Qtz) u riolitu. Vidljivo je da K-feldspat (K-fsp) uklapa sitni štapićasti albit (Ab). U intersticijskom prostoru nalazi se agregat sitnolističavog sericita (Ser). Županja-3, J-2, interval 1427 – 1430 m. N+

7.1.6. Milonitni gnajs bušotine Tovarnik-2

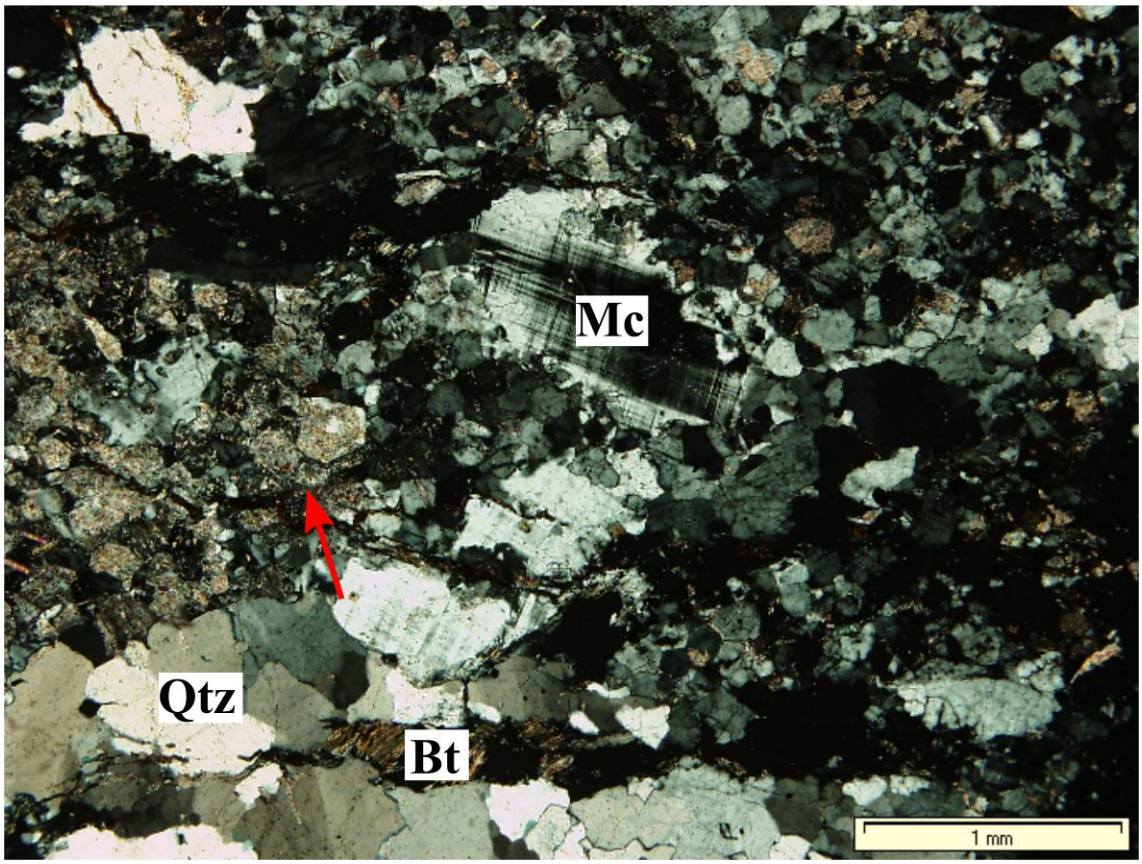
Milonitni gnajs bušotine Tovarnik-2 ima flaser strukturu. Građen je od ružičastog agregata nepravilnog ili lećastog oblika u sivozelenom matriksu (**Slika 7.26**). Izmjena ovih dviju domena definira paralelnu teksturu. Ružičasti agregat sastoji se dominantno od feldspata dok je sivozeleni matriks izgrađen od mikrokristalastog kvarca. Osim toga, prisutni su i ružičasti porfiroklasti mikroklina. U stijeni su uočljive pukotine ispunjene crvenosmeđim karbonatom.

Slika 7.26 Milonitni gnajs bušotine Tovarnik-2. Sastoji se od ružičastog lećastog i nepravilnog agregata u sivozelenom matriksu. Vidljive su pukotine ispunjene crvenosmeđim karbonatom. Tovarnik-2, J-2, interval 1568 – 1570 m.

Stijena se sastoji od kvarca (35%), K-feldspata (mikroklin, podređeno ortoklas; 25%), plagioklasa (25%), biotita (10%), muskovita (5%), akcesornog granata, cirkona, apatita te sekundarnog klorita, karbonata, hematita, pirita, sericita i kaolinita.

Kvarc je anhedralnog habitusa, dimenzija 0,1 do 1,5 mm, a sadrži brojne fluidne inkluzije. Sastavni je dio sitnozrnatog matriksa. Uglavnom ima izraženu mozaičnu strukturu, pri čemu su

granice između zrna kvarca ponekad oštre i jasno definirane, a ponekad su nejasne. Zrna kvarca imaju undulozno potamnjenje. Unutar većih zrna može se uočiti početak segmentacije. Osim kao dio matriksa, kvarc se pojavljuje kao porfiroklast. Porfiroklasti kvarca imaju obrub od sitnijih zrna, nastao kao posljedica rekristalizacije.



Slika 7.27 Dvije domene unutar milonitnog gnajsa. Crvenom strelicom označena je domena sastavljena od poligonalnih zrna alteriranih feldspata. Jasno je vidljiv svježi mikroklin (Mc), kvarc (Qtz) i biotit (Bt). Tovarnik-2, J-2, interval 1568 – 1570 m. N+

Mikroklin se pojavljuje uglavnom u formi porfiroklasta veličine do nekoliko cm**.** Porfiroklasti mikroklina sadrže albitne lamele. Izrazito je svjež u odnosu na ostale feldspate u stijeni. Često su sitna zrna alteriranih feldspata i kvarca uklopljena u mikroklinu ili ga obrubljuju. Pojavljuje se i unutar ružičastih domena kao sitnije zrno, veličine 0,15 mm, zajedno s feldspatom i kvarcom.

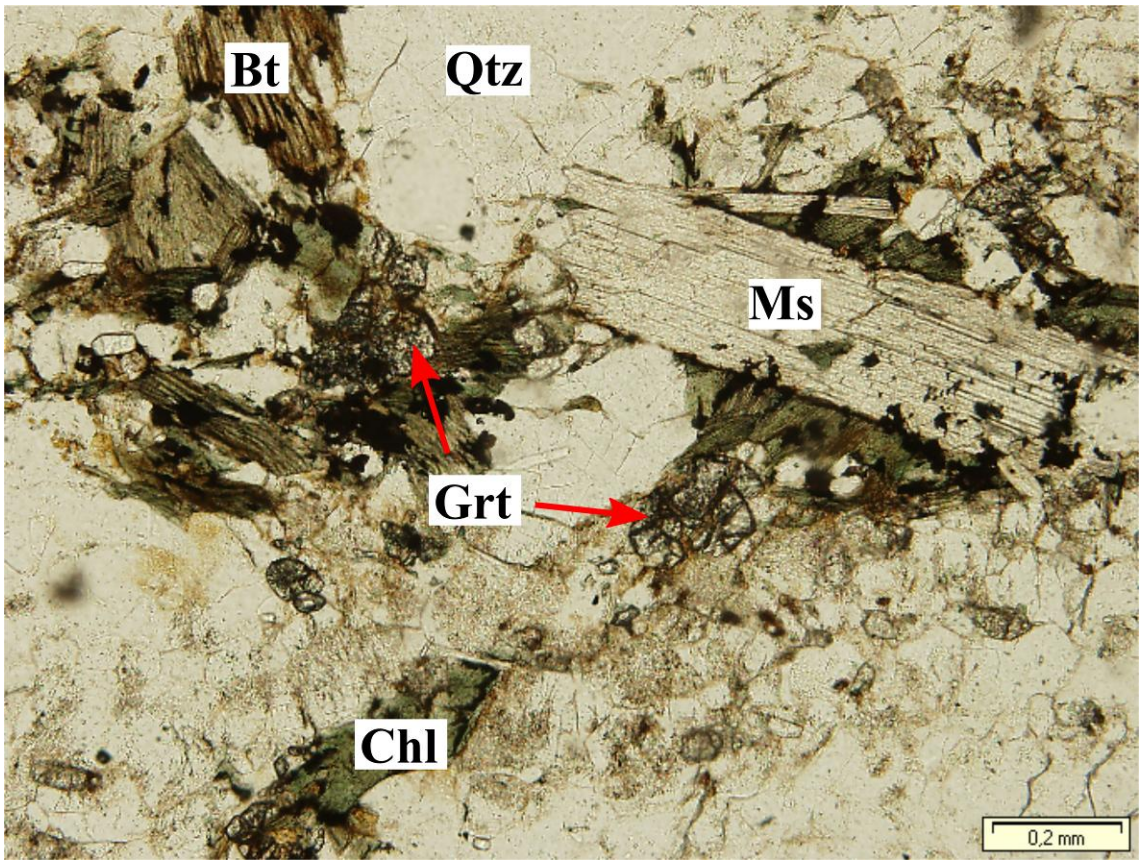
U stijeni su prisutni ružičasti lećasti i nepravilni poligonalni agregati *feldspata* (**Slika 7.27**) koji se sastoje od albita i ortoklasa. Imaju granoblastičnu, ekvidimenzionalnu strukturu, a često su prisutni i trojni kontakti između zrna. Ova zrna su veličine od oko 0,25 mm. Navedeni feldspati izrazito su alterirani. Sekundarni minerali kaolinit i sericit raspršeni su unutar još uvijek

prepoznatljivog minerala domaćina, ili se nalaze koncentrirani unutar jezgre zrna. U tom slučaju je po rubovima zrna kristalizirao kvarc koji nema deformacijska obilježja.

Biotit, veličine 0,1–1 mm, najvećim dijelom je kloritiziran, s brojnim opàkim uklopcima ili crvenkastim agregatom hematita izlučenim po pukotinama kalavosti. Svježi biotit, s izraženim svijetlo do tamnosmeđim pleokroizmom, pojavljuje se uklopljen unutar porfiroklasta mikroklina. Sitniji listići biotita i kloritiziranog biotita vezani su za domene izgrađene od kvarca.

Muskovit se pojavljuje u formi subhedralnih listića raspona veličine od 0,1 do 0,6 mm (**Slika 7.28**). U domenama izgrađenim od poligonalnog feldspata nalaze se na kontaktima zrna feldspata, a u kvarcnim domenama su paralelno orijentirani.

Granat, veličine od 0,1 do 1 mm, anhedralnog do subhedralnog habitusa, često karakteriziran atolnom morfologijom, nalazi se uglavnom unutar domena s alteriranim feldspatima.



Slika 7.28 Kvarc (Qtz), muskovit (Ms), biotit (Bt), klorit (Chl) i granat (Grt) u milonitnom gnajsu. Tovarnik-2, J-3, interval 1641 – 1642,8 m. N-

Cirkon je štapićast, dimenzija do 0,1 mm, a *apatit* je prizmatičan i štapićast, veličine do 0,2 mm. *Karbonat* je bezbojan ili crvenkasto smeđe boje, a pojavljuje se kao ispuna tankih žila ili je

raspršen unutar stijene. *Pirit* je euhedralnog habitusa, veličine oko 0,5 mm, a u stijeni se nalazi u domenama s trošnim feldspatom, ali i s kvarcom. *Hematit* je najčešće raspršen po granicama između zrna, a ponekad dolazi i kao dio ispune pukotina unutar porfiroklasta mikroklina.

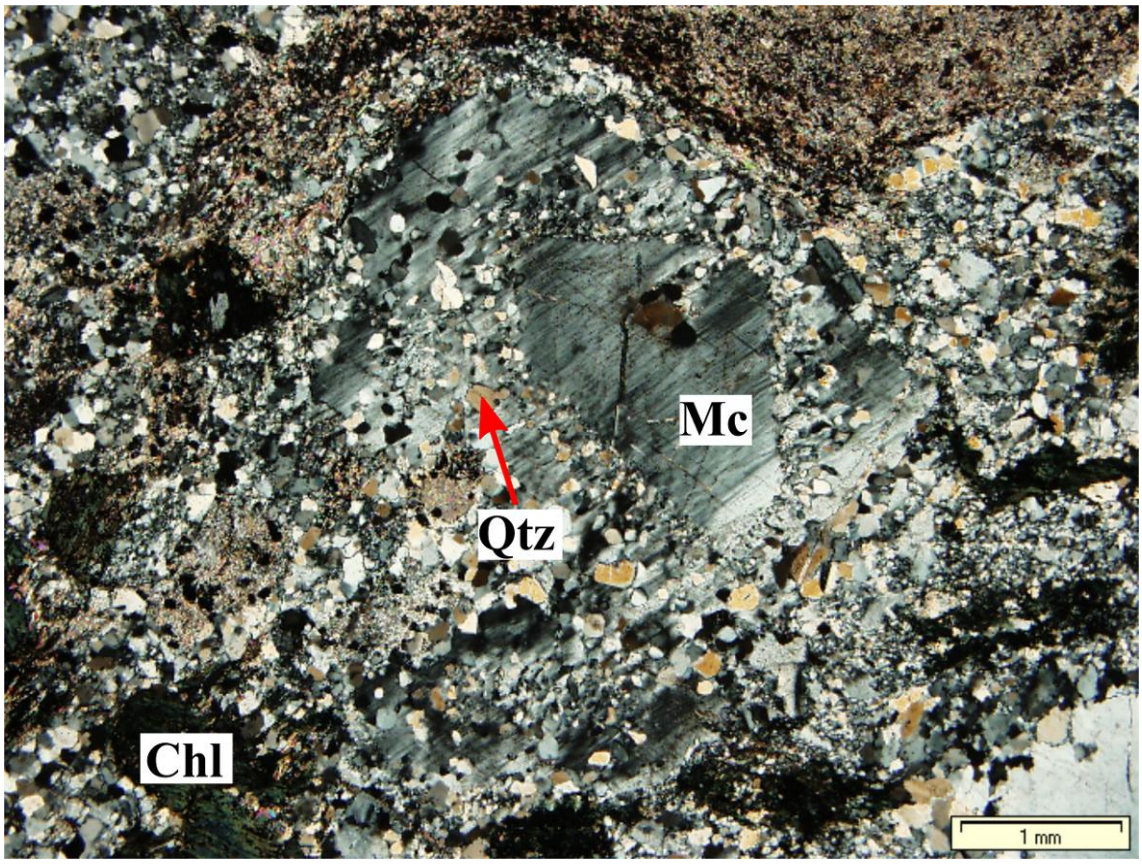
7.1.7. Milonitni gnajs Đeletovaca

Milonitni gnajs Đeletovaca leukokratna je stijena, s ružičastim porfiroklastima feldspata veličine do 10 mm, lećastim agregatima bijelog kvarca i sitnijeg ružičastog feldspata u tamnozelenom folijativnom matriksu. Matriks je paralelno orijentiran, dijelom boran, izrazito oko porfiroklasta, ali i oko kvarcnih i kvarc-feldspatskih agregata (**Slika 7.29**).

Slika 7.29 Milonitni gnajs područja Đeletovci. U tamnozelenom matriksu nalaze se ružičasti porfiroklasti feldspata i lećasti agregati bijelog kvarca i sitnijeg ružičastog feldspata.

Stijena se sastoji od kvarca (45%), mikroklina (30%), albita (10%), muskovita (10%), biotita (5%), zatim granata, klinozoisita, epidota, turmalina te sekundarnog sericita, klorita, hematita i karbonata. Tekstura stijene je škriljava do trakasta, a struktura je porfiroklastična. Porfiroklasti mikroklina nalaze se u matriksu u kojem se izdvajaju domene škriljavosti i domene mikrolitona. Mikroliton, lećastog oblika, izgrađen je od mozaičnog kvarca s rijetkim feldspatima. Domene škriljavosti se sastoje od muskovita, biotita, klorita, sitnokristalastog kvarca, granata i

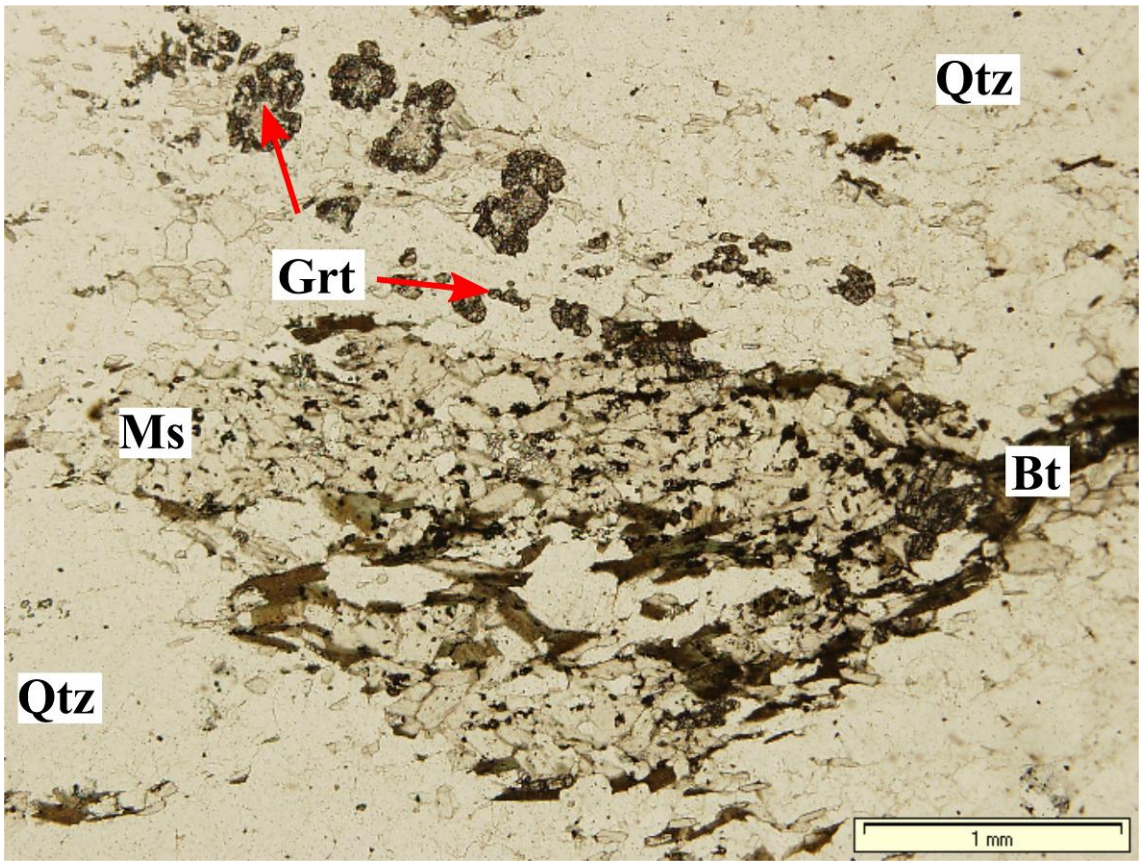
klinozoisita. Izmjena između mikrolitona i domena škriljavosti nije uvijek oštra, nego je ponekad postupna, pri čemu se dvije domene prožimaju.



Slika 7.30 Porfiroklast mikroklina (Mc) sa sitnozrnatim obrubom dominantno sastavljenim od kvarca (Qtz). Prepoznatljiv je i sekundarni klorit (Chl). Đeletovci-34, J-7, interval 1097 – 1100 m. N+

Kvarc, anhedralnog habitusa, ima širok raspon veličina, od 0,05 do 2 mm. Krupnija zrna nalaze se u lećastim agregatima, ponekad s formiranim obrubom od sitnozrnatog kvarca. Karakterizirana su polikristalnom strukturom i unduloznim potamnjenjem većih zrna Sitna zrna kvarca dominiraju unutar mikrolitona.

Mikroklin se pojavljuje u vidu porfiroklasta veličine do 10 mm, koji formiraju lećaste nakupine dimenzija do 1 cm. Sadrži albitne eksolucijske lamele, tanke i nepravilne. Porfiroklasti mikroklina mjestimice proraštaju sa sitnokristalastim kvarcom kapljičastog oblika, a gotovo u pravilu imaju obrub sastavljen od kvarca, podređeno albita ili tinjaca (**Slika 7.30**).



Slika 7.31 Nakupine muskovita (Ms) i biotita (Bt), kvarc (Qtz) i granat (Grt) atolnog oblika u milonitnom gnajsu Đeletovaca. Đeletovci-1, J-5, interval 1156 – 1158,5 m. N-

Albit, anhedralnog habitusa, veličine od 0,1 do 0,4 mm, zajedno s kvarcom čini sastavni dio mikrolitona. Djelomično je sericitiziran.

Muskovit, veličine listića do 0,5 mm, nakuplja se uglavnom u tanke škriljave domene. *Biotit*, dimenzija od 0,5 do 5 mm, najvećim je dijelom kloritiziran, s brojnim uklopcima opakih minerala te karbonatom ili hematitom izlučenim po plohama kalavosti.

U matriksu se nalaze subhedralni klinozoisit, epidot, granat, turmalin i cirkon. *Klinozoisit* i *epidot* veličine su maksimalno do 1 mm, uglavnom karakterizirani preferiranom orijentacijom štapića. *Granat* (**Slika 7.31**) se pojavljuje u obliku izometričnih zrna veličine do 0,6 mm. Granat uglavnom ima atolnu morfologiju. *Turmalin* je tamnozelene boje, u formi štapića duljine do 0,5 mm. *Cirkon* također ima štapićast habitus, s duljinom do 0,1 mm.

7.2. Istočni dio Dravske depresije

7.2.1. Područje Obod

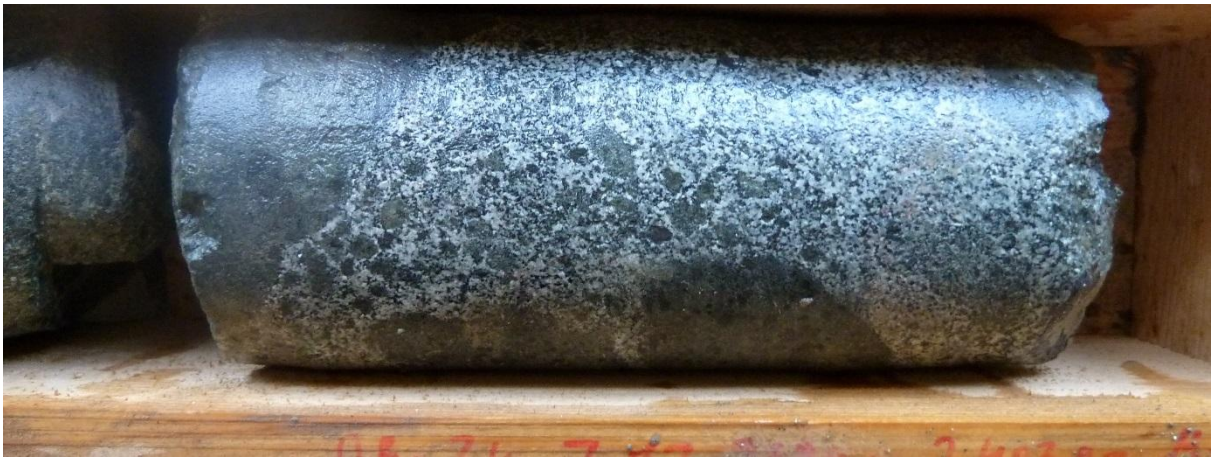
Na području Obod analizirane su i opisane sljedeće vrste stijena: monzodiorit i granodiorit te s njima povezani hornblenda dijabaz, bazaltni andezit, gnajs, holokristalni dacit i dacit s mikrokristalastom osnovom. Posebno je zanimljiva veza između granodiorita, hornblenda dijabaza i hornblenda monzodiorita. Naime, u poglavlju o lokalnoj geologiji već je opisana bušotina Obod-34 pa je spomenut i slučaj hibridizacije felzitne i mafitne magme, s felzitnom stijenom koja sadrži mikrogranularne mafitne enklave u plićem dijelu magmatskog tijela. Felzitna stijena koja se pojavljuje i u vidu žila unutar monzodiorita (**Slika 7.32**), ima granodioritni sastav.

Slika 7.32 Tanka žila granodiorita u monzodioritu. Monzodiorit sadrži i tamne nakupine hornblende. Obod-34, J-17, interval 2394 – 2403 m.

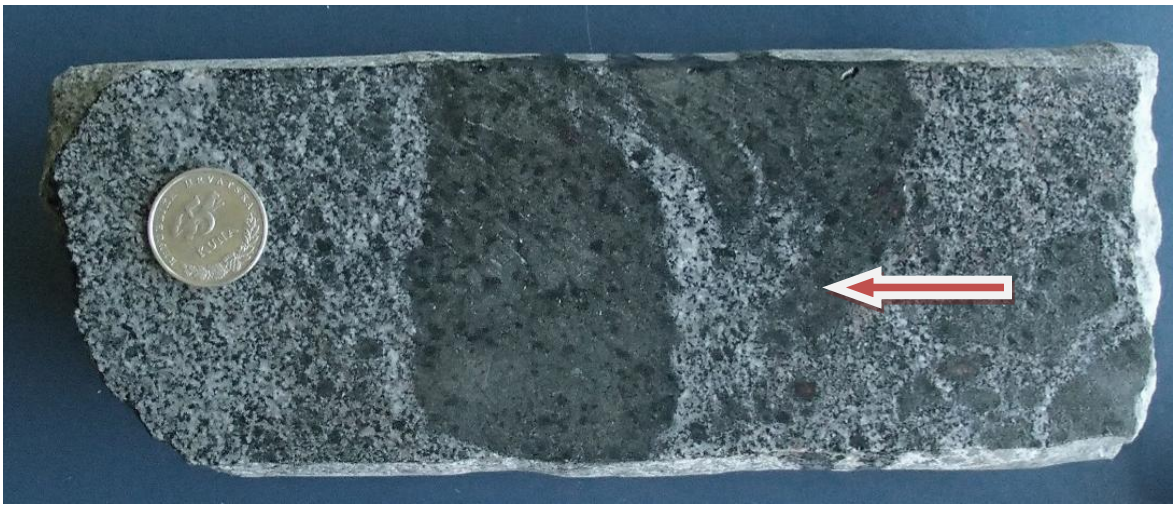
Mikrogranularne mafitne enklave hornblenda dijabaza različitog su oblika – mogu biti zaobljene, uglate s oštrim rubovima ili nepravilne s ameboidnim granicama (**Slika 7.33, 7.34** i **7.35**) i različitih dimenzija (od 1 cm do preko 10 cm). Kontakt između stijene domaćina i mafitne enklave može biti oštar (**Slika 7.33** i **7.34**), uglavnom s leukokratnim obrubom u granodioritnom domaćinu, ili difuzan s postupnim prijelazom iz jedne litologije u drugu (**Slike 7.35-7.37**).

Područja difuznog kontakta u litološkom smislu odgovaraju stijeni koja je definirana kao monzodiorit.

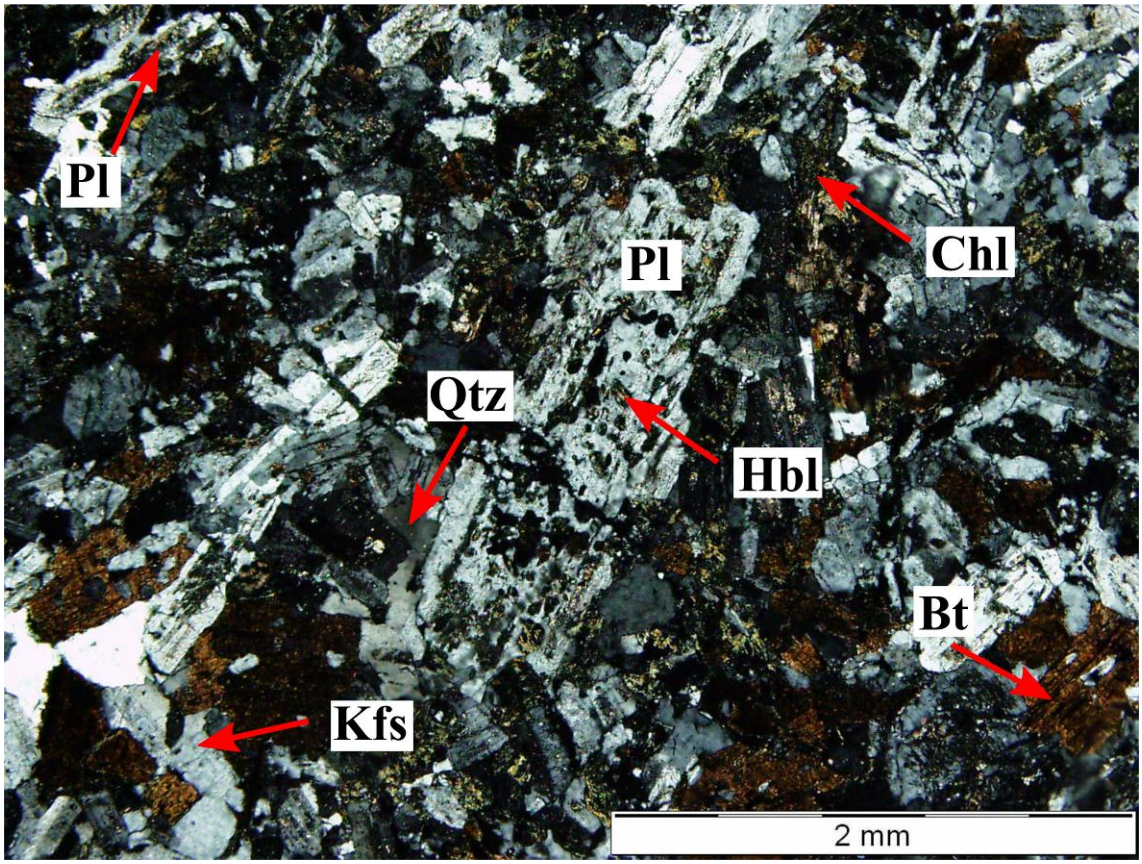
Slika 7.33 Granodiorit s uglatim i nepravilnim enklavama hornblenda dijabaza. Na granici s enklavama prisutan je leukokratni halo unutar granodiorita. Obod-34, J-17, interval 2394 – 2403 m.



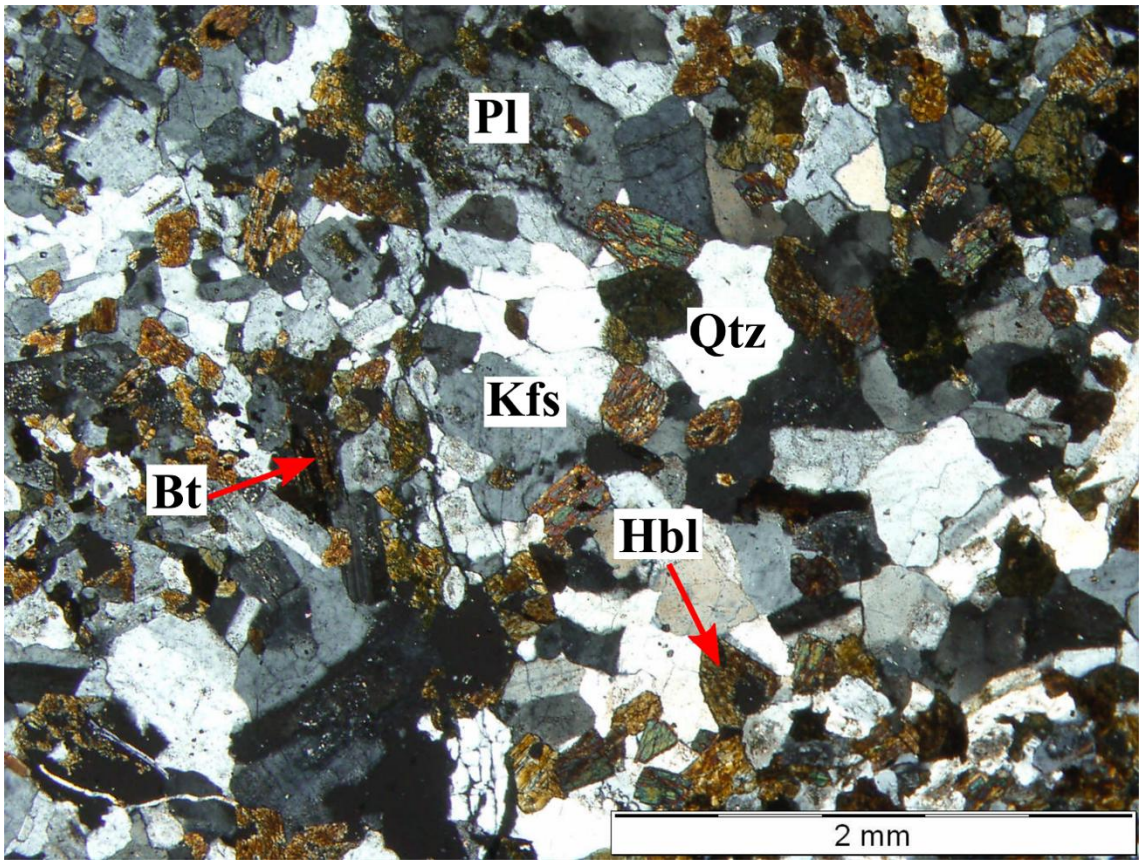
Slika 7.34 Granodiorit sa zaobljenim enklavama hornblenda dijabaza, koje imaju različite dimenzije, (od 1 cm do preko 10 cm). Obod-34, J-17, interval 2394 – 2403 m.



Slika 7.35 Granodiorit s enklavama hornblenda dijabaza različite veličine i oblika. Osim enklava koje imaju jasne granice s graniodioritom, strelicom je označena nepravilna i difuzna granica. Obod-34, J-17, interval 2394-2403 m.

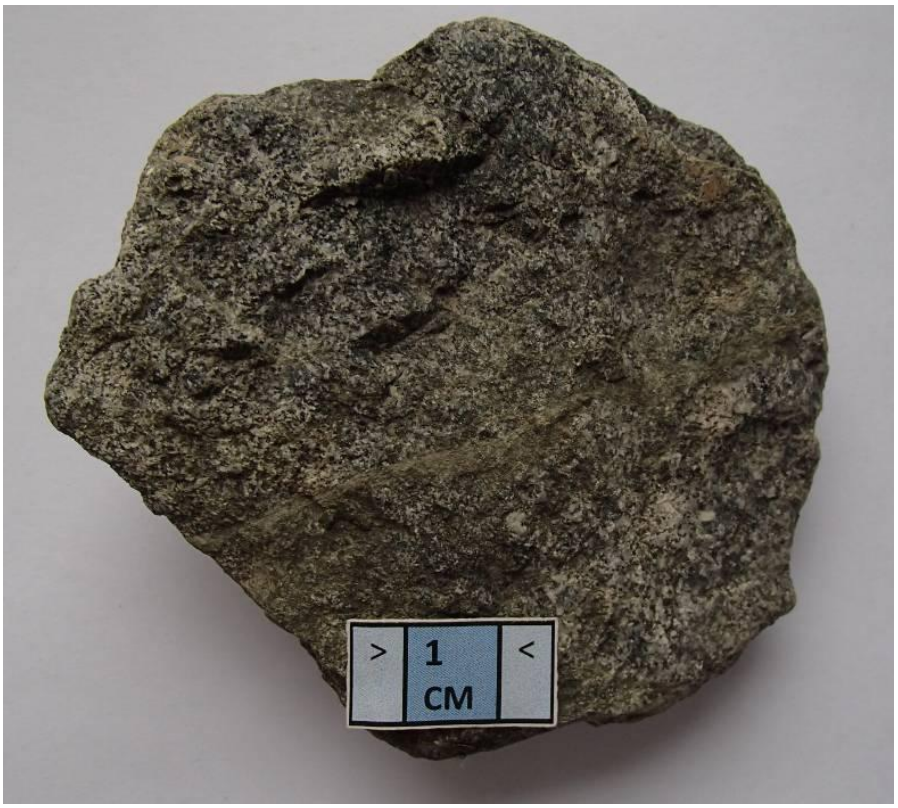


Slika 7.36 Miješanje granodiorita (dolje lijevo) i mafitne hornblenda dijabaz enklave. Krupni sitasti plagioklas (Pl) s uklopcima sitne hornblende (Hbl), anhedralni ortoklas (Kfs), biotit (Bt), intersticijski kvarc i sekundarni klorit. Obod-34, J-19, interval 2407 – 2413,49 m. N+



Slika 7.37 Granodioritna žila (krupnozrnato) i monzodiorit (sitnozrnato). Na slici su prepoznatljivi plagioklas (Pl), hornblenda (Hbl), ortoklas (Kfs), kvarc (Qtz) i biotit (Bt). Obod-34, J-19, interval 2407 – 2413,49 m. N+

Monzodiorit (**Slika 7.38 i 7.39**) je melanokratna sitnozrnata stijena, hipidiomorfno zrnate strukture, mjestimično porfiroidne ili poikilitne. Pojedini uzorci su kataklazirani i karakterizirani brojnim pukotinama ispunjenim svijetlozelenim i bijelim mineralima. Monzodiorit mjestimično sadrži nakupine hornblende, u kojima su podređeno prisutni biotit i ilmenit. Nakupine su izometričnog oblika, veličine uglavnom do 2 mm (**Slika 7.39**). Porfiroidni varijeteti ponekad sadrže nakupine veličine do 4 mm, koje se sastoje od fenokristala plagioklasa i hornblende.

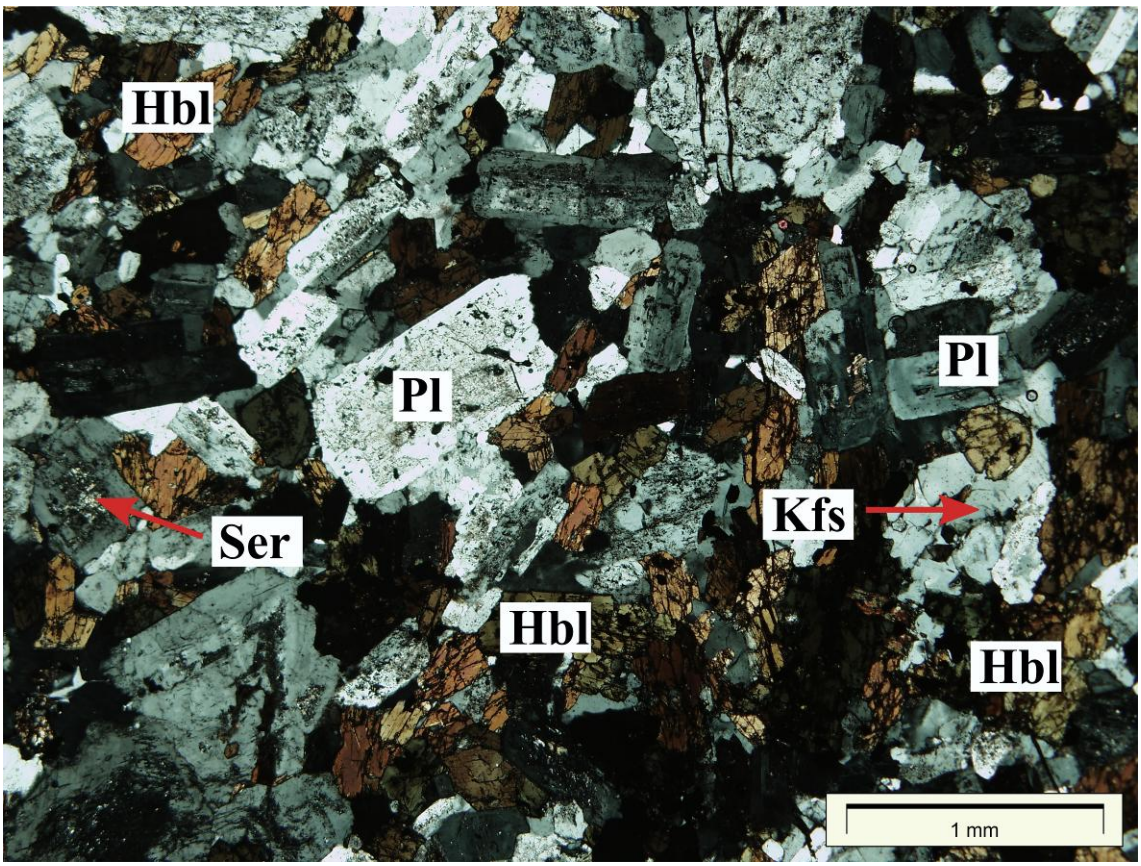


Slika 7.38 Monzodiorit. Stijena je melanokratna zbog velikog udjela feromagnezijskih minerala. U stijeni su vidljive brojne pukotine ispunjene zelenkastim sekundarnim mineralima. Obod-34, J-21, interval 2475 – 2476,3 m.

Slika 7.39 Monzodiorit. Vidljive su tamne nakupine hornblende homogeno raspršene u stijeni. Obod-34, J-17, interval 2394-2403 m.

Monzodiorit se sastoji od plagioklasa (40-50%), hornblende (20-30%), ortoklasa (10%), kvarca (5%), biotita (5-10%), ilmenita, apatita i cirkona, te sekundarnih minerala klorita, karbonata, epidota, titanita, pirita, hematita, sericita i minerala glina.

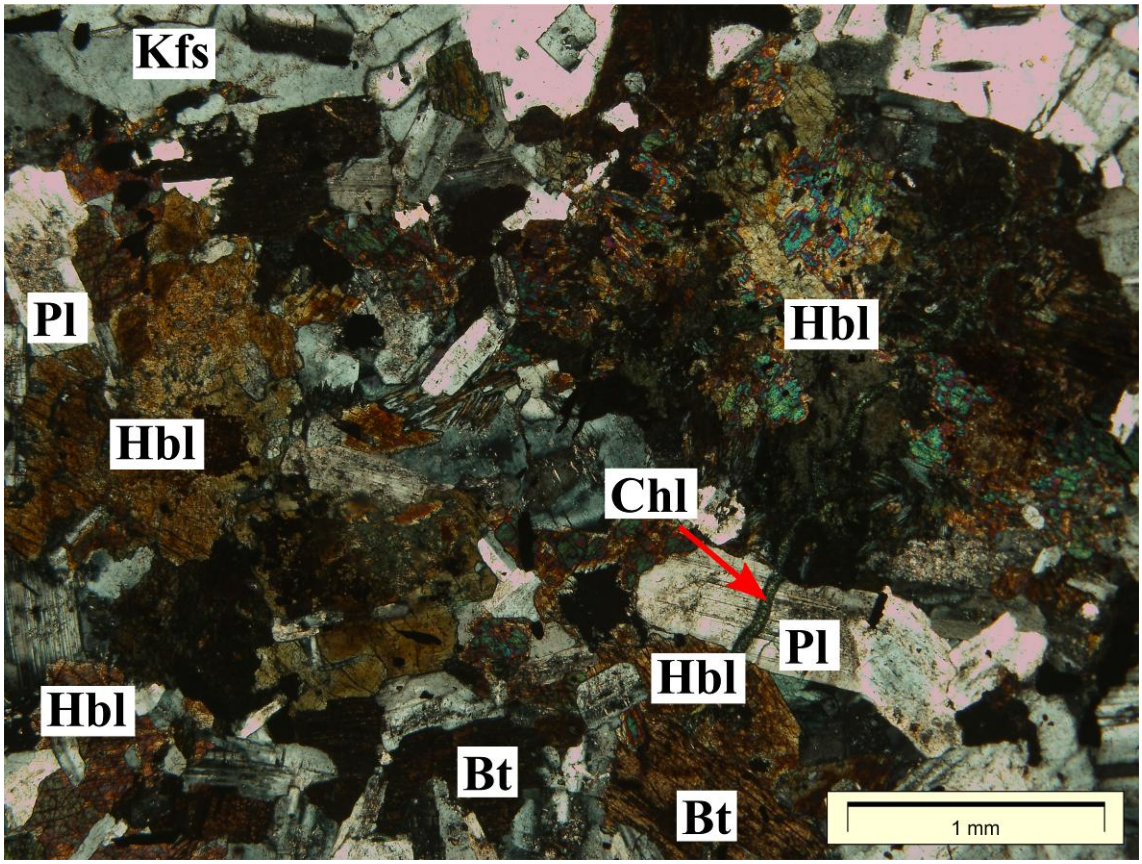
Plagioklas je prizmatičan, subhedralnog habitusa, dužine od 0,1 mm do 5 mm (**Slika 7.40** i **7.41**). Sporadično ima razvijen euhedralan ili anhedralan habitus. Blago je zonalan, s razvijenim polisintetskim sraslačkim lamelama. Veliki dio zrna plagioklasa, posebice krupnijih, ima dijelom alteriranu (kloritiziranu, podređeno sericitiziranu i kalcificiranu) jezgru i svježi rub. Sadrži uklopljene hornblendu (**Slika 7.42**) i biotit, što je posebice izraženo kod zrna s alteriranom jezgrom, koja imaju sitastu građu. Oko rubova plagioklasa mjestimice kristaliziraju sitnija zrna hornblende. U kontaktu s ortoklasom i kvarcom plagioklas ima nepravilne, resorbirane rubove i anhedralan habitus. Po rubovima zrna ortoklasa mogu se uočiti gotovo submikroskopska mirmekitna proraštanja plagioklasa i kvarca. U varijetetima porfiroidne strukture plagioklas je najzastupljeniji fenokristal. Mjestimično sadrži mikropukotine ispunjene kalcitom ili kloritom.



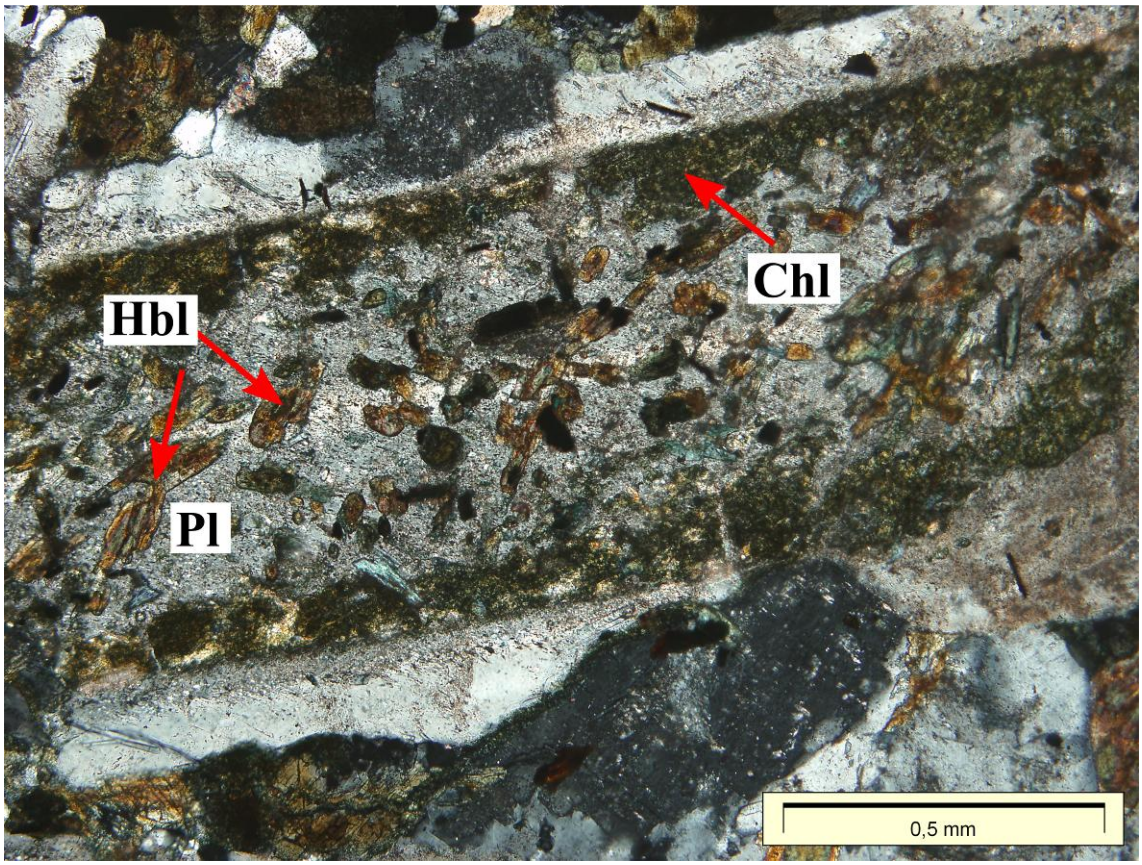
Slika 7.40 Blago zonalni plagioklas (Pl), s djelomično sericitiziranom (Ser) jezgrom, hornblenda (Hbl), K-feldspat (Kfs) koji uklapa hornblendu. Obod-34, J-21, interval 2475 – 2476,3 m. N+

Hornblenda ima subehdralan do euhedralan, podređeno anhedralan, prizmatičan habitus (**Slika 7.40**). Izražen je tamnozeleni do zelenosmeđi, a ponekad zeleni do smeđi pleokroizam. Zrna su veličine od 0,03 do 1,2 mm, a ponekad formiraju nakupine promjera do 2 mm (**Slika 7.41**). Hornblenda je često djelomično ili potpuno uklopljena u plagioklasu, pri čemu su potpuno

uklopljena zrna anhedralna i vjerojatno resorbirana. Mjestimično je anhedralna i intersticijska te uklapa plagioklas. Slično kao plagioklas, brojna zrna hornblende imaju alteriranu jezgru, a svježi rub. Uglavnom se alterira u klorit, sporadično karbonat, epidot i hematit. U pojedinim uzorcima hornblenda je u potpunosti kalcitizirana i kloritizirana, pri čemu je sačuvan originalni habitus, ponegdje s vidljivom romboedrijskom kalavošću.



Slika 7.41 Nakupine hornblende (Hbl), plagioklas (Pl), biotit (Bt) i K-feldspat (Kfsp) u hornblenda monzodioritu. Crvenom strelicom je označena pukotina ispunjena kloritom (Chl). Obod-34, J-21, interval 2475 – 2476,3 m. N+

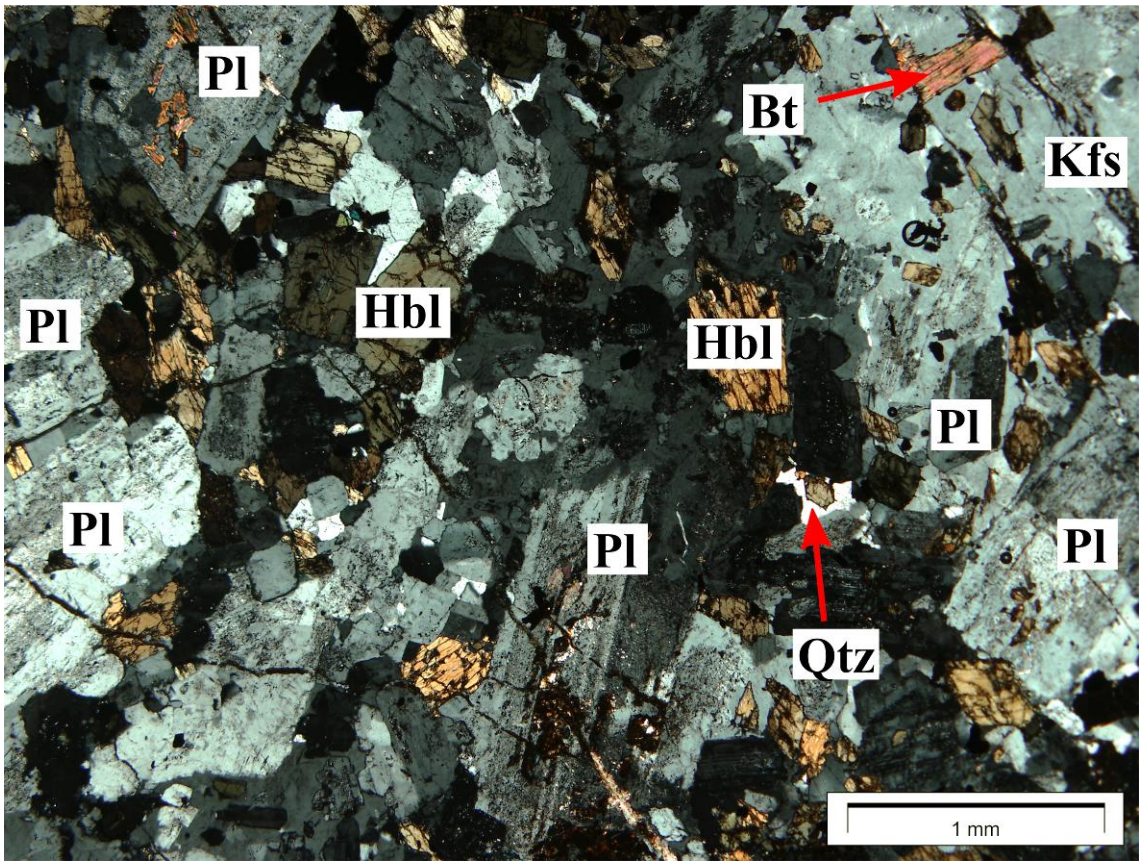


Slika 7.42 Sitasti plagioklas (Pl) djelomično alteriran u klorit (Chl), sadrži uklopke hornblende (Hbl). Obod-34, J-22, interval 2570 – 2571,7 m. N+

Ortoklas se pojavljuje uglavnom u formi ahedralnih zrna veličine oko 1 mm. Sadrži uklopljena zrna plagioklasa, hornblende i biotita, koji imaju uglavnom nepravilne i resorbirane granice (**Slika 7.43**). Anhedralnog je habitusa i resorbiranih rubova. Mjestimično sadrži vrlo tanke i nepravilne eksolucijske lamele albita, koje su vidljive samo pri velikim povećanjima (200x). Djelomično je alteriran u sericit ili u minerale glina.

Biotit se pojavljuje u formi anhedralnih listića veličine od 0,2 mm do 1 mm (**Slika 7.41** i **7.43**). Ima izražen svijetlo do tamnosmeđi pleokroizam. Asociran je uglavnom s hornblendom, a uočeni su i listići koji uklapaju resorbirana zrna hornblende. U različitim uzorcima je u različitoj mjeri kloritiziran, preferirano po pukotinama kalavosti. Sadrži i opàke uklopke te mjestimično hematit izlučen po pukotinama kalavosti.

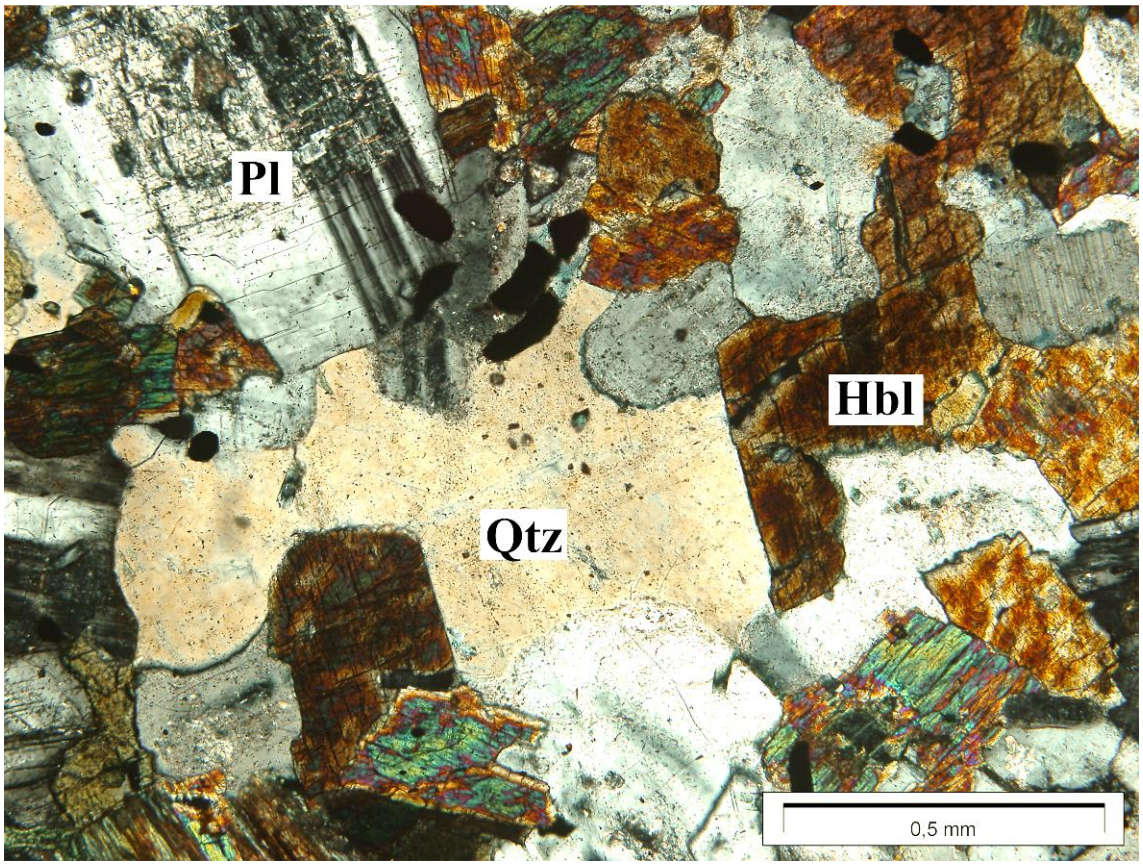
Kvarc, anhedralnog habitusa, ima raspon veličine zrna od 0,1 do 2 mm. Krupnija zrna uklapaju plagioklas, hornblendu i biotit. Uglavnom je intersticijski, a pojavljuje se kao „cement“ između drugih zrna (**Slika 7.44**) ili rjeđe kao oikokristal koji uklapa zrna plagioklasa, hornblende i podređeno biotita. Mjestimično ima izraženo undulozno potamnjenje.



Slika 7.43 Plagioklas (Pl), hornblenda (Hbl), ortoklas (Kfs) koji poikilitno uklapa plagioklas, hornblendu i biotit (Bt), i intersticijski kvarc (Qtz). Obod-34, J-21, interval 2475 – 2476,3 m. N+

Ilmenit je uglavnom asociran s hornblendom. Pojavljuje se u različitim formama. Osim u obliku subhedralnih zrna mjestimice se pojavljuje u izduženom obliku, pri čemu mu maksimalna dužina doseže 0,8 mm.

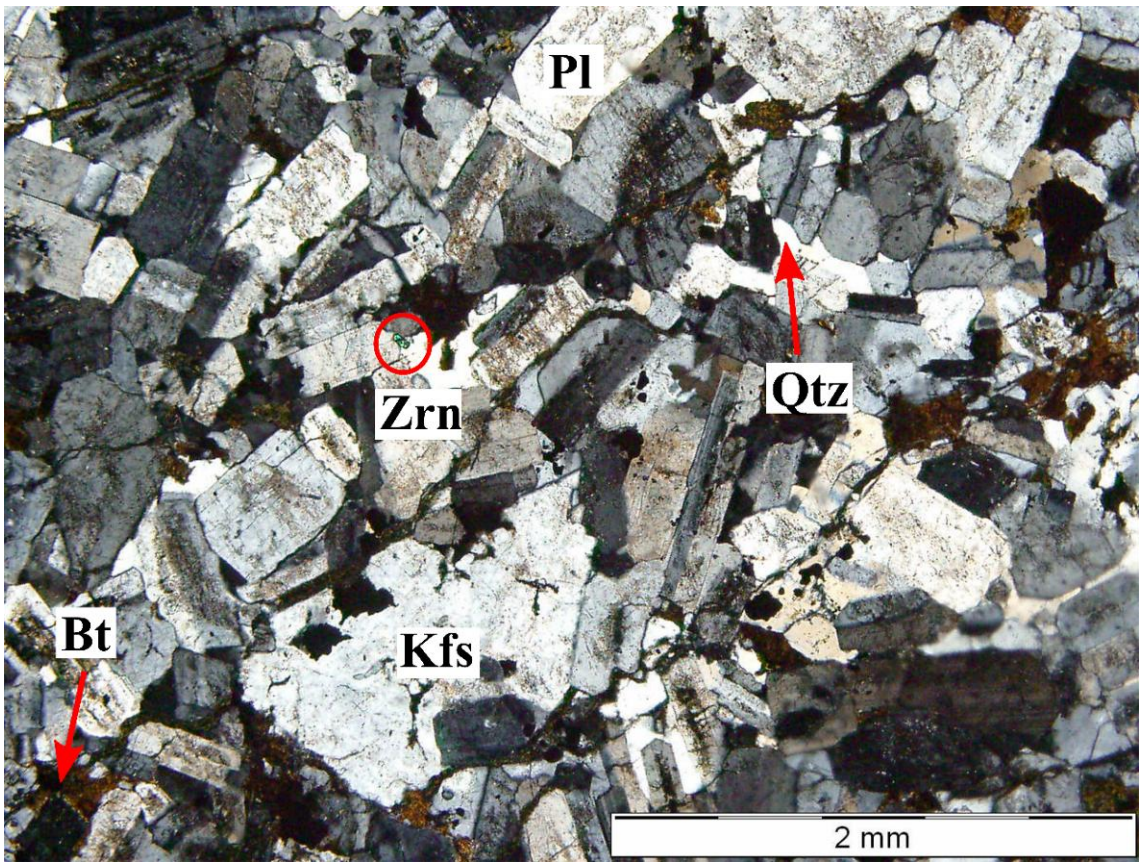
Apatit je izrazito izdužen, gotovo igličast, a dužina mu ne prelazi 0,1 mm. Mjestimice formira nakupine. *Cirkon* je prisutan u vidu vrlo sitnih (do 0,1 mm) subhedralnih, ponekad i euhedralnih zrna.



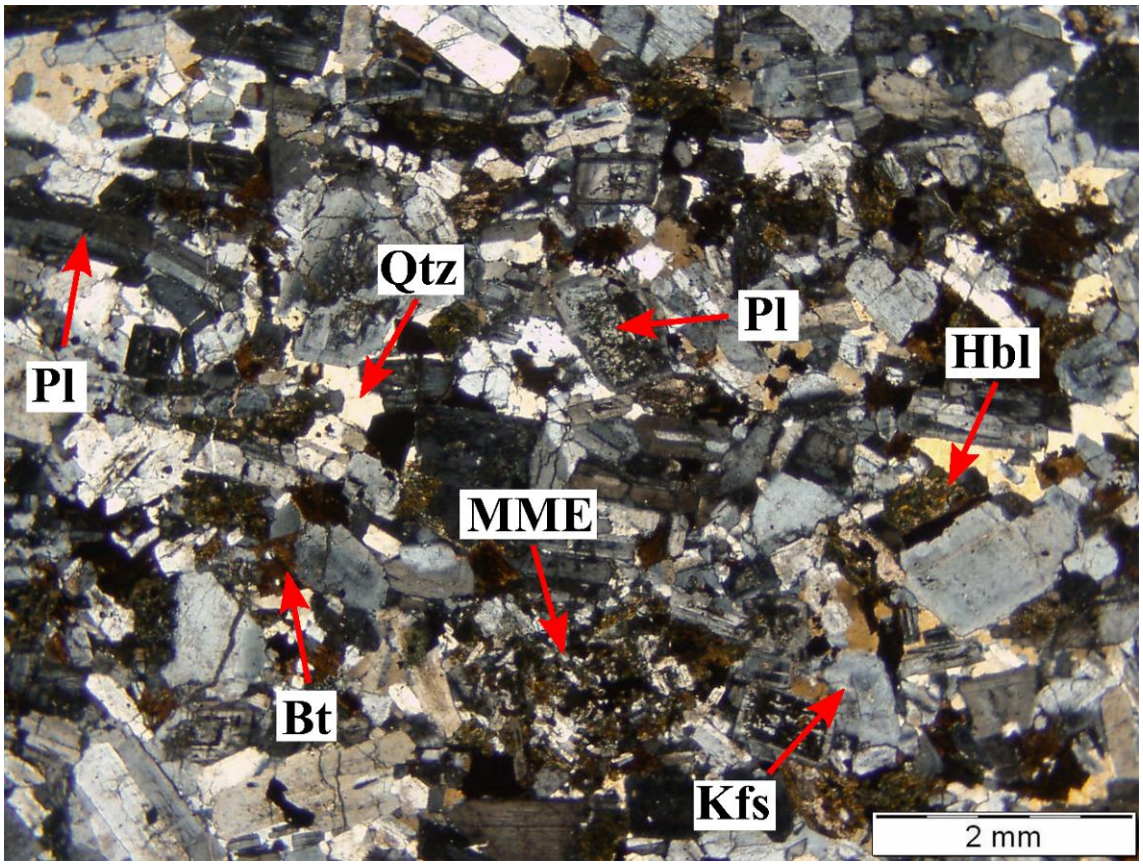
Slika 7.44 Plagioklas (Pl), hornblenda (Hbl) i intersticijski kvarc (Qtz) u hornblenda monzodioritu. Obod-34, J-21, interval 2475 – 2476,3 m. N+

Kalcit je sekundaran, a prisutan je kao ispuna pukotina. *Klorit* je sekundarni mineral, najčešće se nalazi unutar plagioklasa i hornblende kao alteracijski produkt. Ponekad agregati klorita čine pseudomorfoze uklopljene unutar plagioklasa, vjerojatno po hornblendi. Dolazi i u vidu lepezastih agregata kao ispuna tankih pukotina, te u zonama kataklaziranja. *Titanit*, veličine do 0,3 mm, ima anhedralan habitus i nalazi se u intersticijskom prostoru. *Epidot* predstavlja alteracijski produkt hornblende u dijelovima koji su intenzivnije kataklazirani. *Sericit* je prisutan kao produkt alteracije unutar plagioklasa. *Minerali glina* su alteracijski produkt plagioklasa i ortoklasa.

Granodiorit se pojavljuje u vidu tankih žila i debljeg tijela čiji oblik na temelju dostupnih podataka nije moguće odrediti. Stijena sadrži već spomenute mafitne enklave (**Slike 7.33-7.44**), a vrlo rijetko i felzitne. Sastoji se od plagioklasa (40-50%), kvarca (20-30%), ortoklasa (15-25%) i biotita (3-5%). Akcesorni minerali su opaki mineral, apatit i cirkon. Sekundarni minerali su kalcit, klorit, sericit i minerali glina. Mjestimično, posebno u kontaktu s mafitnim enklavama, prisutna je i hornblenda (do 5%). Struktura stijene je serijatna (**Slike 7.45-7.47**). Velikim dijelom sadrži mikropukotine ispunjene kalcitom i podređeno kloritom.



Slika 7.45 Granodiorit serijatne strukture. Plagioklas (Pl) je prizmatičan, ortoklas (Kfs) anhedralan, kvarc (Qtz) intersticijski, biotit (Bt) anhedralan. Na slici je u crvenoj kružnici označen sitni euhedralni kristal cirkona (Zrn). Obod-34, J-17, interval 2394 – 2403 m. N+



Slika 7.46 Granodiorit s mikrogranularnom mafitnom enklavom (MME). Stijena ima serijatnu strukturu, a sastoji se dominantno od plagioklasa (Pl), ortoklasa (Kfs), intersticijskog kvarca (Qtz), biotita (Bt) i hornblende (Hbl). Obod-34, J-17, interval 2394 – 2403 m. N+

Plagioklas, veličine od 0,1 do 4,3 mm, ima subhedralan, prizmatičan habitus (**Slike 7.44-7.46**). Sadrži polistintetske sraslačke lamele te ima blago izraženu zonalnu građu. Veća zrna plagioklasa imaju izrazito kloritiziranu jezgru, a kod pojedinih zrna razvijena je sitasta struktura. Unutar plagioklasa uklopljeni su štapićasti apatit, cirkon, hornblenda i biotit. Malim dijelom plagioklas je alteriran u minerale glina ili sericit, a mjestimično sadrži i mikropukotine ispunjene kloritom.

Ortoklas, dimenzija od 0,1 do 2,0 mm, ima anhedralan habitus (**Slike 7.44-7.46**). Mjestimično sadrži tanke albitne eksolucijske lamele. Ortoklas je djelomično alteriran u minerale glina ili u sericit.

Kvarc, veličine od 0,2 do 2,0 mm, anhedralnog je habitusa i najvećim dijelom se pojavljuje kao intersticijski mineral (**Slike 7.44-7.46**). Mjestimično je prisutan i kao oikokristal koji uklapa zrna svih ostalih minerala. Ima blago izraženo undulozno potamnjenje.

Biotit, dimenzija od 0,1 do 1,0 mm, uglavnom je anhedralnog (**Slike 7.44-7.46**), rijetko subhedralnog habitusa. Ima izražen svijetlo do tamnosmeđi pleokroizam. Dijelom sadrži opàke minerale preferirano po plohama kalavosti, a dijelom je kloritiziran.

Hornblenda, veličine od 0,3 do 1 mm, ima razvijen subhedralan do euhedralan, kratkoprizmatičan habitus (**Slika 7.45**). Zrna koja nisu alterirana imaju izražen svijetlo do tamnozeleni pleokroizam. Velikim dijelom je kloritizirana, a sadrži i mikropukotine ispunjene kalcitom. Na mjestima gdje je stijena kataklazirana hornblenda je potpuno kloritizirana i kalcificirana.

Opàki mineral je subhedralan do euhedralan, a dimenzije mu ne prelaze 0,1 mm. *Cirkon* je euhedralan, dimenzija uglavnom oko 0,01 mm. *Apatit* je euhedralan, s razvijenim štapićastim habitusom, dužine do 0,04 mm. Uklopljen je u plagioklasu, ortoklasu i kvarcu.

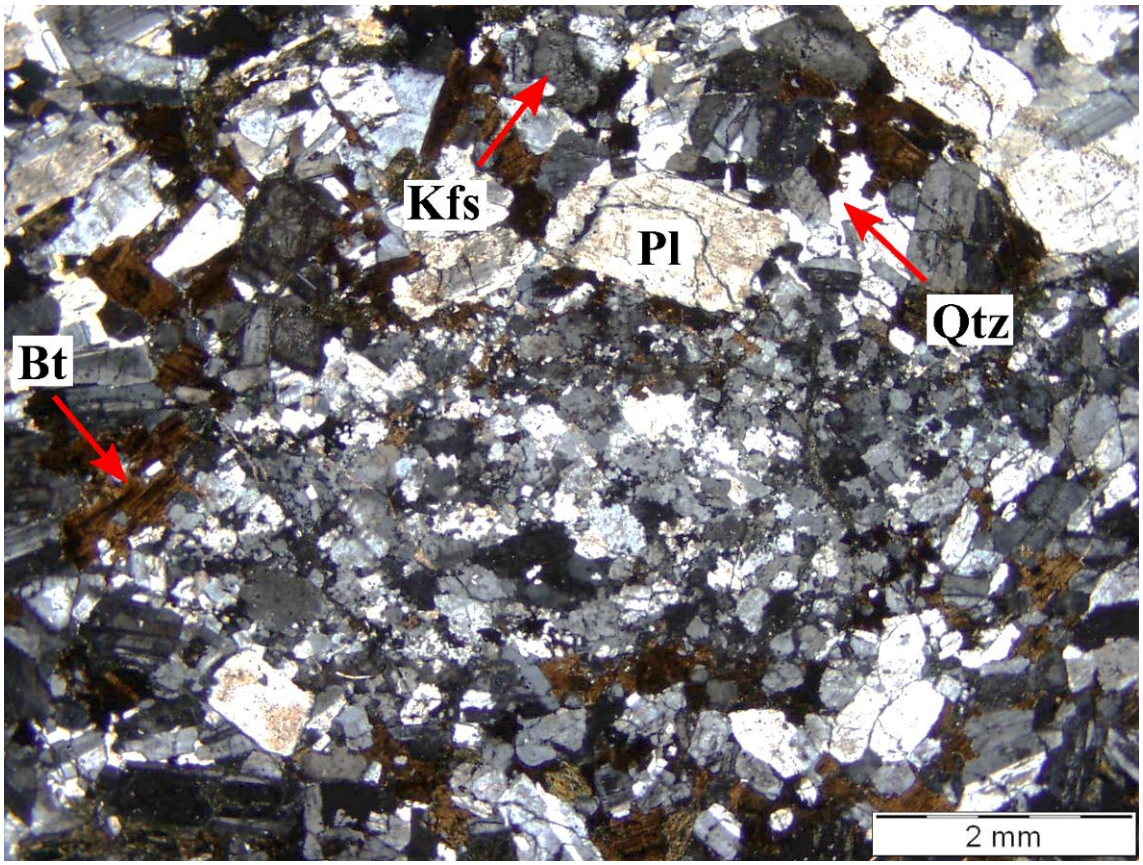
Klorit se pojavljuje kao alteracijski produkt hornblende i biotita, a nalazi se i raspršen u vidu sitnih listića unutar jezgre plagioklasa te kao agregat u pukotinama.

Kalcit je sekundaran, a prisutan je kao ispuna pukotina.

Sericit i *minerali glina* prisutni su kao alteracijski produkt unutar plagioklasa i ortoklasa.

Mikrogranularne mafitne enklave uglavnom imaju elipsoidni oblik (dimenzije oko 1,2x2,3 mm), a unutarnja struktura je intergranularna (**Slika 7.46**). Sastoje se od subhedralne hornblende (0,1x0,2 mm), plagioklasa (0,1x0,2 mm), biotita (1x1,5 mm) te anhedralnog intersticijskog kvarca. Mjestimično su izrazito kalcificirane.

Felzitna enklava ima veličinu oko 1 cm i elipsoidan oblik. Struktura enklave je ekvigranularna s ameboidnim granicama između zrna (**Slika 7.47**). Sastoji se od mikroklina, albita, kvarca i biotita. Veličina felzitnih zrna je manja od 0,2 mm, a biotita manja od 0,1 mm. Feldspati su malim dijelom alterirani u minerale glina.

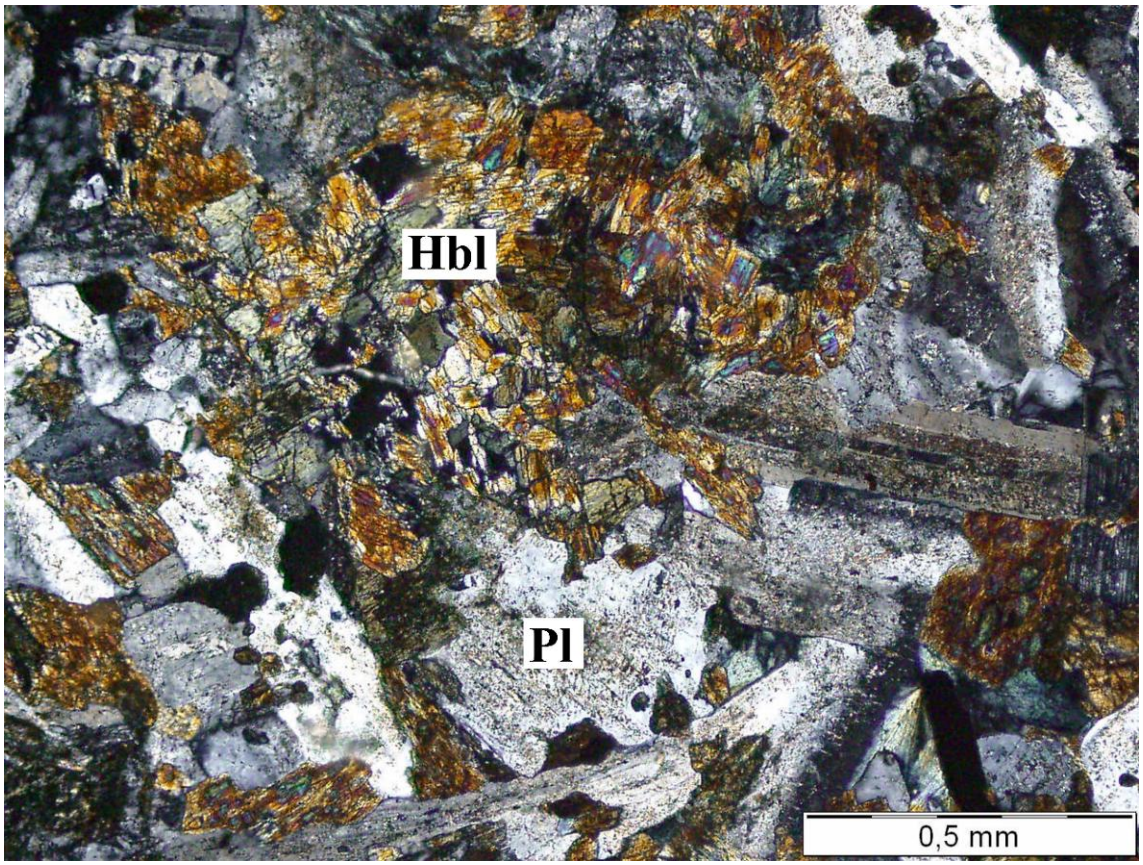


Slika 7.47 Felzitna enklava u granodioritu. Plagioklas (Pl) je orijentiran paralelno u odnosu na rub enklave. Osim plagioklasa, prepoznatljiv je ortoklas (Kfs), biotit (Bt) i kvarc (Qtz). U enklavi su prisutni mikroklin, albit, kvarc i biotit. Obod-34, J-17, interval 2394 – 2403 m. N+

Hornblenda dijabaz se pojavljuje bušotini Obod-34 u vidu već opisanih mikrogranularnih mafitnih enklava (**Slike 7.43-7.44**). Sastoji se od plagioklasa (45-50%), hornblende (40%), a mjestimično su prisutni biotit (do 5%) i kvarc. Akcesorni minerali su opàki mineral, apatit i cirkon. Stijena je uglavnom porfiroidne strukture s osnovom koja se sastoji od isprepletenih plagioklasa i hornblendi. U stijeni su mjestimično prisutne sferične i elipsoidne nakupine hornblende, veličine do 2 mm.

Plagioklas, anhedralnog habitusa, prisutan je i unutar matriksa, uglavnom u vidu štapića dimenzija od 0,02x0,06 mm, ali i kao dugoprizmatični fenokristal veličine do 2x3 mm. Veća zrna plagioklasa sadrže i uklopke sitne hornblende i biotita. Uglavnom imaju kloritizirane jezgre i svježi rub, a krupniji fenokristali mjestimično imaju i kalcitizirane jezgre. Mjestimično su i sericitizirani.

Hornblenda je subherdalna, prizmatičnog habitusa, s izraženim svijetlo do tamnozelenim pleokroizmom. Veličina zrna hornblende nalazi se u rasponu od 0,08x0,1 do 0,2x0,4 mm. U stijeni su prisutne i nakupine hornblendi, uglavnom sferičnog i elipsoidnog oblika.



Slika 7.48 Nakupina hornblende (Hbl) u hornblenda dijabazu. Na slici je vidljiv i plagioklas (Pl). Obod-34, J-17, interval 2394 – 2403 m. N+

Biotit, veličine do 0,5 mm, ima anhedralan habitus i svijetlo do tamnosmeđi pleokroizam. Mjestimično uklapa sitnija zrna plagioklasa. Dijelom je kloritiziran, s opakim mineralima izlučenim preferirano po plohama kalavosti.

Kvarc je intersticijski, veličine oko 0,2 mm. Prisutan je u vrlo maloj količini, uglavnom u blizini kontakta s granodioritom.

Akcesorni minerali su i*lmenit*, veličine oko 0,1 mm, štapićasti euhedralni *apatit*, veličine do 0,08 mm, a *cirkon* je vrlo rijedak i ne prelazi 0,1 mm.

Klorit je prisutan kao alteracijski produkt plagioklasa, hornblende i biotita. *Sericit* i *minerali glina* nastali su alteracijom plagioklasa. Kalcit se nalazi u pukotinama i kao alteracijski produkt unutar zrna plagioklasa. *Titanit*, veličine do 0,4 mm, subhedralan je do anhedralan, ponekad intersticijski. Sekundarnog je postanka i vjerojatno je alteracijski produkt ilmenita.

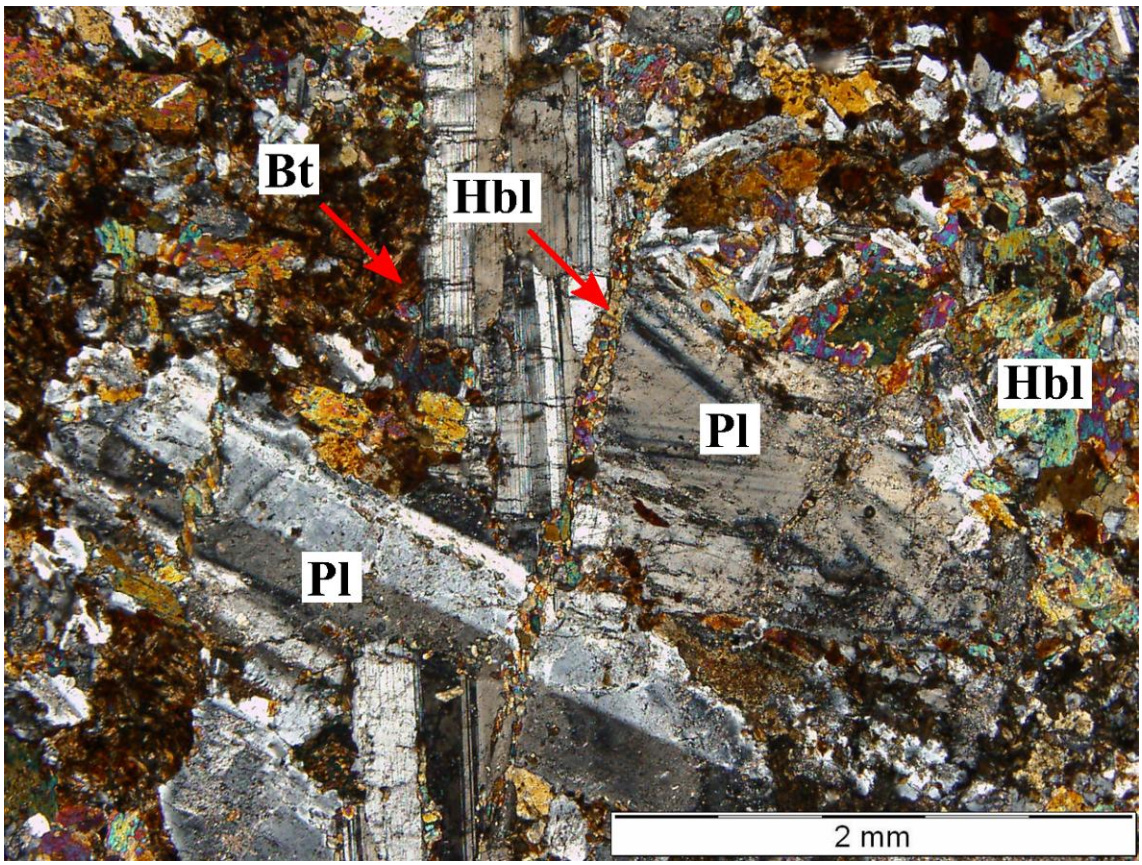
Metadijabaz je prisutan u bušotini Lacići-1A (**Slika 7.49**). Sastoji se od plagioklasa (50%), hornblende (40%), biotita (5%), kvarca (3%), ortoklasa (2%). Akcesorni minerali su opàki mineral i apatit. Stijena ima porfiroidnu strukturu s osnovnom masom izgrađenom od isprepletenih štapića plagioklasa i zrna hornblende. U stijeni su prisutne i brojne sferične i elipsoidne nakupine hornblende, veličine do 1 mm.

Slika 7.49 Porfiroidni hornblenda dijabaz. Bušotina Lacići-1A, J-3, interval 2402 – 2403,1 m.

Plagioklas, dimenzija od 0,1x0,3 mm do 0,7x3,2 mm, pojavljuje se kao sastavni dio matriksa te u vidu fenokristala, koji mjestimično formiraju i nakupine. Ima izražen anhedralan do subhedralan habitus, pri čemu je uglavnom štapićast u matriksu, dok su fenokristali uglavnom dugoprizmatični. Zonalnost je blago izražena. Sadrže sitna zrna hornblende i biotita, kako fenokristali plagioklasa, tako i štapići unutar osnove. Dijelom su alterirani u minerale glina, a dijelom su sericitizirani. Veća zrna plagioklasa uklapaju sitna zrna hornblende i listiće biotita, a uočena je čak i pukotina u plagioklasu ispunjena agregatom hornblende veličine od 0,05 do 1 mm (**Slika 7.50**).

Hornblenda ima izražen blijedo zeleni do zelenosmeđi pleokroizam te anhedralan do subhedralan habitus. Nalazi se u matriksu u vidu zrna veličine od 0,2 mm, ali i u nakupinama s pojedinačnim zrnima hornblende veličine do 1,3x2,7 mm. Krupnija zrna hornblende mjestimično sadrže *klinopiroksen* u jezgri, što ukazuje na sekundrani postanak hornblende potiskivanjem primarnog

magmatskog klinopiroksena. Hornblenda je prisutna i unutar plagioklasa, gdje joj je veličina <0,1 mm. Unutar osnovne mase nalaze se nakupine gotovo ekvidimenzionalnih hornblenda, pri čemu je veličina nakupina oko 1 mm, a pojedinačnih zrna od 0,05 do 0,09 mm. Unutar fenokristala plagioklasa prisutne su i mikropukotine u kojima se nalaze sitna zrna hornblende veličine od 0,05 do 0,1 mm.



Slika 7.50 Porfiroidni hornblenda dijabaz s nakupinom fenokristala plagioklasa (Pl) u kojoj se nalazi pukotina ispunjena sitnim zrnima hornblende (Hbl). Na slici su vidljivi i sitni listići biotita (Bt). Lacići-1A, J-3, interval 2402-2403,1 m. N+

Biotit veličine do 0,15 mm, ima izražen svijetlo do tamnosmeđi pleokroizam i anhedralan habitus. Uglavnom je prisutan u nakupinama s hornblendom. Djelomično je kloritiziran.

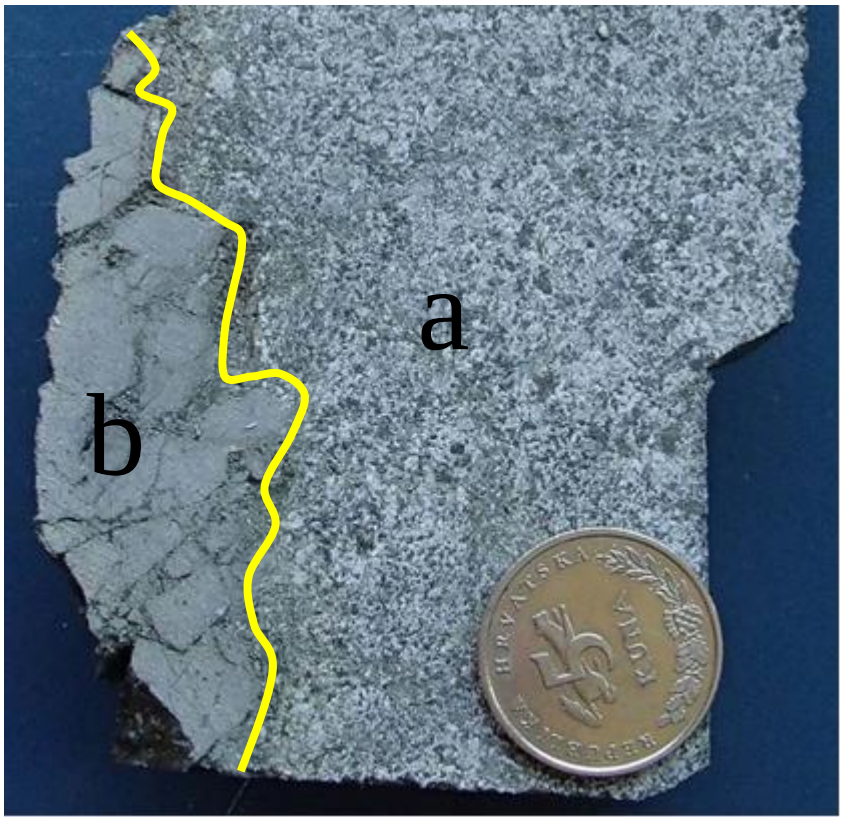
Kvarc, veličine ispod 0,1 mm, ima anhedralan habitus. Pojavljuje se sporadično u osnovnoj masi.

Ortoklas, veličine do 0,4 mm, također ima anhedralan habitus. Asociran je s nakupinama krupnijih zrna hornblende. Dijelom je alteriran u minerale glina, anhedralan, veličine do 0,4 mm.

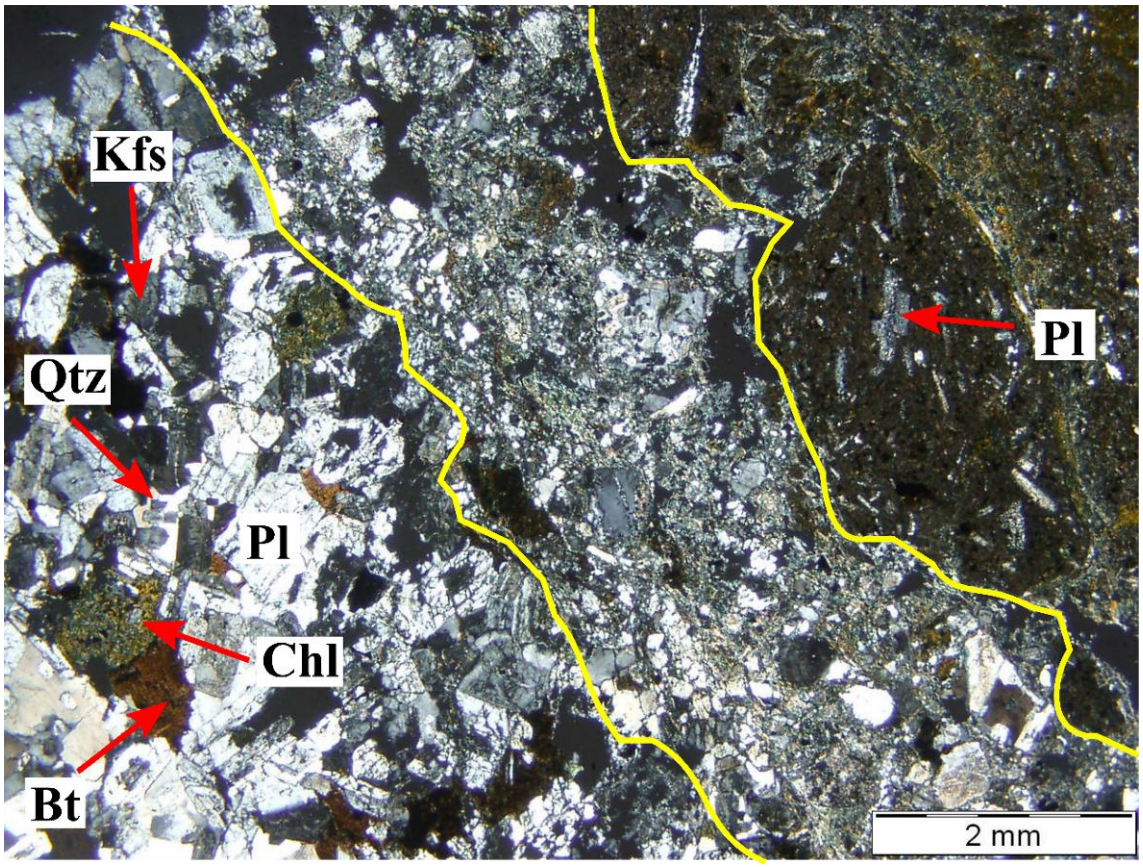
Ilmenit, veličine do 0,1 mm, subhedralnog je do anhedralnog habitusa. *Apatit*, dužine do 0,08 mm, ima štapićast, euhedralan habitus.

Klorit je najviše zastupljen sekundarni mineral, a prisutan je kao alteracijski produkt plagioklasa, hornblende i biotita. *Sericit* i *minerali glina* nastali su alteracijom plagioklasa. Kalcit se nalazi u pukotinama, ali ponekad i unutar zrna plagioklasa. *Titanit*, veličine do 0,4 mm je subhedralan do anhedralan, ponekad intersticijski. Sekundarnog je postanka i vjerojatno je alteracijski produkt ilmenita.

Bazaltni andezit se nalazi u kontaktu s granodioritom (**Slika 7.51**). Sama kontaktna zona (**Slika 7.52**), koja je tektonizirana, sastoji se od fragmenata granodiorita i bazaltnog andezita između kojih se nalazi matriks, sastavljen od sericita, klorita i aktinolita. Na primarni magmatski kontakt upućuje konveksno-konkavan rub bazaltnog andezita, kao i pukotine okomite na spomenuti rub. Ovakve pukotine obično nastaju kao posljedica brzog hlađenja.



Slika 7.51 Kontakt između granodiorita (a) i bazaltnog andezita (b). Bazaltni andezit sadrži pukotine koje mogu biti posljedica brzog hlađenja. Obod-34, J-19, interval 2407 – 2413,49 m.



Slika 7.52 Kontakt između granodiorita (dolje lijevo) i bazaltnog andezita (gore desno). Sama kontaktna zona izdvojena je žutim linijama. U granodioritu su prepoznatljivi plagioklas (Pl), ortoklas (Kfs), kvarc (Qtz), biotit (Bt) i sekundarni klorit. U raspucalom bazaltnom andezitu vidljivi su štapićasti fenokristali plagioklasa (Pl). Obod-34, J-19, interval 2407 – 2413,49 m. N+

Bazaltni andezit je oligoporfirne strukture (**Slika 7.53**), s fenokristalima plagioklasa u osnovnoj masi. Osnovna masa je rekristalizirana i alterirana te se sastoji od sekundarnih minerala aktinolita, klorita, kvarca i titanita.

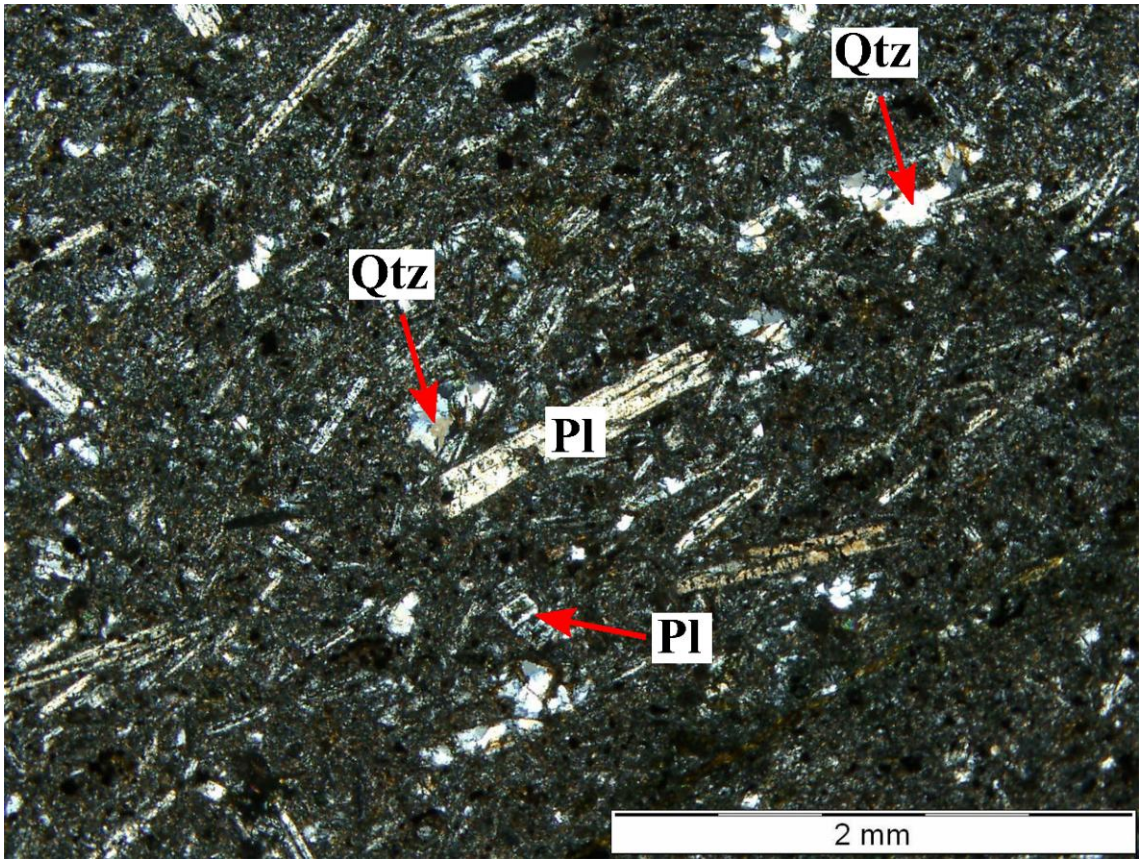
Plagioklas, dimenzija od 0,1 do 1,1 mm, ima razvijen subhedralan, štapićast habitus. Prisutan je kao fenokristal te kao sastavni dio osnovne mase. Velikim dijelom plagioklas ima skeletalnu građu. Djelomično je alteriran u klorit i u prehnit/sericit.

Aktinolit, veličine do 0,2 mm, anhedralnog je habitusa i nalazi se unutar osnovne mase. Ima izražen svijetlo do tamnozeleni pleokroizam.

Kvarc, dimenzija pojedinačnih zrna manjih od 0,1 mm, ima anhedralan habitus (**Slika 7.53**). Uglavnom je prisutan kao polikristalni kvarc nepravilnog oblika, s unduloznim potamnjenjem, veličine do 0,4 mm.

Titanit, veličine ispod 0,1 mm, ima anhedralan habitus. Nalazi se raspršen unutar stijene i vjerojatno je produkt alteracije ilmenita.

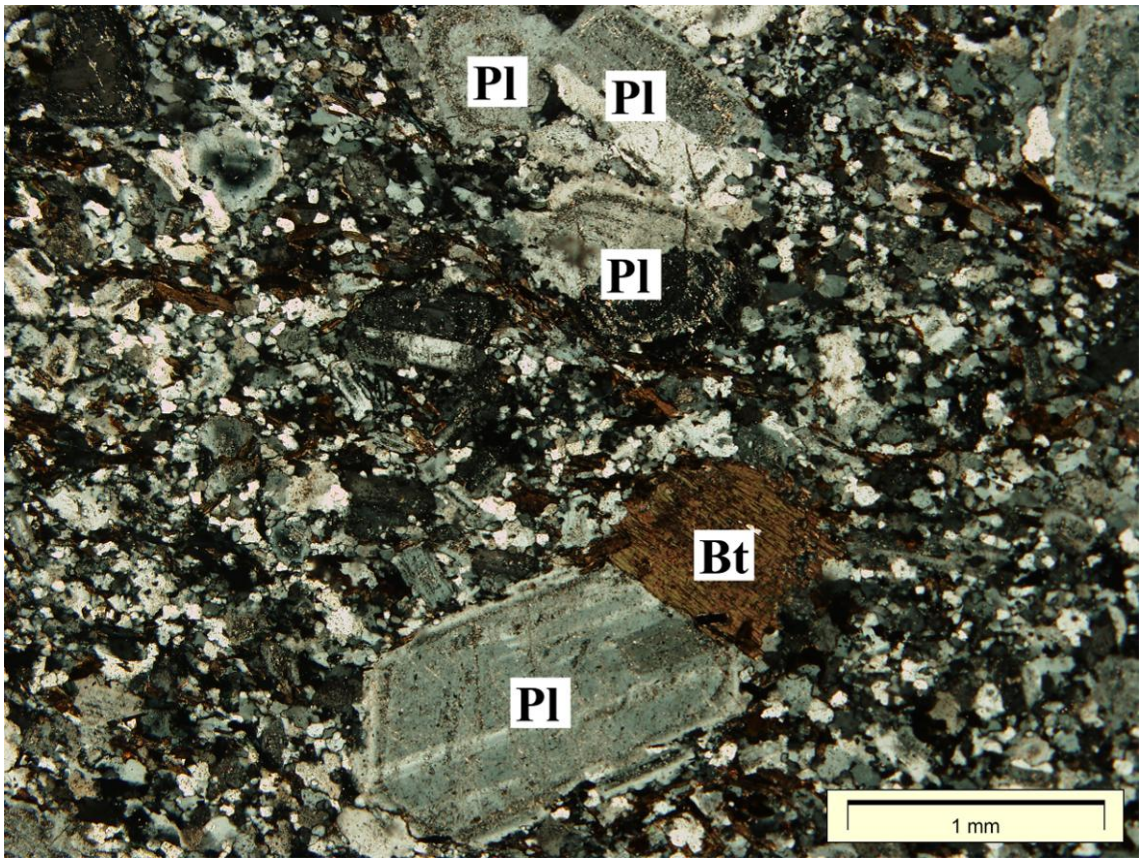
Klorit se nalazi u formi agregata u osnovnoj masi i vjerojatno je nastao alteracijom, odnosno devitrifikacijom vulkanskog stakla.



Slika 7.53 Bazaltni andezit sa sitnim fenokristalima štapićastog plagioklasa (Pl) skeletalne strukture. Stijena sadrži i sekundrani kvarc (Qtz). Obod-34, J-19, interval 2407-2413,49 m. N+

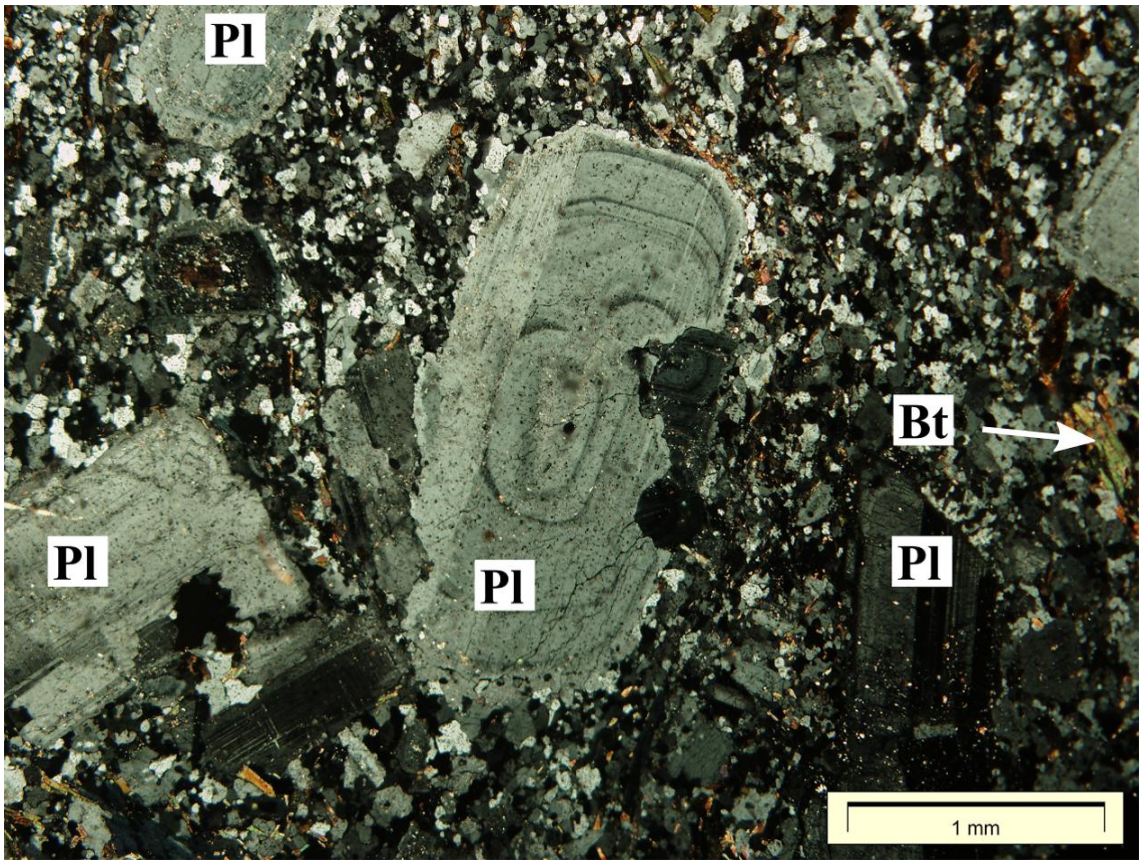
Holokristalni dacit sastoji se od bijelih i sivih fenokristala u tamnosivome matriksu (**Slika 7.54**). Stijena sadrži plagioklas (50%), kvarc (25%), K-feldspat (20%) i biotit (5%). Akcesorni minerali su apatit i cirkon. Sekundarni minerali su klorit, sericit i karbonat. Stijena ima porfirnu do glomeroporfirnu strukturu s 25 do 30% fenokristala plagioklasa i 3-5% fenokristala biotita.

Slika 7.54 Holokristalni dacit.Vidljivi su bijeli fenokristali plagioklasa u tamnoj osnovnoj masi. Lacići-1S, J-9, interval 3000 – 3001,5 m.



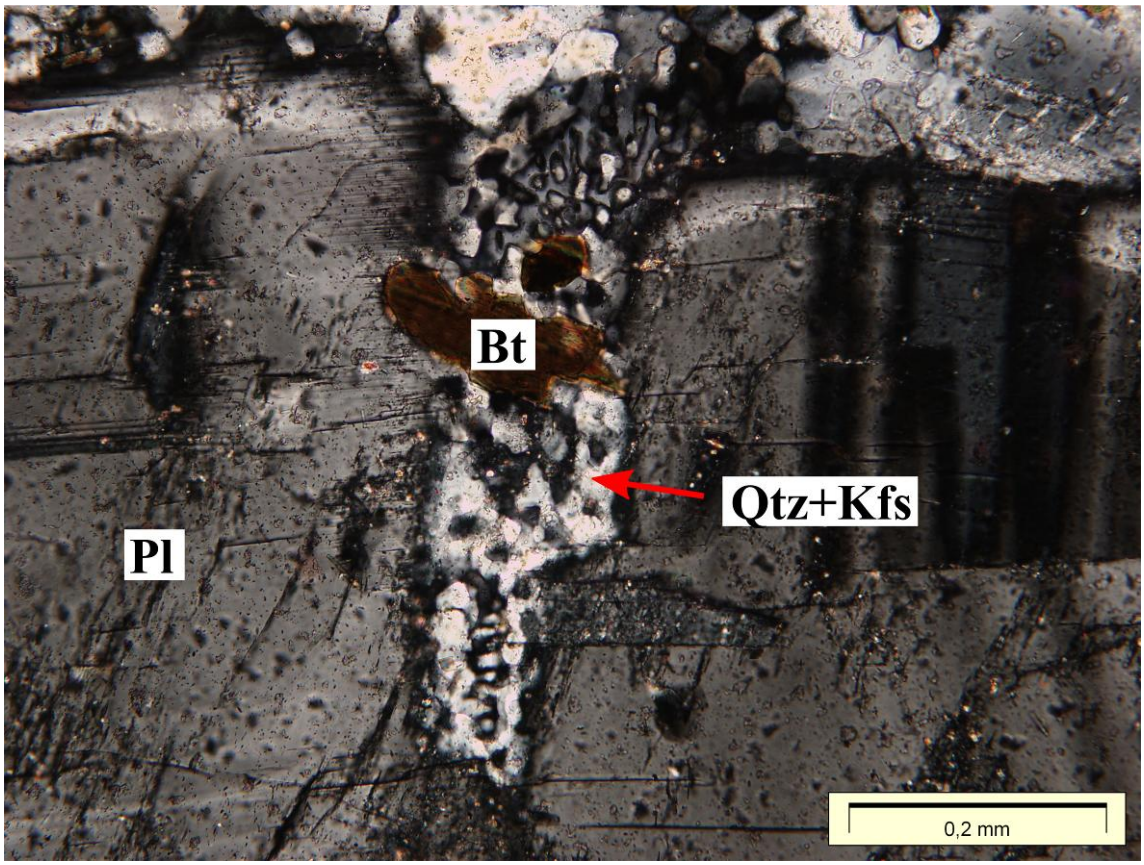
Slika 7.55 Fenokristali plagioklasa (Pl) i biotita (Bt), mjestimično formiraju nakupine. Lacići-1S, J-9, interval 3000 – 3001,5 m. N+

Plagioklas se uglavnom pojavljuje kao prizmatični fenokristal veličine 0,6x1 do 1,3x4 mm. Zonalne je građe, oscilatorno zonalne, često s izraženim polisintetskim sraslačkim lamelama, uglavnom aglomeriran (**Slika 7.55**). Ponekad su zonalna zrna kompozitna, s dvije jezgre koje imaju zajednički rub (**Slika 7.56**). Također su uočeni razlomljeni fenokristali unutar kojih kristalizira novi zonalni fenokristal plagioklasa. Unutar pojedinih fenokristala nalaze se klinaste pukotine u kojima se nalazi K-felspat, kvarc i biotit, a ponekad čak i grafičko proraštanje kvarca i K-feldspata (**Slika 7.57**). Plagioklas je djelomično sericitiziran i kaolinitiziran, mjestimično po pukotinama kalavosti, a mjestimično po optičkim zonama. Plagioklas u osnovnoj masi, veličine 0,05x0,2 mm, također je zonalne građe i karakteriziran polisintetskim sraslačkim lamelama. Uglavnom je prizmatičnog habitusa, pri čemu su plagioklasne prizme posložene međusobno paralelno te paralelno s listićima biotita.



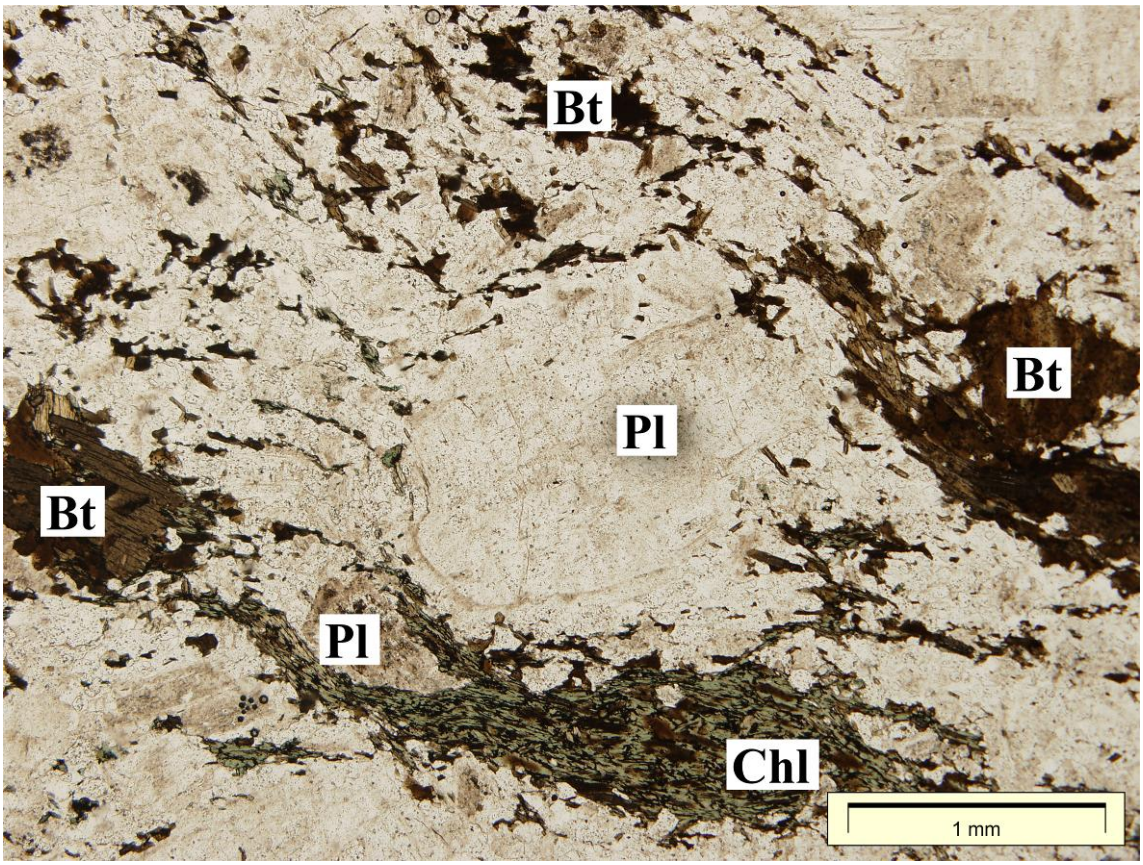
Slika 7.56 Fenokristali plagioklasa (Pl) i biotit (Bt) unutar osnovne mase. Fenokristal plagioklasa u sredini slike ima dvostruku jezgru sa zajedničkim rubom te pukotinu na lijevom rubu unutar koje se nalazi manji zonalni plagioklas. Lacići-1S, J-9, interval 3000 – 3001,5 m. N+

Kvarc i K-feldspat nalaze se unutar osnovne mase, s veličinom zrna uglavnom do 0,2 mm. Uglavnom međusobno granofirski proraštaju, mjestimice su asocirani i s plagioklasom ili biotitom, a granofirska proraštanja kvarca i K-feldspata uočena su i u pukotinama unutar fenokristala plagioklasa. U stijeni su prisutne i žilice, širine maksimalno 0,5 mm, a koje se sastoje od kvarca i K-feldspata, mjestimice čak i mirmekita.



Slika 7.57 Pukotina u fenokristalu plagioklasa (Pl) unutar koje je vidljivo granofirsko prorastanje kvarca i K-feldspata (Qtz+Kfs) kao i anhedralni listići biotita (Bt). Lacić-1S, J-9, interval 3000 – 3001,5 m. N+

Biotit se pojavljuje u formi fenokristala i kao sastavni dio matriksa. Fenokristali, veličine do 0,8x1,3 mm, zaobljenog su habitusa, ali ne pokazuju znakove krtih deformacija, nego samo blago undulozno potamnjenje. Biotit u osnovnoj masi, veličine oko 0,05x0,2 mm često je preferirano orijentiran i čini diskontinuirane vrpce koje su povijene oko fenokristala (**Slika 7.58**). Listići biotita na pojedinim mjestima formiraju ekvidimenzionalne nakupine veličine do 1,5 mm. Biotit je mjestimice i uklopljen u plagioklasu. Pokazuje svijetlo do tamno smeđi pleokroizam. Mjestimice je kloritiziran, a rijetko sadrži lećasti karbonat izlučen po pukotinama kalavosti. Fenokristali biotita sadrže uklopljena sitna subhedralna zrna i štapiće apatita.



Slika 7.58 Povijanje vrpci biotita (Bt) oko fenokristala plagioklasa (Pl). Vidljiv je i klorit (Chl), kao produkt alteracije biotita. Laci-1S, J-9, interval 3000 – 3001,5 m. N-

Apatit je štapićast, dužine do 0,1 mm, a *cirkon* je euhedralan, veličine do 0,03 mm. *Opàki mineral* je anhedralan, veličine ispod 1 mm.

Sericit nastaje alteracijom fenokristala plagioklasa. *Klorit* je prisutan u vidu pseudomorfoza po listićima biotita. *Karbonat* se nalazi unutar pukotina.

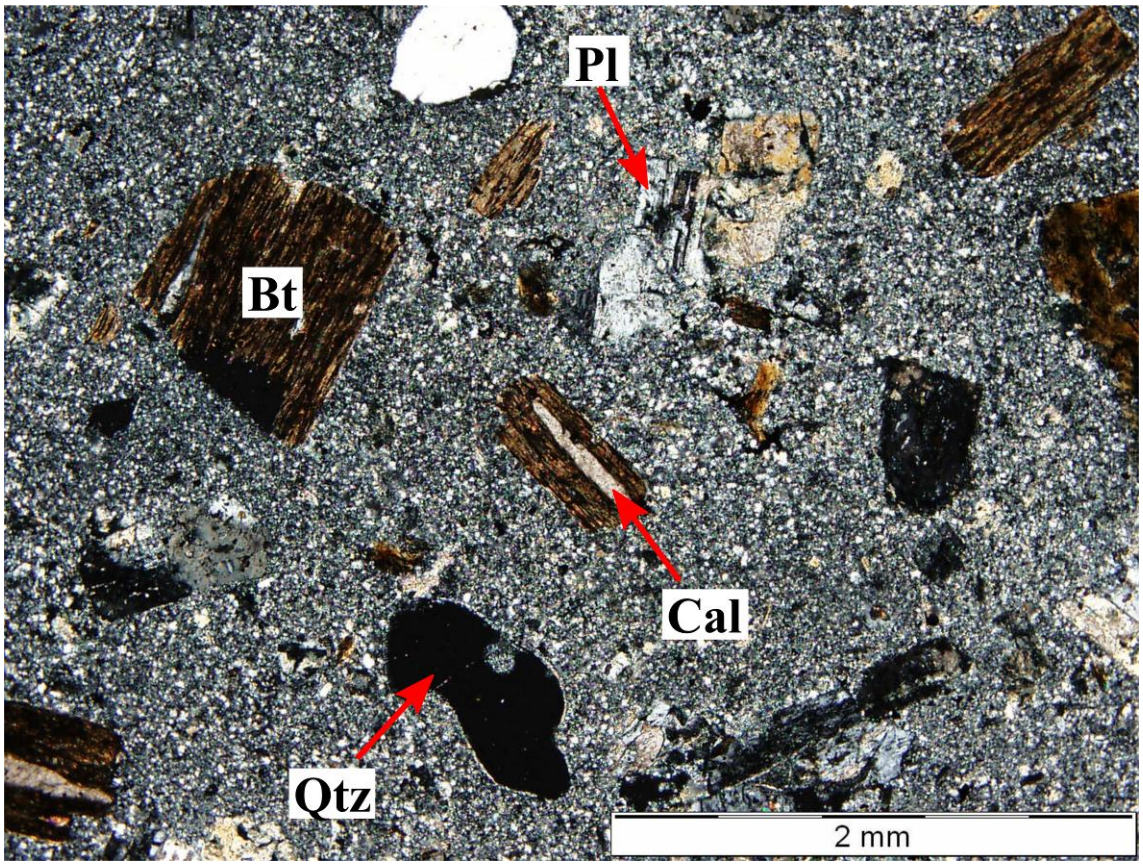
Dacit je leukokratna stijena zelenosive boje, porfirne strukture (**Slika 7.59**). Sastoji se od fenokristala plagioklasa, sanidina, biotita i kvarca u rekristaliziranoj kvarc-sericitnoj osnovi (**Slika 7.60**). Akcesorni minerali su opaki mineral, cirkon i apatit. Sekundarni minerali su klorit, kalcit i sericit. Fenokristali plagioklasa, sanidina, biotita i kvarca čine oko 25 vol.% stijene.

Slika 7.59 Leukokratni dacit porfirne strukture. Bušotina Lacić-1, J-10, interval 3323,5-3326 m.

Plagioklas, dimenzija od 0,5 do 1,8 mm, ima razvijen subhedralan, prizmatičan habitus. Karakteriziraju ga izražene polisintetske sraslačke lamele i blago izražena zonalna građa. Alteriran je u albit i kalcit. Pojedini fenokristali sadrže mikropukotine ispunjene kloritom te sericitom. Mjestimično ima sitastu građu, s alteriranom jezgrom i svježim rubom te sitnim uklopcima opakog minerala i vulkanskog stakla.

Biotit, veličine od 0,2 do 2,0 mm, ima subhedralan habitus. Pokazuje svijetlo do tamnosmeđi pleokroizam. Mjestimično sadrži uklopke cirkona. Velikim dijelom je kloritiziran, s brojnim uklopcima titanita, a po pukotinama kalavosti mjestimično sadrži iskristalizirani kalcit ili kvarc.

Sanidin, dimenzija od 0,2 do 0,6 mm ima subhedralan, kratkoprizmatičan habitus. Sadrži vrlo tanke, gotovo submikroskopske eksolucijske lamele albita. Djelomično je sericitiziran i kloritiziran, a mjestimično je nepravilno kalcitiziran.



Slika 7.60 Porfirni dacit s fenokristalima biotita (Bt), kvarca (Qtz) i plagioklasa (Pl). Sekundarni kalcit (Cal) kristalizira po plohama kalavosti u biotitu. Lacić-1, J-10, interval 3323,5-3326 m. N+

Kvarc, veličine od 0,2 do 1,4 mm, subhedralnog je habitusa. Ima homogenu unutarnju građu. Pojedina zrna sadrže intrakristalne mikropukotine. Velikim dijelom je karakteriziran zaljevastim udubljenjima (engl. *embayment*) te sadrži uklopke osnovne mase.

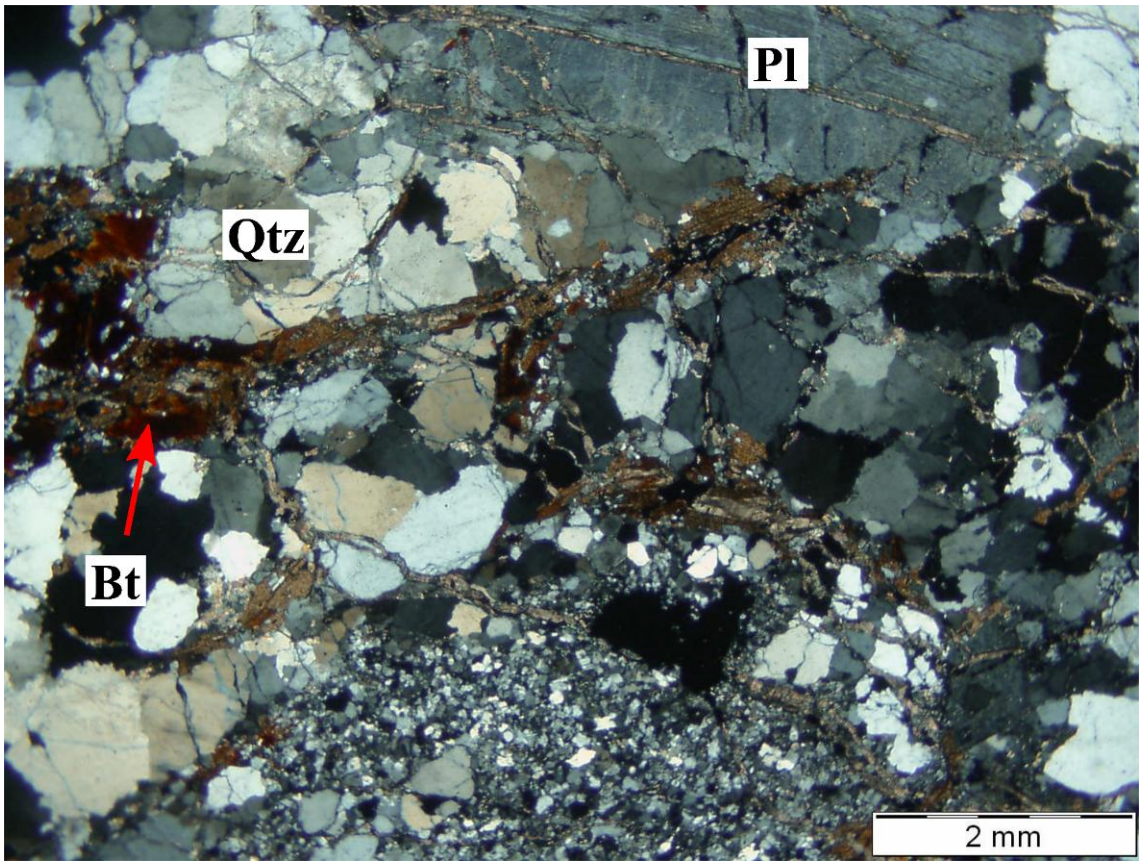
Opàki mineral je veličine ispod 0,1 mm, subhedralnog je habitusa. Ravnomjerno je raspoređen u osnovnoj masi.

Cirkon se pojavljuje u vidu vrlo sitnih uklopaka unutar biotita, a *apatit* u formi euhedralnih štapića uklopljenih u fenokristalima plagioklasa.

Gnajs se sastoji od plagioklasa (30-40%), ortoklasa (25-35%), kvarca (20-30%) i biotita (3-5%) te akcesornog apatita i cirkona. Sekundarni minerali su kalcit, klorit, sericit i minerali glina. Stijena je u velikoj mjeri kataklazirana pa je tek mjestimično izražena primarna škriljava tekstura (**Slika 7.61**). Struktura stijene je porfiroklastična. Na pojedinim mjestima prepoznatljiva je izmjena krupnozrnatih (veličina zrna >0,2 mm) i sitnozrnatih (veličina zrna <0,2 mm) domena. Granice između zrna u pravilu su ameboidne.

Slika 7.61 Gnajs. Bušotina Obod-34, J-20, interval 2413,5 – 2417,3 m.

Plagioklas, veličine do 2 mm, karakteriziran je prizmatičnim habitusom i polisintetskim sraslačkim lamelama. Prisutan je i kao porfiroklast (**Slika 7.62**), ali i unutar sitnozrnatog matriksa. Sadrži uklopke biotita. Djelomično je alteriran u sericit i/ili minerale glina.



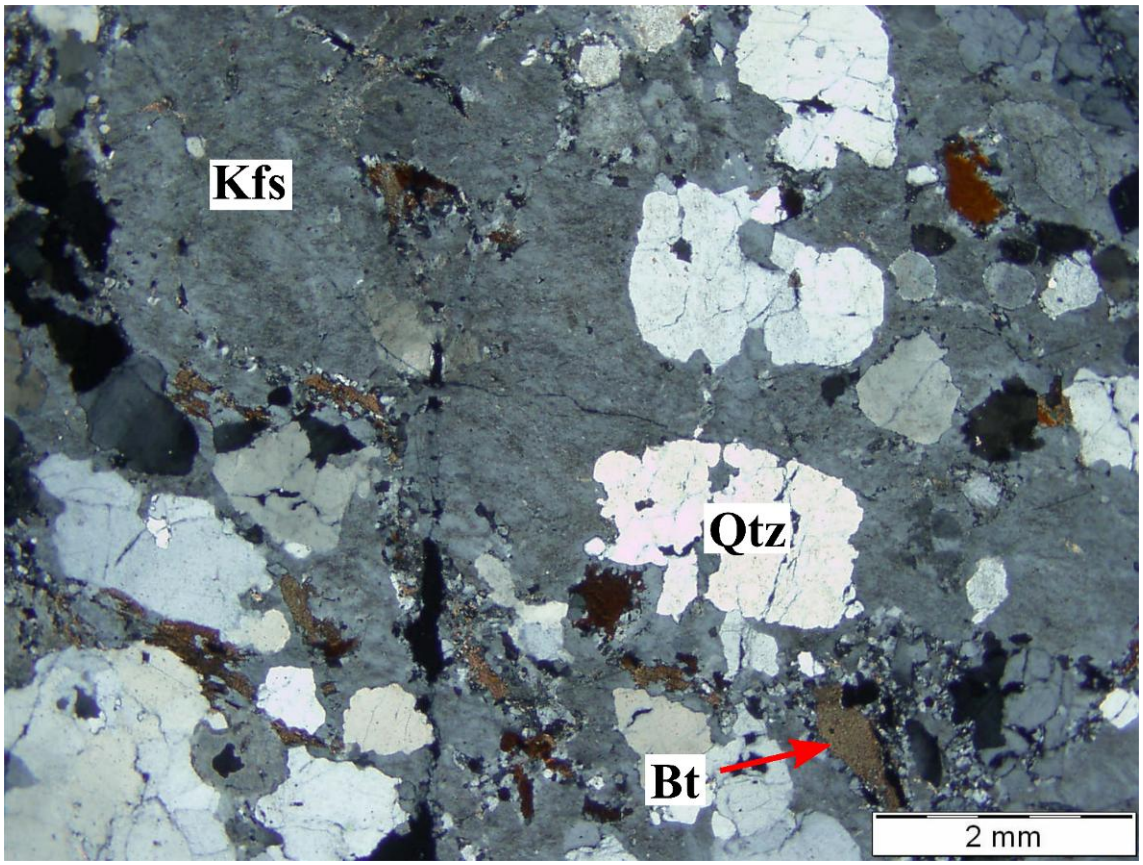
Slika 7.62 Porfiroklast plagioklasa (Pl), agregat kvarca (Qtz) i biotit (Bt). U donjem dijelu slike vidljiva je sitnozrnata domena. Obod-34, J-20, interval 2413,5 – 2417,3 m. N+

Ortoklas, veličine do 4 mm, ima anhedralan habitus. U stijeni je prisutan u vidu porfiroklasta, ali i unutar sitnozrnatijeg matriksa. Porfiroklasti ortoklasa uklapaju zrna plagioklasa, kvarca i biotita (**Slika 7.63**). Djelomično je alteriran u sericit i/ili minerale glina.

Kvarc, veličine do 1,5 mm, ima anhedralan habitus. Uglavnom je prisutan u vidu agregata s ameboidnim granicama između zrna (**Slika 7.62** i **7.63**). Ima izraženo undulozno potamnjenje i pokazuje razvoj različitih optičkih domena unutar jednog zrna.

Biotit, dimenzija do 0,5 mm, ima anhedralan habitus. Pleokroizam biotita je svijetlo do tamnosmeđi. Uglavnom je prisutan u domenama škriljavosti (**Slika 7.62**), a nalazi se i raspršen u stijeni (**Slika 7.63**). Djelomično je alteriran u klorit.

Apatit je u formi anhedralnih zrna, veličine do 0,2 mm, a *cirkon* se pojavljuje kao euhedralni kristal dužine do 0,1 mm.



Slika 7.63 Porfiroklast ortoklasa (Kfs) koji uklapa kvarc (Qtz) i biotit (Bt). Obod-34, J-20, interval 2413,5 – 2417,3 m. N+

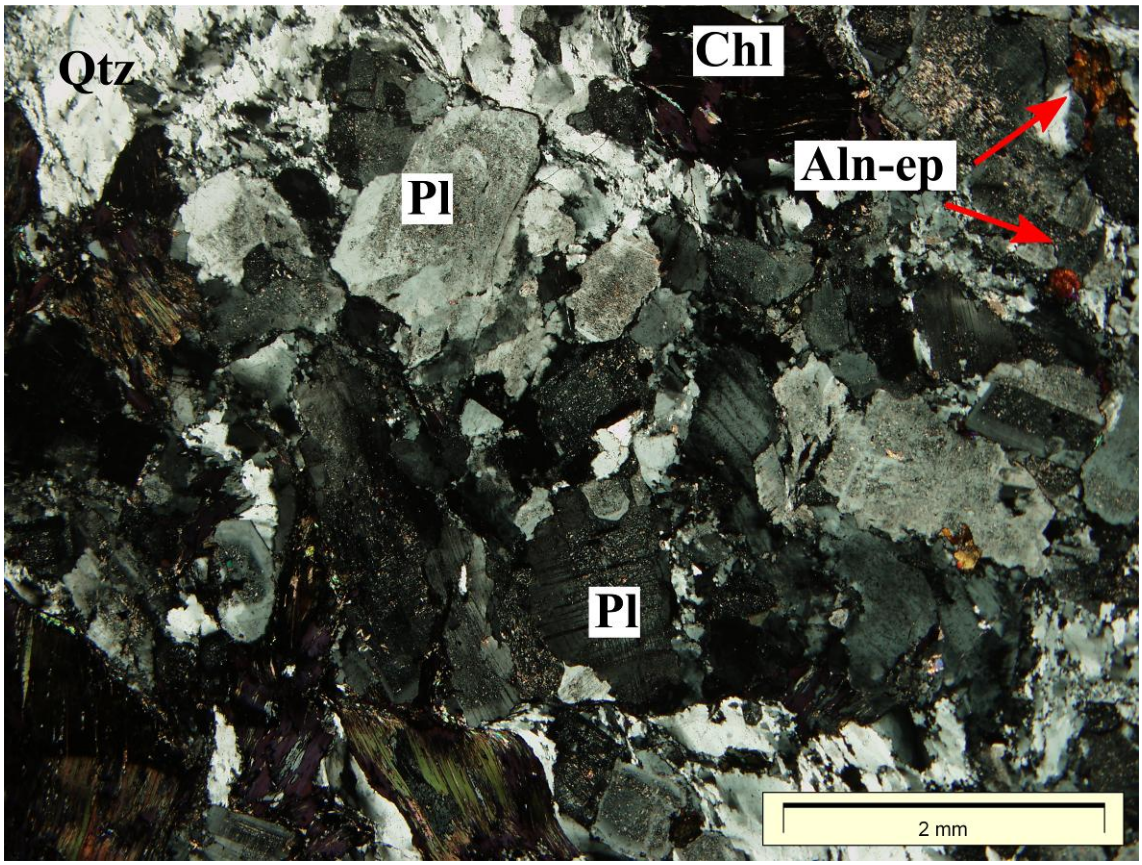
Kalcit je prisutan kao ispuna pukotina, *klorit* kao alteracijski produkt biotita, a *sericit* i *minerali glina* kao alteracijski produkti plagioklasa i ortoklasa.

7.2.2. Milonitni gnajs bušotine Marjanci-4

Milonitni gnajs iz bušotine Marjanci-4 mezokratna je stijena. Tekstura stijene je škriljava, a struktura porfiroklastična, okcasta (**Slika 7.64**). Stijena se sastoji od plagioklasa (40%), kvarca (30%), K-feldspata (15%), biotita (12%), allanita i epidot-allanita (3%), akcesornih apatita, cirkona i magnetita, te sekundarnog klorita, sericita i karbonata.

Slika 7.64 Milonitni gnajs. Marjanci-4, J-9, interval 3571 – 3571,5 m.

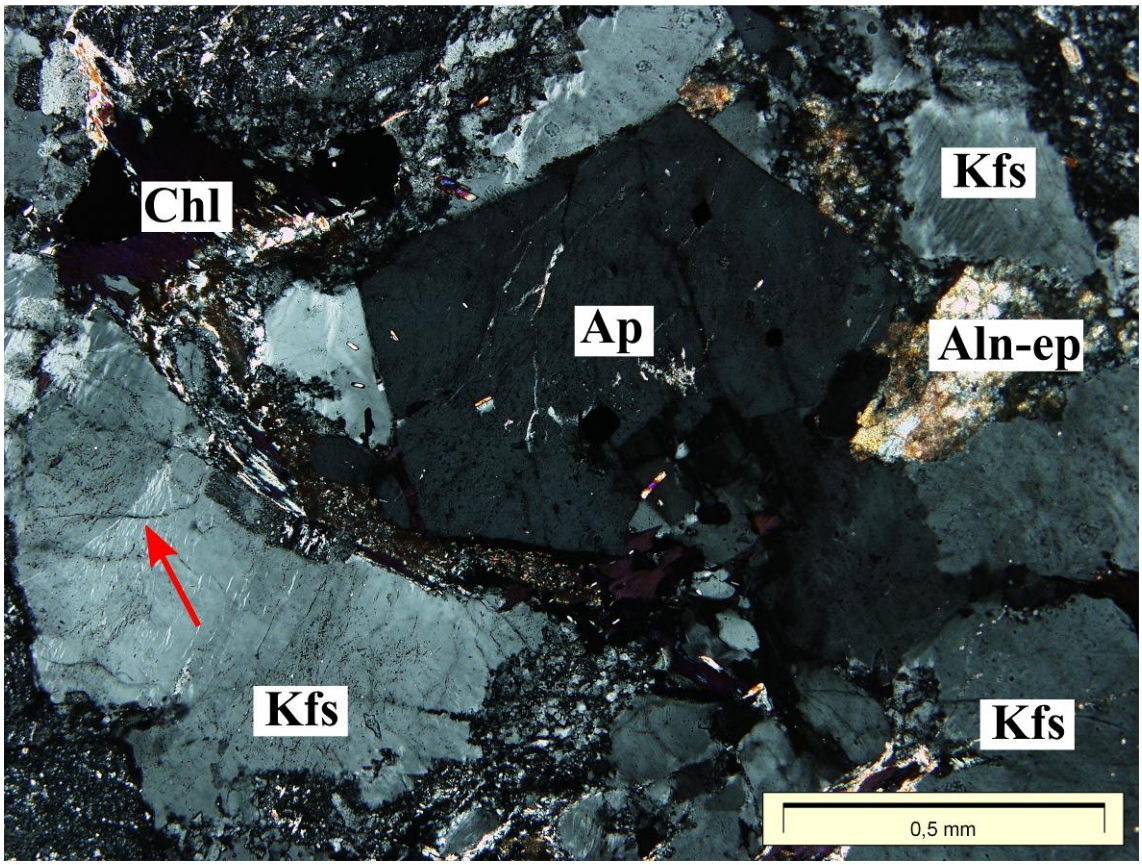
Plagioklas, veličine od 0,4 mm do 2,5 mm, ima blago izraženu zonalnu građu (**Slika 7.65**), pri čemu zone često pokazuju različit intenzitet sericitizacije. U pravilu, zrna plagioklasa imaju svježi rub. Većina zrna ima polisintetske sraslačke lamele. Zrna su kratkoprizmatična, ahhedralnog habitusa, a u zonama intenzivnijih deformacija vrlo često su zaobljena. Mjestimično je izražena distorzija i savijenost sraslačkih lamela. Plagioklas, osim sericita, sadrži uklopljen allanit-epidot i klorit, zatim biotit, a mjestimice i zonalni resorbirani allanit. Na kontaktu sa zrnima K-feldspata mjestimično su uočljiva mirmekitna proraštanja plagioklasa i kvarca.



Slika 7.65 Zonalni plagioklas (Pl), dinamički rekristalizirani kvarc (Qtz), savijeni listići klorita (Chl) i allanit-epidot (Aln-ep) u milonitnom gnajsu. Marjanci-4, J-9, interval 3571 – 3571,5 m. N+

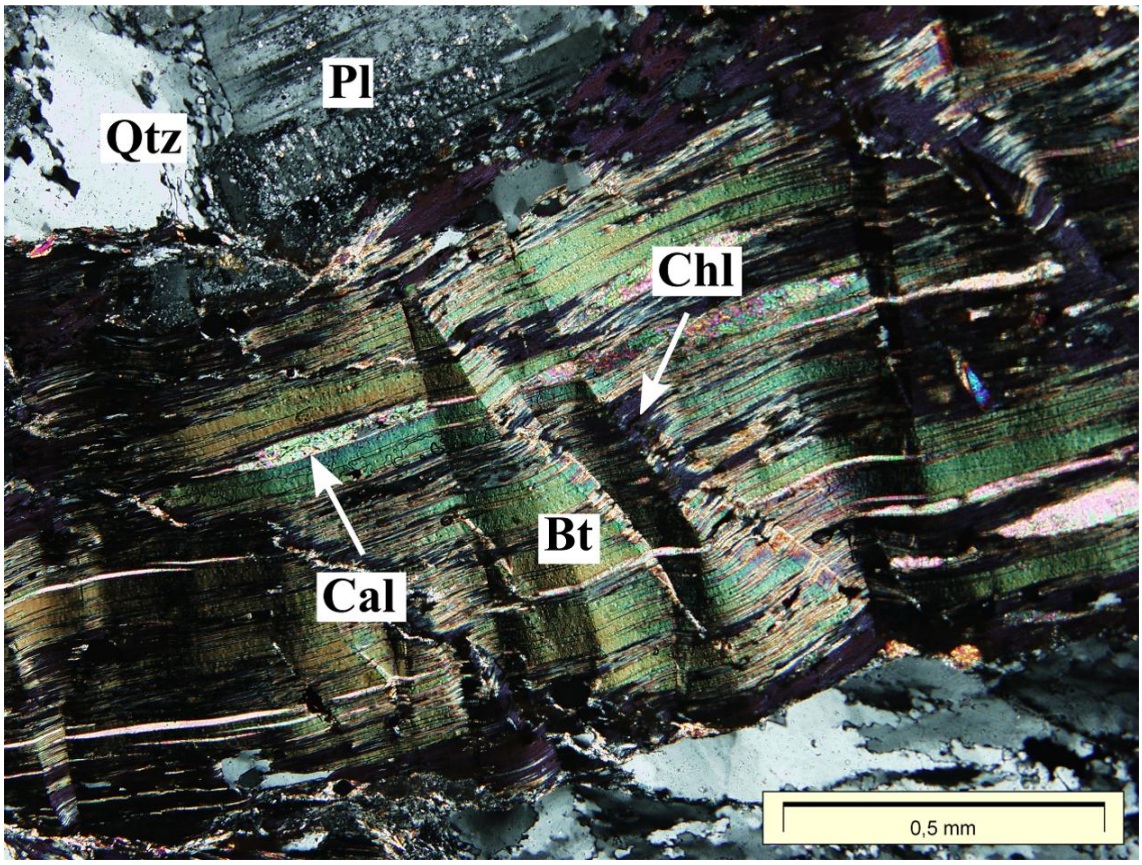
K-feldspat, veličine od 0,5 do 2 mm, anhedralnog je habitusa (**Slika 7.65**). Izrazito je deformiran, s unduloznim potamnjenjem i nepravilnim lamelama albita. U odnosu na plagioklas je svježi.

Kvarc, anhedralnog habitusa, ima raspon veličine zrna od 0,05 do 1,5 mm. Uglavnom se pojavljuje u formi polikristalnih agregata u kojima veličina zrna varira. Veća zrna kvarca su izrazito izdužena i imaju undulozno potamnjenje, a bočno prelaze u domene sastavljenje od sitnijih zrna novo kristaliziranog kvarca (**Slika 7.65**). Agregati kvarca povijaju se oko većih zrna feldspata. Ovakve karakteristike ukazuju na dinamičku rekristalizaciju stijene.



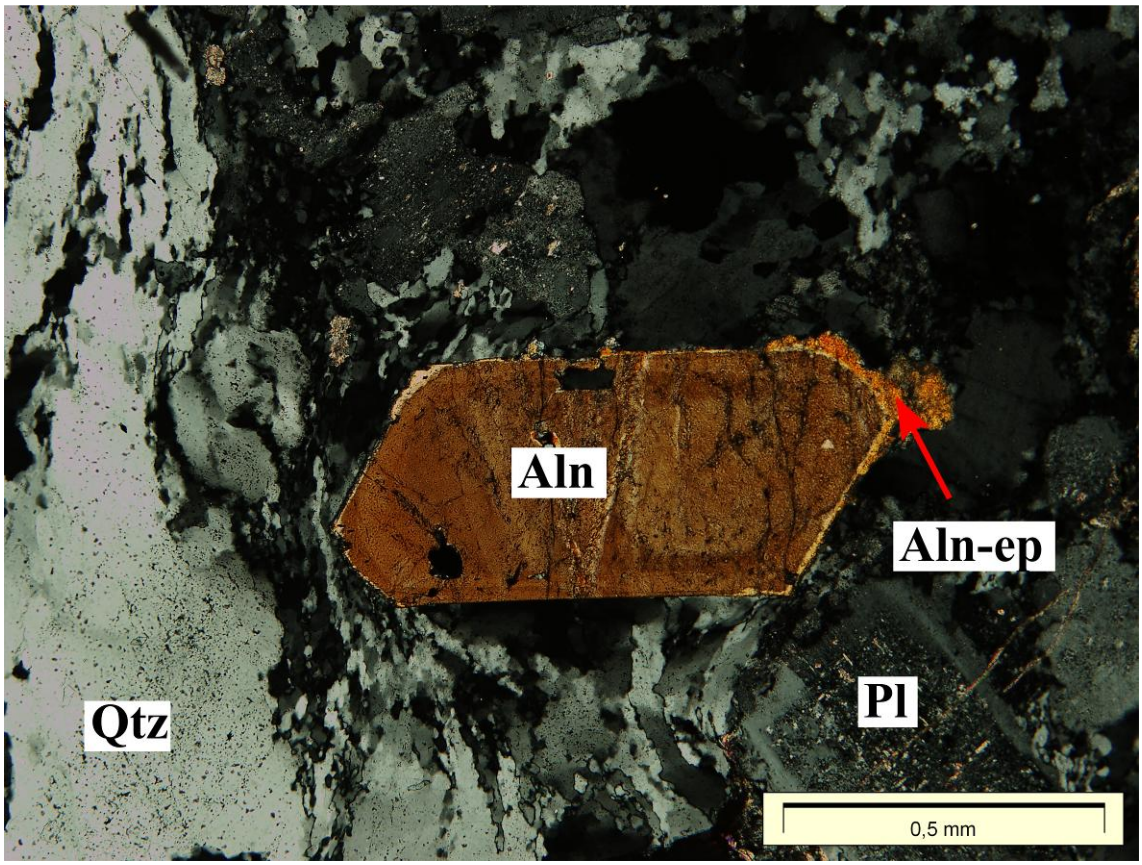
Slika 7.66 K-feldspat (Kfs) s nepravilnim lamelama albita (označeno crvenom strelicom), subhedralni apatit (Ap), allanit-epidot (Aln-ep) i klorit (Chl). Marjanci-4, J-9, interval 3571 – 3571,5 m. N+

Biotit ima formu iskrivljenih (eng. *kink-band*) krupnih listića, veličine od 0,4 do 2 mm (**Slika 7.67**). Velikim dijelom je kloritiziran, s brojnim uklopcima opakih minerala, a mjestimice sadrži i karbonat izlučen po pukotinama kalavosti. Ima izražen svijetlo do tamnosmeđi pleokroizam. Klorit je svijetlozelen, s lavandulasto plavom anomalnom interferencijskom bojom.



Slika 7.67 Iskrivljeni listić biotita (Bt), s kalcitom (Cal) izlučenim po pukotinama kalavosti te kloritom (Chl). Prepoznatljivi su i plagioklas (Pl) i kvarc (Qtz). Marjanci-4, J-9, interval 3571 – 3571,5 m. N+

Allanit, veličine do 0,8 mm, ima subhedralan do euhedralan habitus. Tamnosmeđe je obojen, s blago izraženom zonalnom građom (**Slika 7.68**), a često po rubovima prelazi u bezbojni do blijedosmeđi allanit-epidot.



Slika 7.68 Zonalni euherdalni allanit (Aln) sa sekundarnim allanit-epidotom (Aln-ep). Na slici je vidljiv dinamički deformirani kvarc (Qtz) te plagioklas (Pl) sa sericitiziranom jezgrom i relativno svježim rubom. Marjanci-4, J-9, interval 3571 – 3571,5 m. N+

Allanit-epidot anhedralnog je habitusa. Osim za allanit, uglavnom je vezan za pukotine i vjerojtano je postmagmatskog postanaka.

Apatit, subhedralnog do euhedralnog habitusa, prisutan je u formi kratkoprizmatičnih zrna veličine do 0,6 mm (**Slika 7.66**).

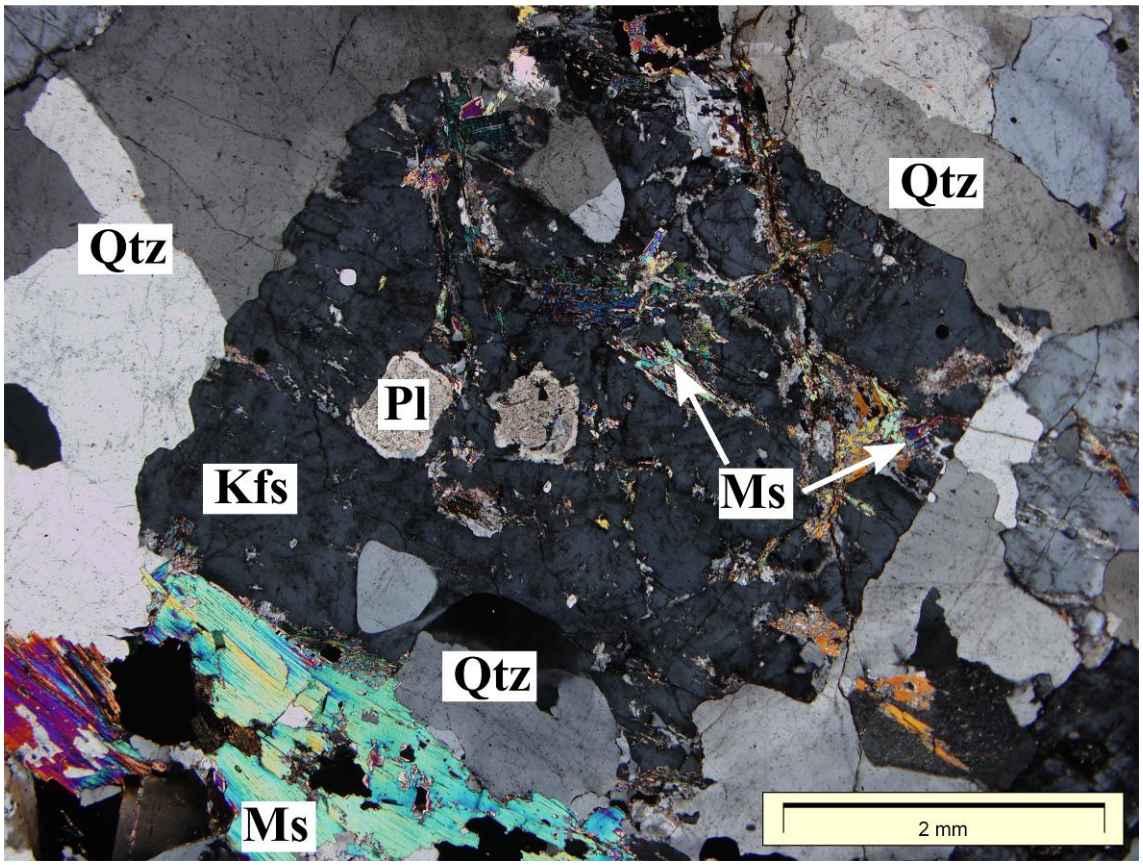
7.2.3. Monzogranit bušotine Osijek-2

Monzogranit bušotine Osijek-2 je leukokratna srednjozrnata stijena, sivkasto bijele boje, s blago izraženom paralelnom teksturom (**Slika 7.69**). Sastoji se od kvarca (40%), plagioklasa (25%), K-feldspata (25%), muskovita (5%), biotita (5 %), akcesornih apatita i cirkona, sekundarnog klorita i sericita. Uzorci koji su pretrpjeli manji intenzitet deformacija imaju alotriomorfnozrnatu strukturu, dok uzorci s izraženijim deformacijskim strukturama imaju širi raspon veličine zrna, nastalih uslijed usitnjavanja primarnih zrna pod utjecajem deformacije. Granice između zrna su nepravilne i često se može uočiti migracija granica zrna koja ukazuje na subsolidusnu rekristalizaciju.

Slika 7.69 Monzogranit s prepoznatljivim bijelim feldspatima, sivim kvarcom i tamnim biotitom. Osijek-2A, J-2, interval 1322,3 – 1326,2 m.

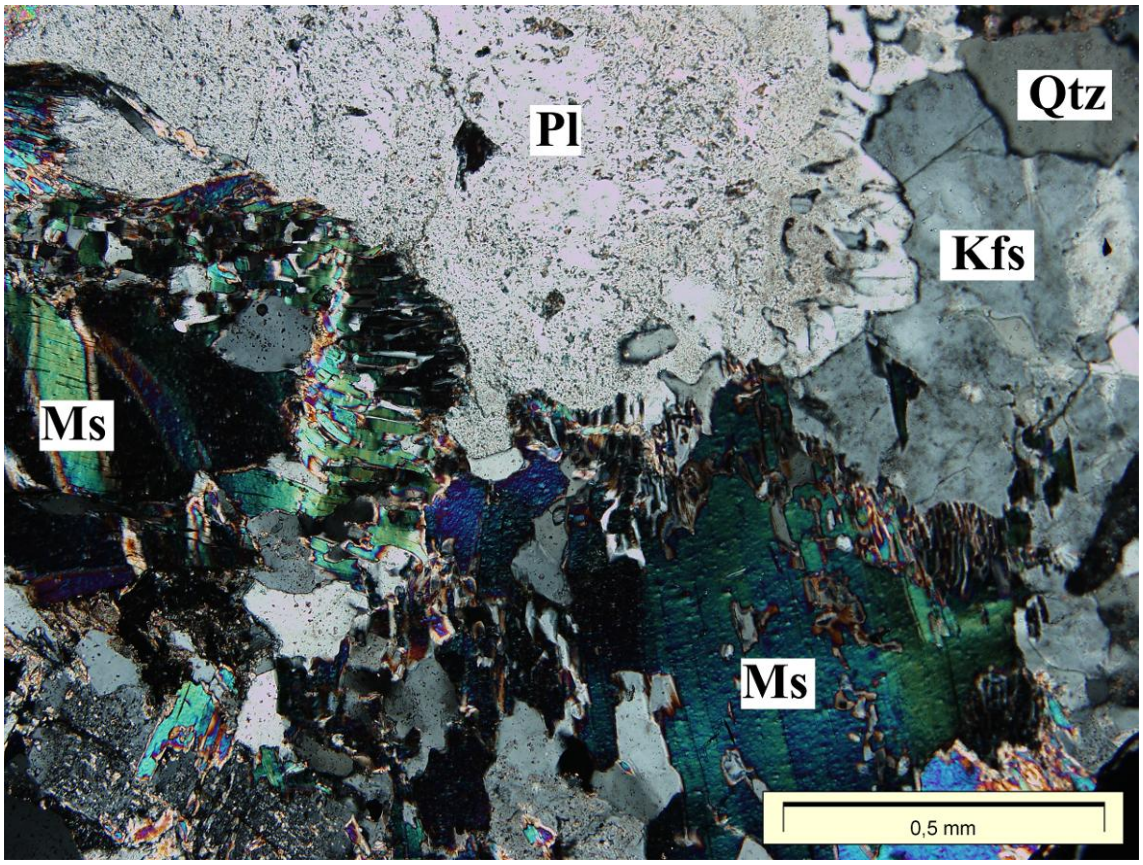
Kvarc, anhedralnog habitusa, ima raspon veličina od 0,2 do 4 mm. U krupnijim zrnima vidljivo je udulozno potamnjenje i segmentacija zrna. Intenzitet segmentacije, kao i raspon veličine zrna kvarca razlikuje se u pojedinim uzorcima i ovisi o stupnju deformacije stijene. Kvarc sadrži brojne fluidne inkluzije.

K-feldspat anhedralnog habitusa, u rasponu je veličine od 0,2 do 5 mm. Izrazito je svjež te ima slabo razvijene rešetkaste sraslačke lamele. Veća zrna sadrže lamele albita, a često imaju u sebi uklopljena sitna zrna plagioklasa, kvarca, muskovita i biotita (**Slika 7.70**). Osim mikroklina prisutan je i ortoklas, koji je djelomično kaolinitiziran. Veličina zrna ortoklasa kreće se između 0,2 i 2 mm.



Slika 7.70 K-feldspat (Kfs) s uklopcima plagioklasa (Pl), kvarca (Qtz) i muskovita (Ms). Osijek-2A, J-2, interval 1322,3 – 1326,2 m. N+

Plagioklas ima anhedralan habitus i raspon veličine zrna od 0,3 do 3 mm. Dijelom je sericitiziran, pri čemu su pojedina zrna karakterizirana tankim, izrazito svježim rubom. U uzorcima koji su pretrpjeli veći intenzitet deformacija, izražena su mirmekitna proraštanja plagioklasa i kvarca po rubovima zrna pertita (**Slika 7.71**), a također je vidljiva i distorzija lamela plagioklasa.



Slika 7.71 Simplektiti muskovita i kvarca na granici između muskovita (Ms) s plagioklasom (Pl) i K-feldspatom (Kfs), mirmekit na granici plagioklasa i K-feldspata. Na slici su vidljiva i zrna kvarca (Qtz). Osijek-2A, J-2, interval 1322,3 – 1326,2 m. N+

Muskovit, duljine od 0,2 do 2 mm, ima anhedralan habitus. Vrlo su česti simplektiti muskovita i kvarca, posebice na rubovima zrna K-feldspata (**Slika 7.71**). U tektoniziranim uzorcima prisutan je i u formi sitnijih listića koji mjestimično formiraju tanke isprekidane domene škriljavosti.

Biotit, anhedralnog habitusa, duljine listića 0,2 do 3 mm, ima izražen svijetli do tamnosmeđi pleokroizam. Uglavnom je djelomično ili potpuno alteriran, blijedosmeđe obojen, s uklopcima sagenita. Kada je kloritiziran, zeleno je obojen. Vidljivi su i uklopci cirkona, s izraženim radioaktivnim halom.

Apatit, veličine od 0,2 do 0,8 mm, anhedralnog je habitusa, a *cirkon*, veličine manje od 0,1 mm subhedralnog je habitusa.

7.2.4. Leukogranit bušotine Torjanski Rid-1

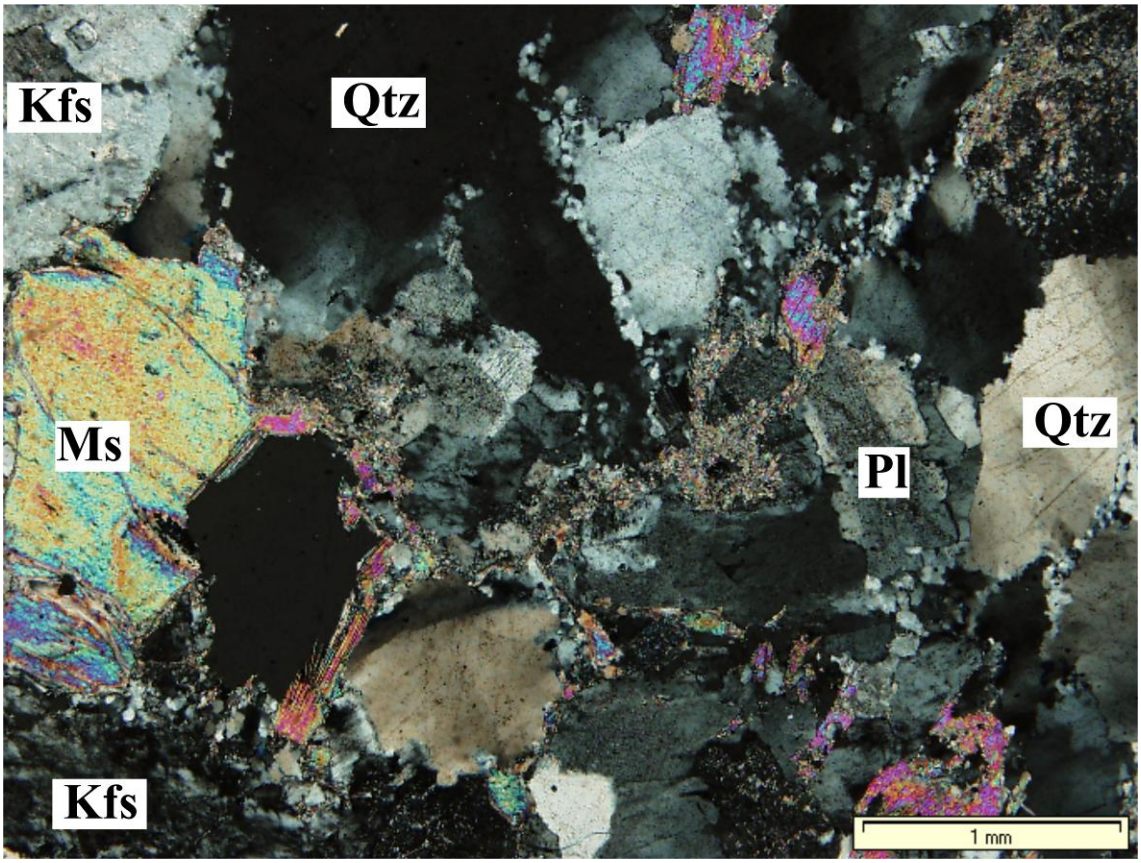
Leukogranit bušotine Torjanski Rid-1 srednjozrnata je stijena s blago izraženom paralelnom teksturom (**Slika 7.72**). Sastoji se od kvarca (40%), albita (30%), K-feldspata (20%), muskovita (10%) te sekundarnog sericita, klorita i minerala glina.

Slika 7.72 Leukogranit. Torjanski Rid-1, J-3, interval 1146 – 1148 m.

Kvarc se pojavljuje u vidu anhedralnih zrna veličine od 0,5 do 2 mm. Pokazuje deformacijske efekte, što je posebno izraženo kod većih zrna koja imaju undulozno potamnjenje. Izražena je i rekristalizacija u agregat sitnozrnatog kvarca. Granice između zrna su neravne, što je posebice izraženo u međusobnom kontaktu s drugim zrnima kvarca, a manje s ostalim mineralima. Veća zrna kvarca često su obavijena agregatom sitnozrnatog kvarca (**Slika 7.73**).

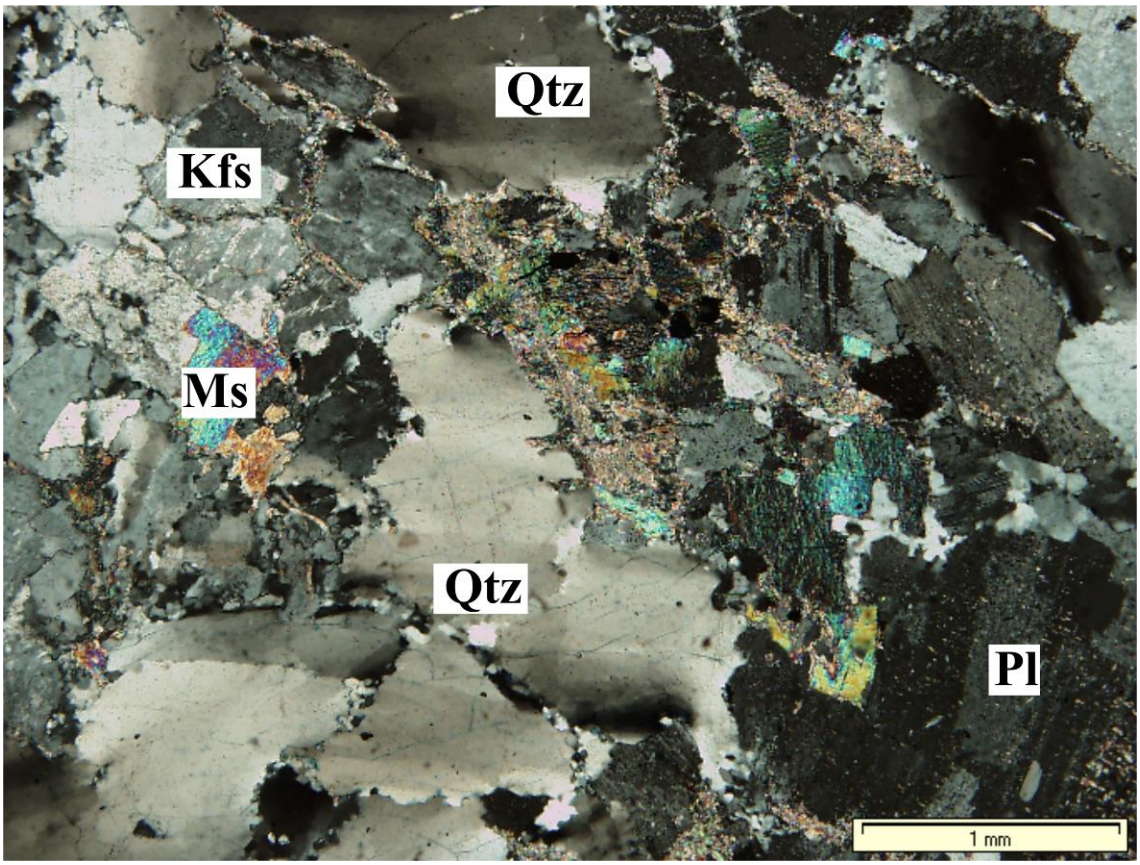
Albit ima anhedralan habitus i raspon veličine od 0,2 do 2 mm. Uglavnom je u manjoj ili većoj mjeri sericitiziran. Vidljivi su efekti migracije granica zrna mehanizmom ispupčivanja (eng. *bulging recrystallisation*) na kontaktu s kvarcom, pri čemu kvarc potiskuje albit. U pojedinim zrnima uočljiva je distorzija lamela.

K-feldspat je uglavnom iste veličine kao i albit, 0,5 do 2 mm. Sadrži eksolucijske lamele albita. Uglavnom je kaolinitiziran i više izmijenjen od albita. Granice zrna pertita su karakterizirane ispupčenjima ukazujući na rekristalizaciju. Mjestimice sadrži „klinove“ kvarca koji se sužavaju od ruba prema središtu.



Slika 7.73 Kvarc (Qtz) s obrubom od mikrokristalastog kvarca, K-feldspat (Kfs), alterirani plagioklas (Pl) i muskovit (Ms). Torjanski Rid-1, J-3, interval 1146 – 1148 m. N+

Muskovit se pojavljuje u formi pojedinačnih anhedralnih listića veličine 0,2 do 1,2 mm, a ponekad u nakupinama veličine do 2 mm. Posebice je izražena rekristalizacija na rubovima listića u okviru koje muskovit na kontaktu s pertitom prodire u kristale pertit, dok na kontaktima s kvarcom, kvarc prodire u muskovit.



Slika 7.74 Kvarc (Qtz) s unduloznim potamnjenjem, K-feldspat (Kfs), trošni plagioklas (Pl) i muskovit (Ms). Torjanski Rid-1, J-3, interval 1133 – 1134,4 m. N+

S muskovitom je ponekad asociran i bezbojni, odnosno blijedosmeđi *klorit*, koji sadrži uklopke rutila i magnetita. Veličina agregata klorita iznosi do 2 mm. *Sericit* se uglavnom javlja na kontaktima između zrna, odnosno kao omotač oko zrna feldspata (**Slika 7.74**) te kao alteracijski produkt u plagioklasima.

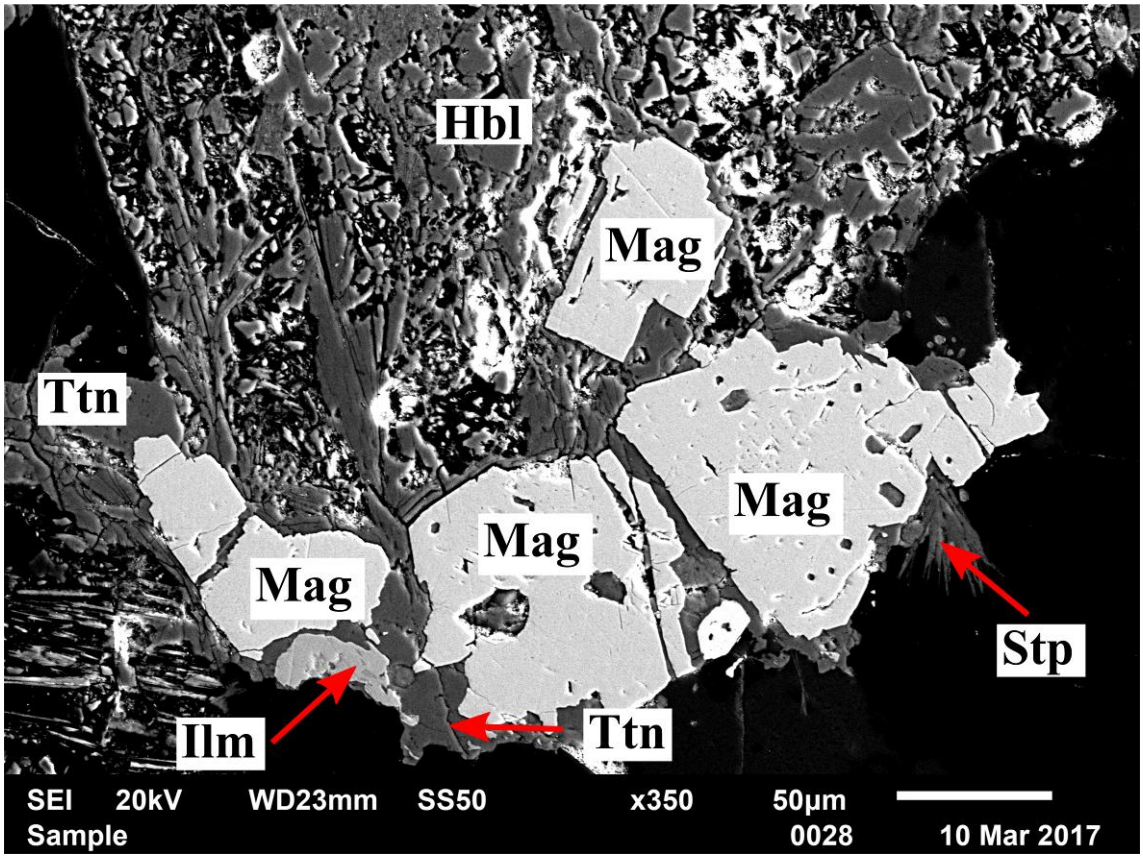
8. SEM ANALIZE

Cilj analiza na skenirajućem elektronskom mikroskopu bio je pobliže odrediti akcesorne minerale u odabranim uzorcima, s posebnim naglaskom na opake minerale. Za SEM analize odabrano je pet uzoraka: alkalijsko-feldspatski granit (Pri-1-5), monzodiorit (Ob-34B), milonitni gnajs (Mar-4-9), monzogranit (Os-2A-2) i leukogranit (TR-1-2).

U uzorku **alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-5)** detektirana je bogata zajednica akcesornih minerala. Prikazane su karakteristike magnetita, ilmenita, titanita, cirkona i apatita te su navedeni i ostali minerali koji se pojavljuju u vrlo malim količinama u stijeni, poput torita, neidentificiranih Nb-Th i Y-faza te galenita i sfalerita. Osim toga, SEM analizom potvrđeno je postojanje nekih minerala koji su definirani standardnom petrografskom analizom, poput stilpnomelana, allanita i fluorita.

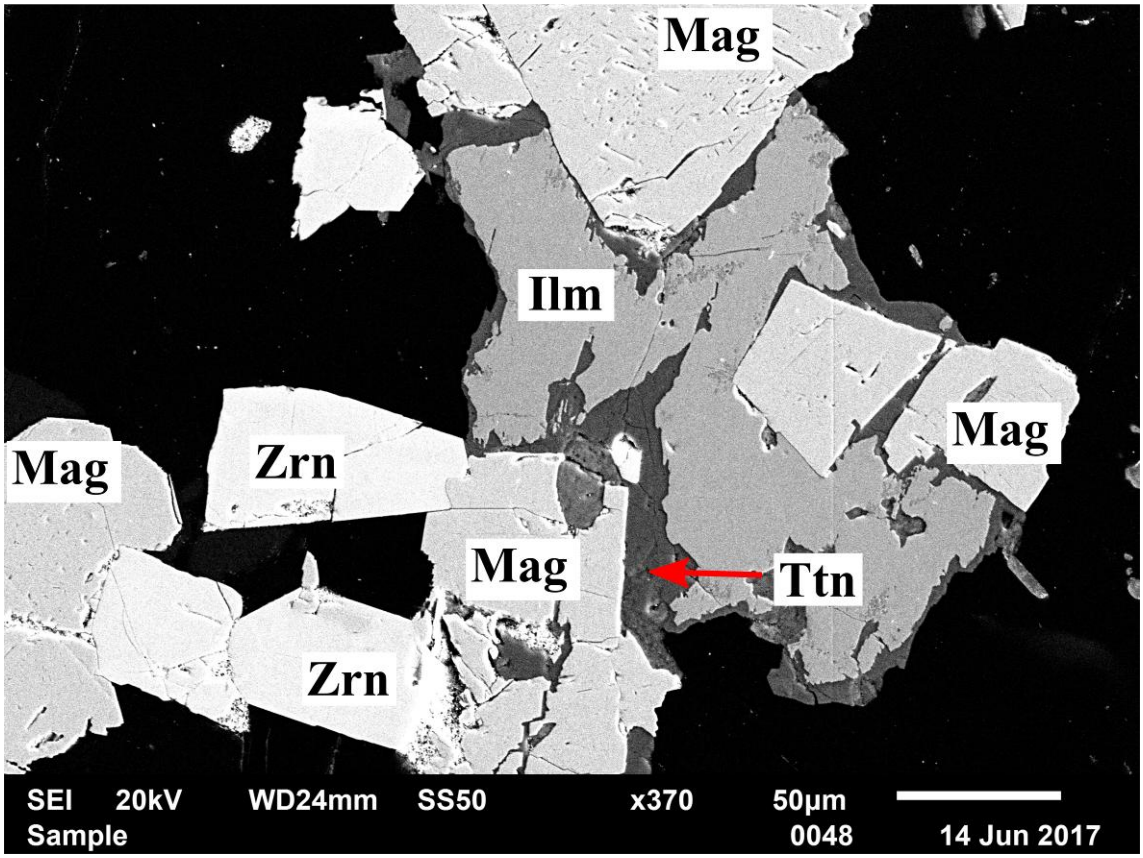
U *hornblendi* su mjestimično prisutni uklopci magnetita i ilmenita. Alterirana zrna hornblende sadrže stilpnomelan, epidot, titanit i klorit.

Dominantna opaka faza je *magnetit* (**Slika 8.1-8.4**), a uz njega se podređeno pojavljuje i ilmenit. Magnetit gotovo redovito sadrži eksolucijske lamele ilmenita, nastale izdvajanjem titanske faze iz primarnog titanomagnetita. Lamele čine mrežu razvijenu uglavnom duž cijelog zrna, pri čemu se sijeku pod kutem 120-60°, poredane duž [111] ploha u magnetitu. Magnetit sadrži uklopke apatita (**Slika 8.3**), podređeno cirkona, a mjestimično sadrži pukotine ispunjene titanitom ili vrlo rijetko biotitom.



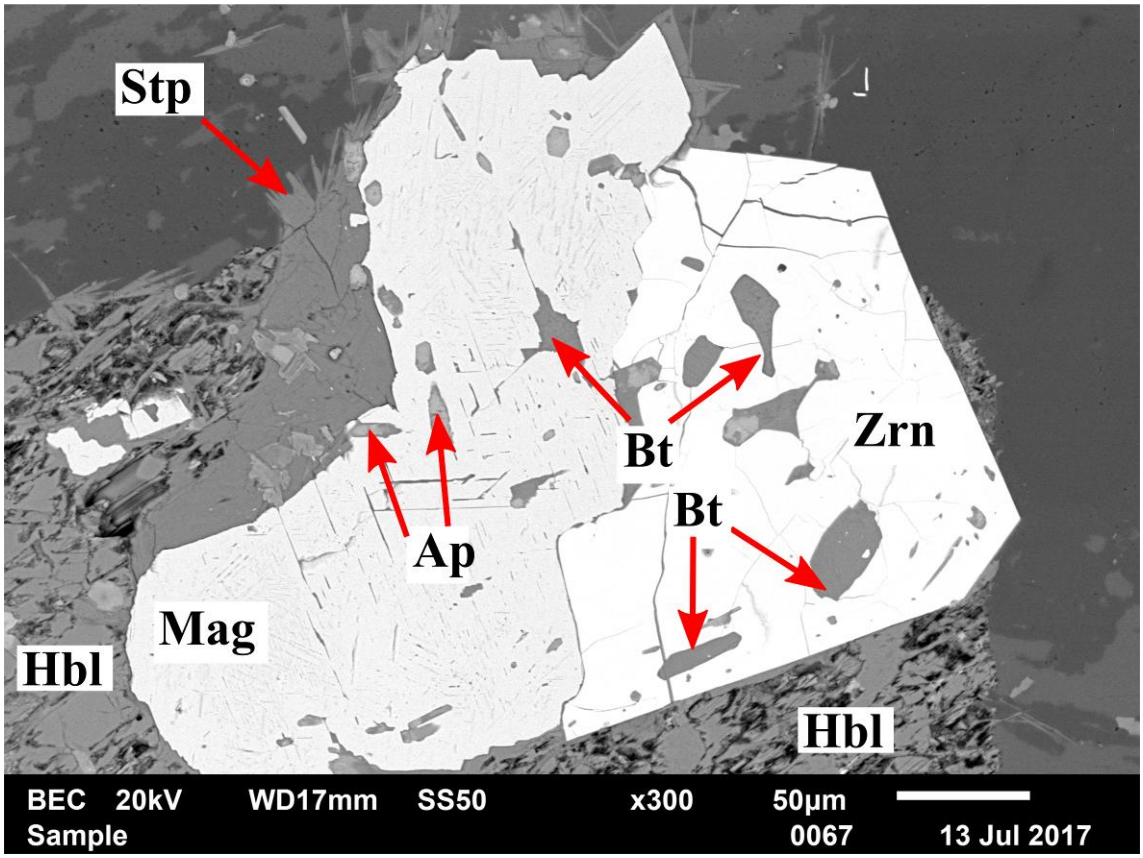
Slika 8.1 Magnetit (Mag), ilmenit (Ilm), titanit (Ttn) i stilpnomelan (Stp) unutar alterirane hornblende (Hbl). Uzorak Pri-1-5. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona.

Osim u vidu igličastih i nepravilnih eksolucijskih lamela unutar magnetita, *ilmenit* se pojavljuje i u formi zasebnih zrna različitog habitusa. Uglavnom je asociran s magnetitom, pri čemu je mjestimično prisutan oko magnetitnih zrna (**Slika 8.2**), odnosno uočena su zrna magnetita s ilmenitnim rubom. Ovakva struktura naziva se eksolucija vanjskog zrna (eng. *external grain exolution*; Buddington i Lindsley, 1964), pri čemu se smatra da je došlo do migracije eksolucijskih lamela van granica minerala domaćina. Osim toga, ilmenit se pojavljuje i kao samostalno zrno subhedralnog do anhedralnog habitusa. Rijetko se mogu uočiti euhedralna do subhedralna zrna ilmenita (**Slika 8.5** i **8.6**) koja su dijelom asocirana s apatitom. U takvim zrnima ilmenita prisutne su nepravilne eksolucijske lamele također ilmenitnog sastava, ali s manjim udjelom željeza i mangana.



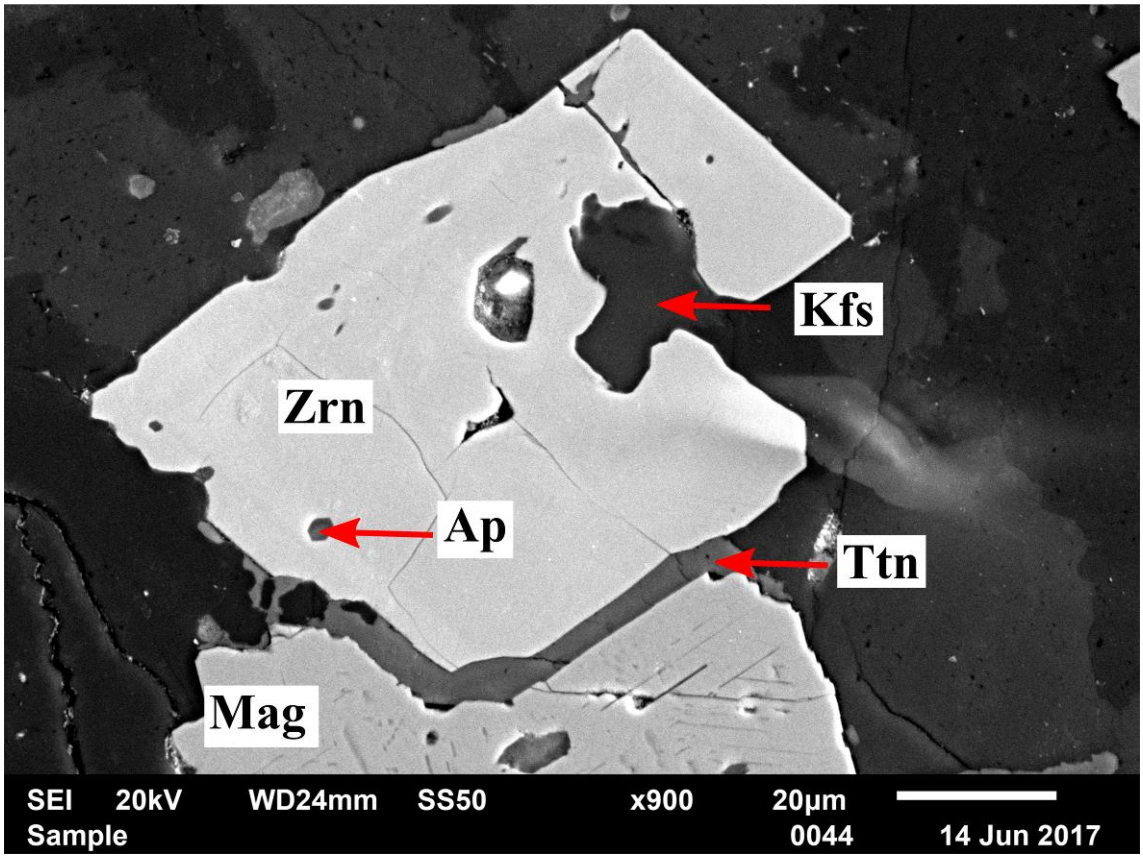
Slika 8.2 Cirkon (Zrn), magnetit (Mag) s igličastim eksolucijama ilmenita, okružen ilmenitom (Ilm) i titanitom (Ttn) u alkalijsko-feldspatskom granitu. Uzorak Pri-1-5. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona.

Oko zrna ilmenita te u manjoj mjeri magnetita, kao i u pukotinama unutar njih, kristalizira *titanit* (**Slika 8.2** i **8.4**). Također se redovito pojavljuje unutar alterirane hornblende, ali i kao samostalno zrno unutar stijene. Titanit sadrži i željeznu i aluminijsku fazu (**Slika 8.7**).

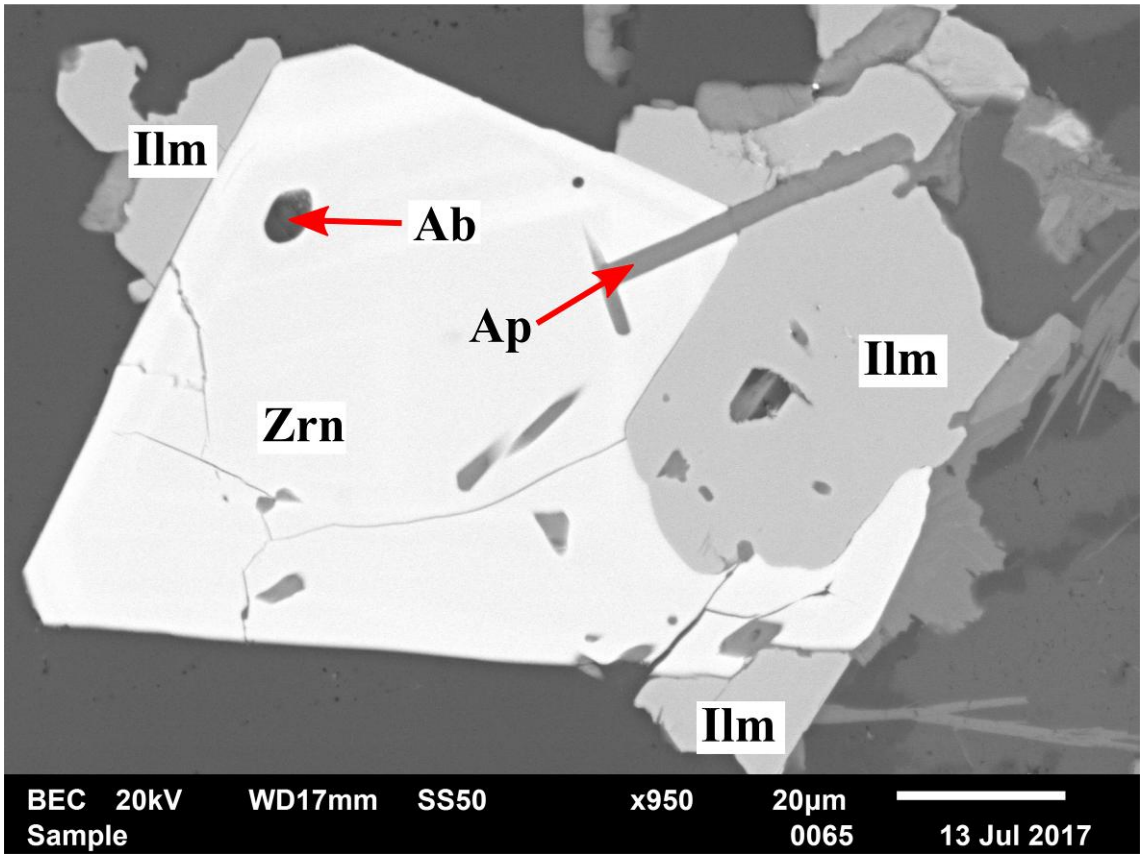


Slika 8.3 Anhedralni biotit (Bt) u cirkonu (Zrn) i magnetitu (Mag). Magnetit sadrži igličaste eksolucije ilmenita i uklopke apatita (Ap). Na slici su vidljivi i resorbirana hornblenda (Hbl) i stilpnomelan (Stp). Uzorak Pri-1-5. Fotografija je snimljena pomoću povratno raspršenih elektrona.

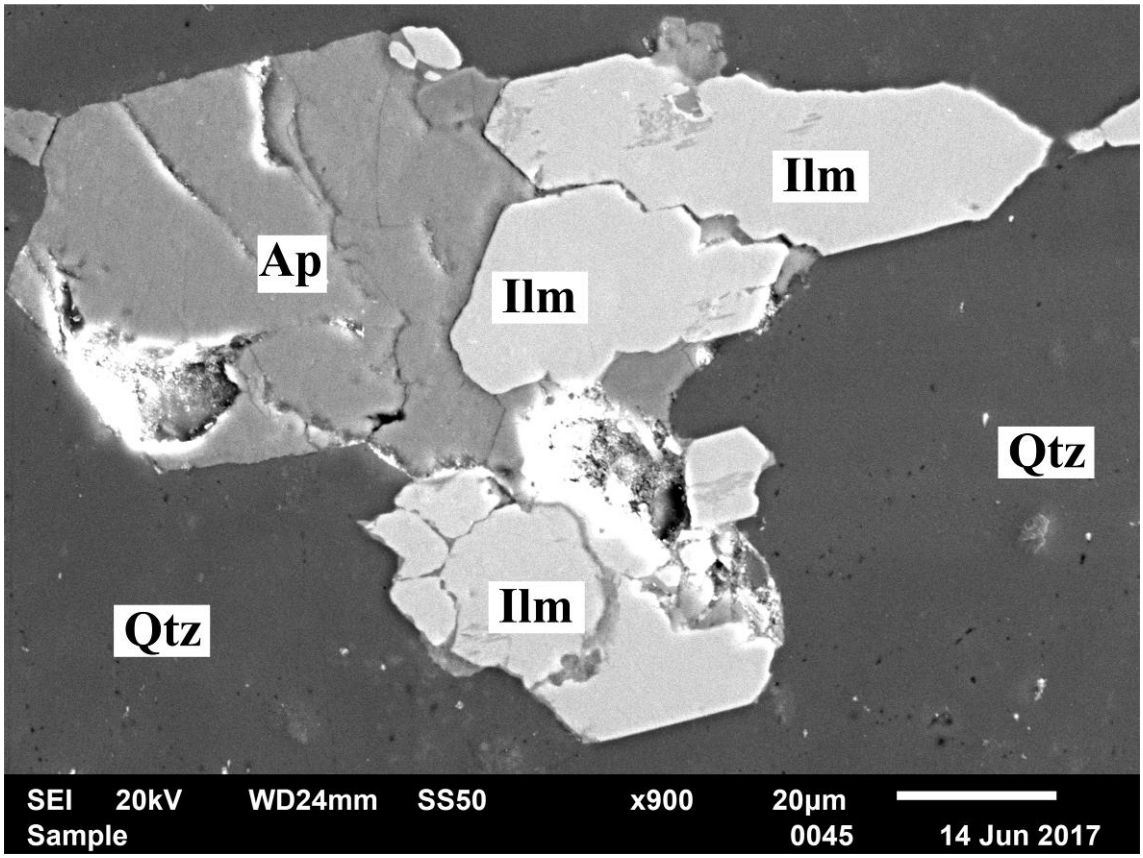
Cirkon (**Slika 8.2-8.5**) sadrži sitne uklopke apatita. S cirkonom je mjestimično vezan torit (**Slika 8**) i Nb-Th i Y mineralne faze (**Slika 8.9** i **8.10**). Osim toga, u pojedinim zrnima cirkona detektirani su uklopci biotita (**Slika 8.3**), zatim albita (**Slika 8.5**), a uočeno je i zrno cirkona asocirano s K-feldspatom, odnosno pertitom (**Slika 8.4**).



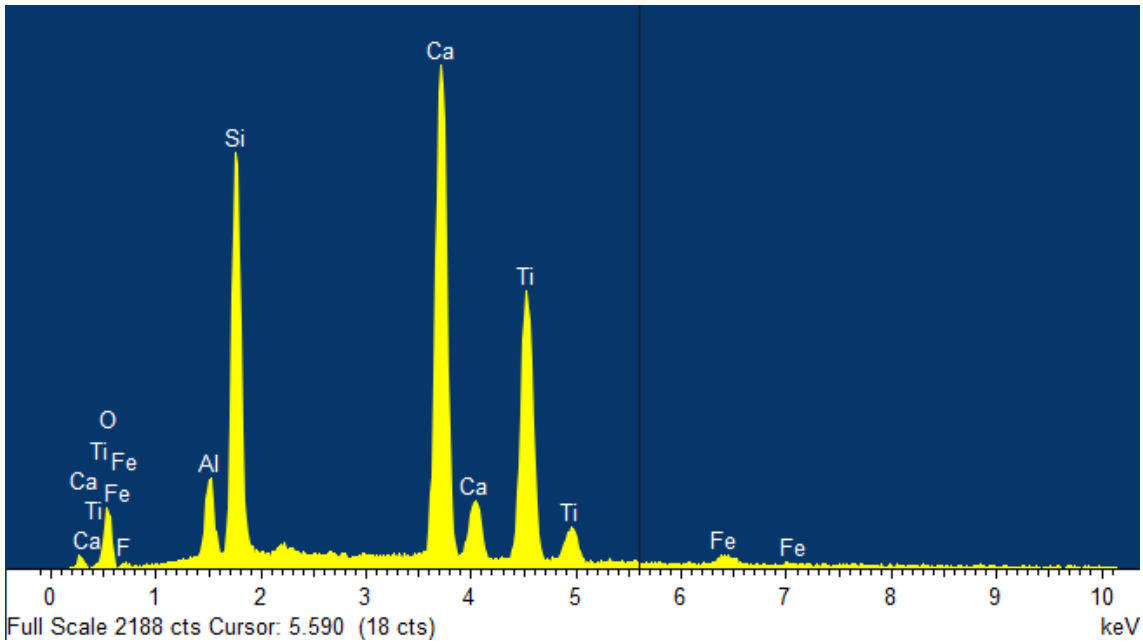
Slika 8.4 Magnetit (Mag) s igličastim eksolucijama ilmenita, uklopak apatita (Ap) u cirkonu (Zrn) asociranom s K-feldspatom (Kfs). Između magnetita i cirkona nalazi se titanit (Ttn). Uzorak Pri-1-5. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona.



Slika 8.5 Cirkon (Zrn) s uklopcima apatita (Ap) i uklopkom albita (Ab), asociran s ilmenitom (Ilm). Uzorak Pri-1-5. Fotografija je snimljena pomoću povratno raspršenih elektrona.



Slika 8.6 Apatit (Ap) asociran s ilmenitom (Ilm). Na slici je vidljiv i kvarc (Qtz). Uzorak Pri-1-5. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona.



Slika 8.7 Energetsko disperzivni spektar (EDS) titanita iz uzorka Pri-1-5.

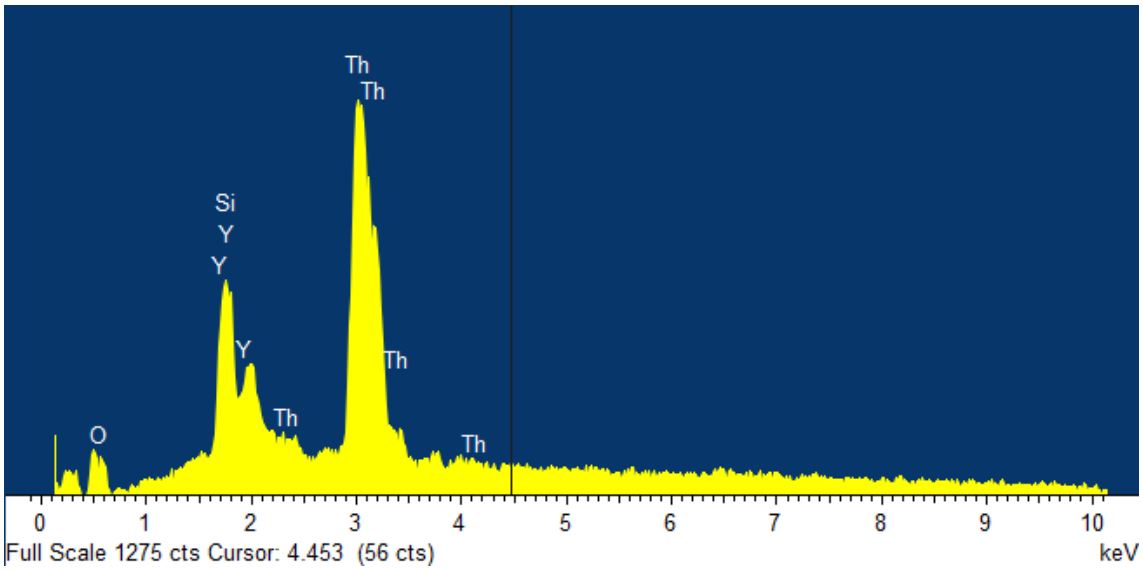
Torit se osim u asocijaciji s cirkonom pojavljuje i kao euhedralni kristal uklopljen unutar biotita ili titanita.

Allanit (**Slika 8.11**) je zonalan te na rubovima prelazi u epidot. Pojedini epidoti koji nastaju na račun hornblende sadrže i allanitnu komponentu.

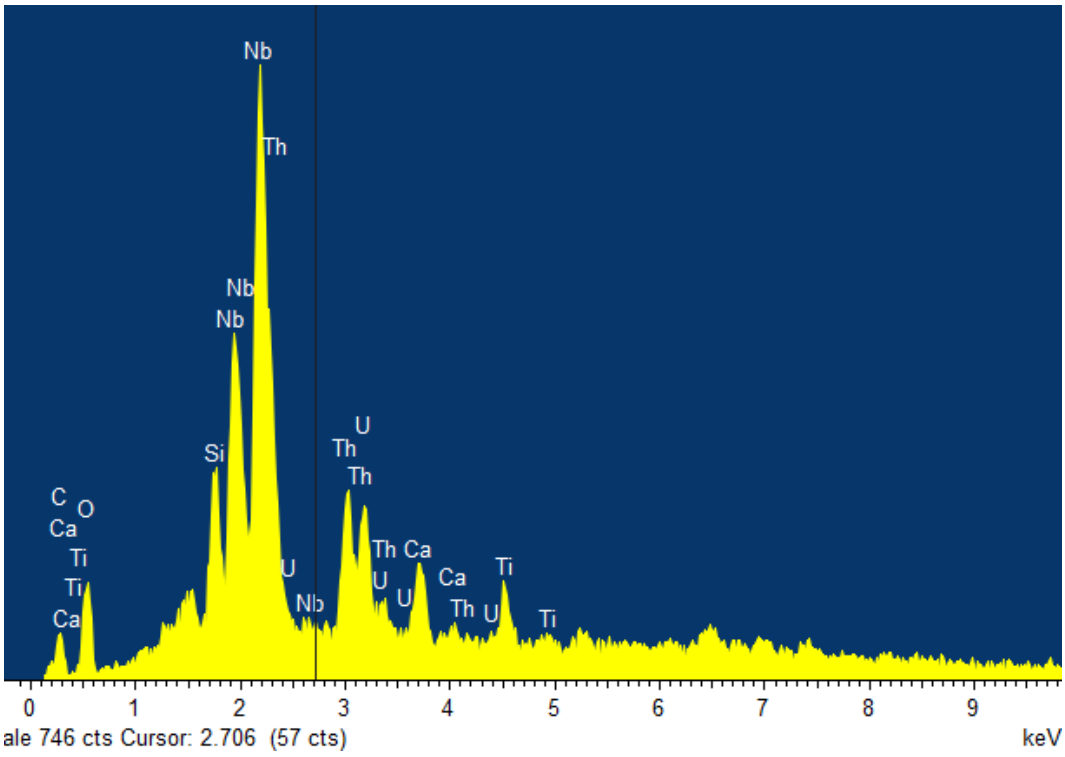
Stilpnomelan (**Slika 8.12** i **8.13**) je u stijeni prisutan u vidu prutićastih agregata. Nastaje kao produkt alteracije hornblende i biotita, ali se nalazi i kao ispuna sitnih pukotina.

Epidot se nalazi unutar alteriranih hornblendi, kao obrub oko alanita, u intersticijskom prostoru te unutar pukotina.

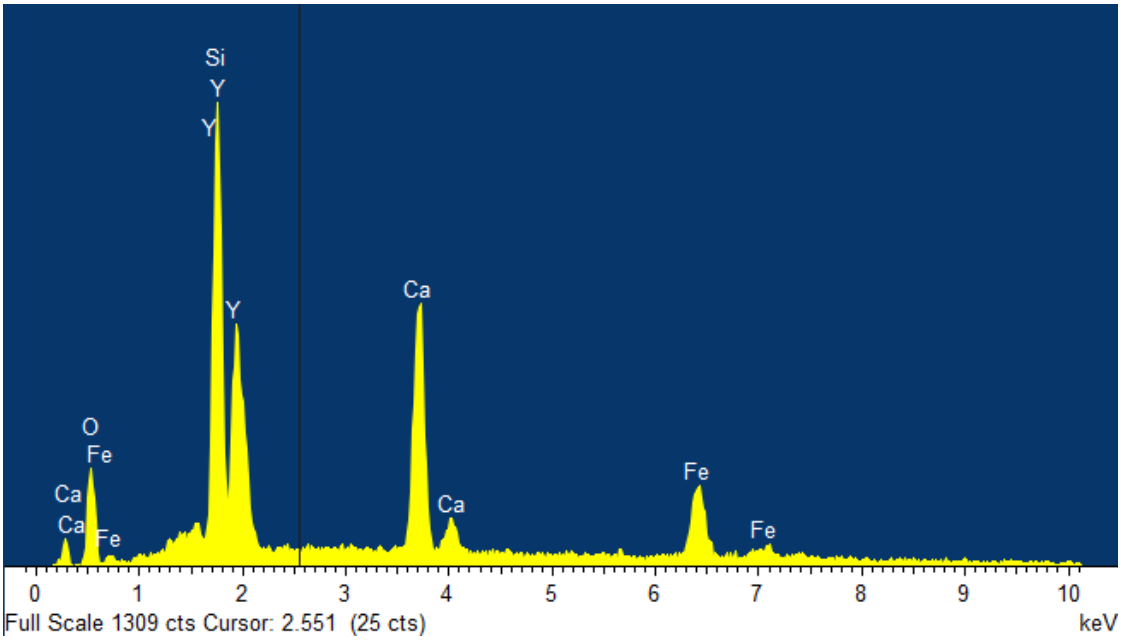
U stijeni su uočene i izrazito male količine *sfalerita* i *galenita*, koji imaju anhedralan habitus te kristaliziraju u intersticijskom prostoru.



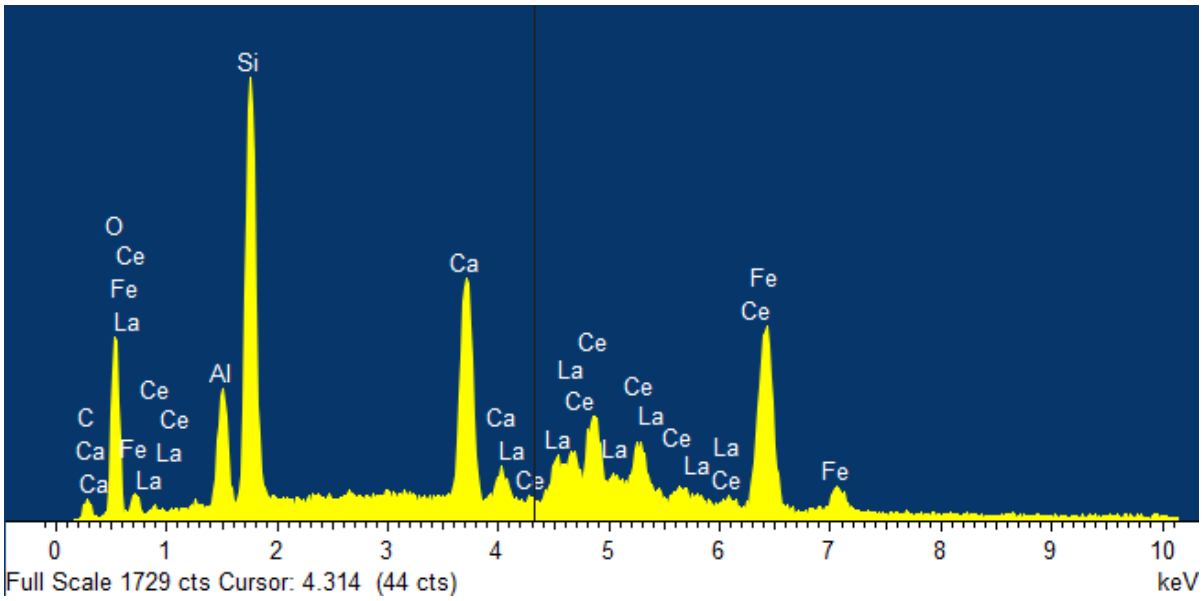
Slika 8.8 Energetsko disperzivni spektar (EDS) torita iz uzorka Pri-1-5.



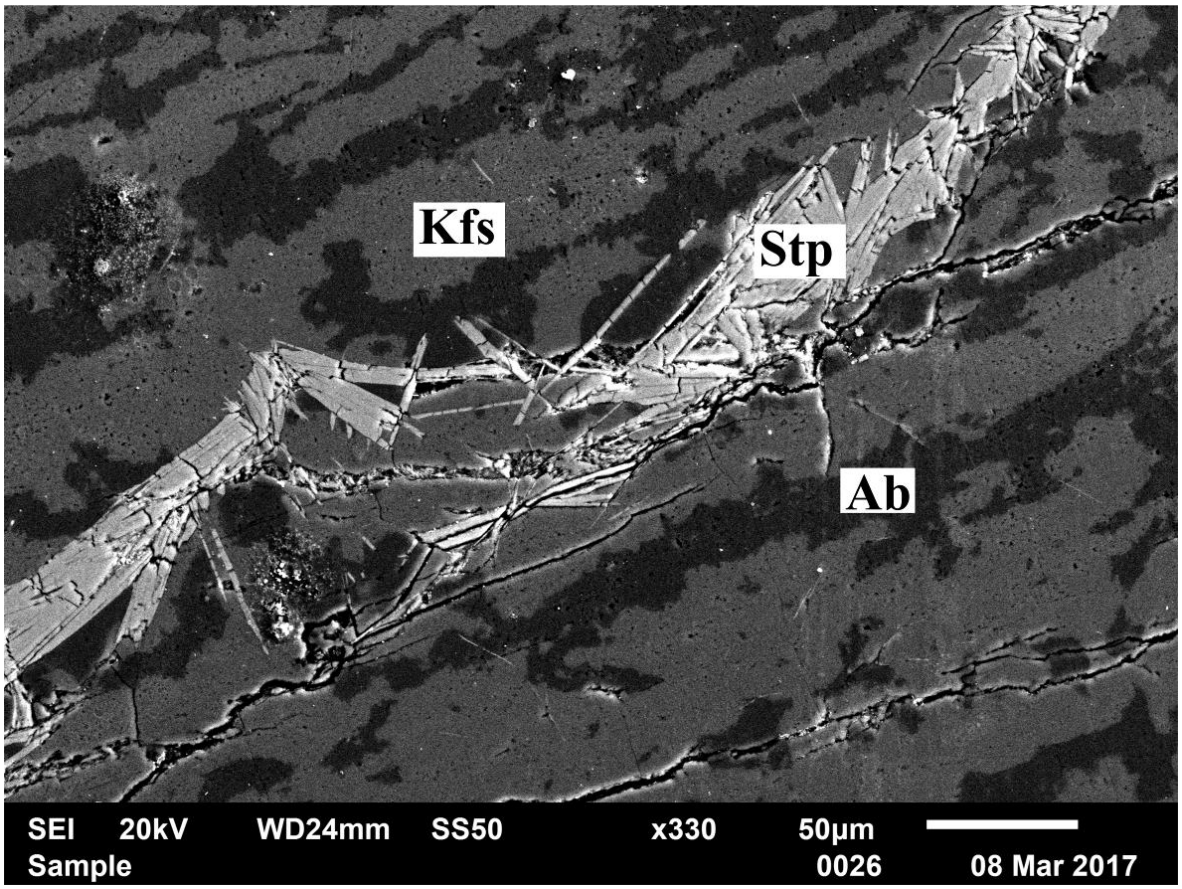
Slika 8.9 Endergetsko disperzivni spektar (EDS) Ca-U-Th-Nb mineralne faze iz uzorka Pri-1-5.



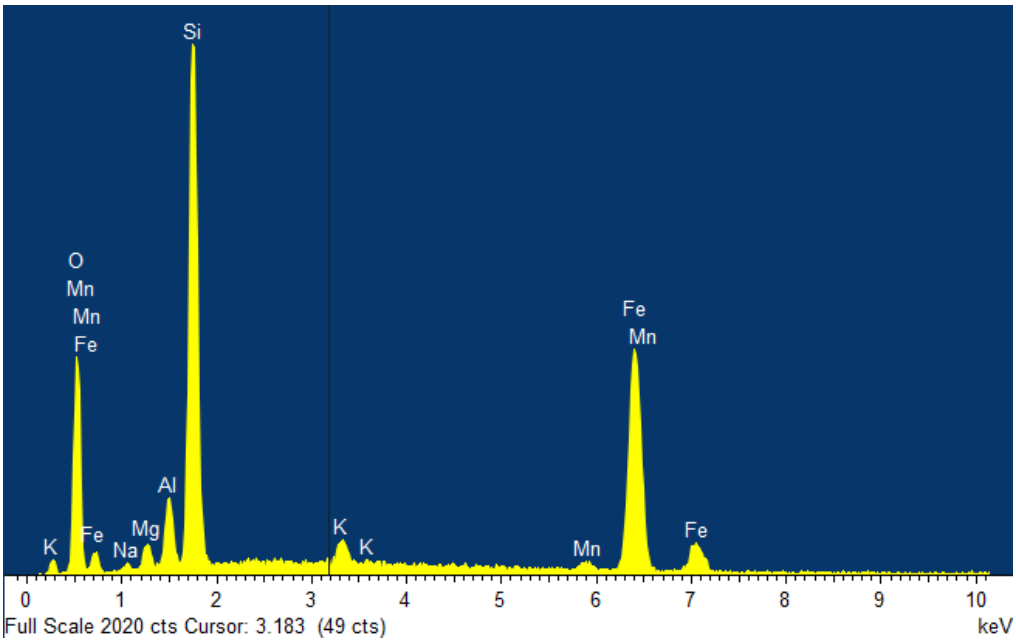
Slika 8.10 Energetsko disperzivni spektar (EDS) Y mineralne faze iz uzorka Pri-1-5.



Slika 8.11 Energetsko disperzivni spektar (EDS) allanita iz uzorka Pri-1-5.



Slika 8.12 Prutićasti stilpnomelan (Stp) u pertitu. Jasno je vidljivo da se pertit sastoji od K-feldspata (Kfs) u kojem se nalaze albitne (Ab) eksolucijske lamele. Uzorak Pri-1-5. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona.



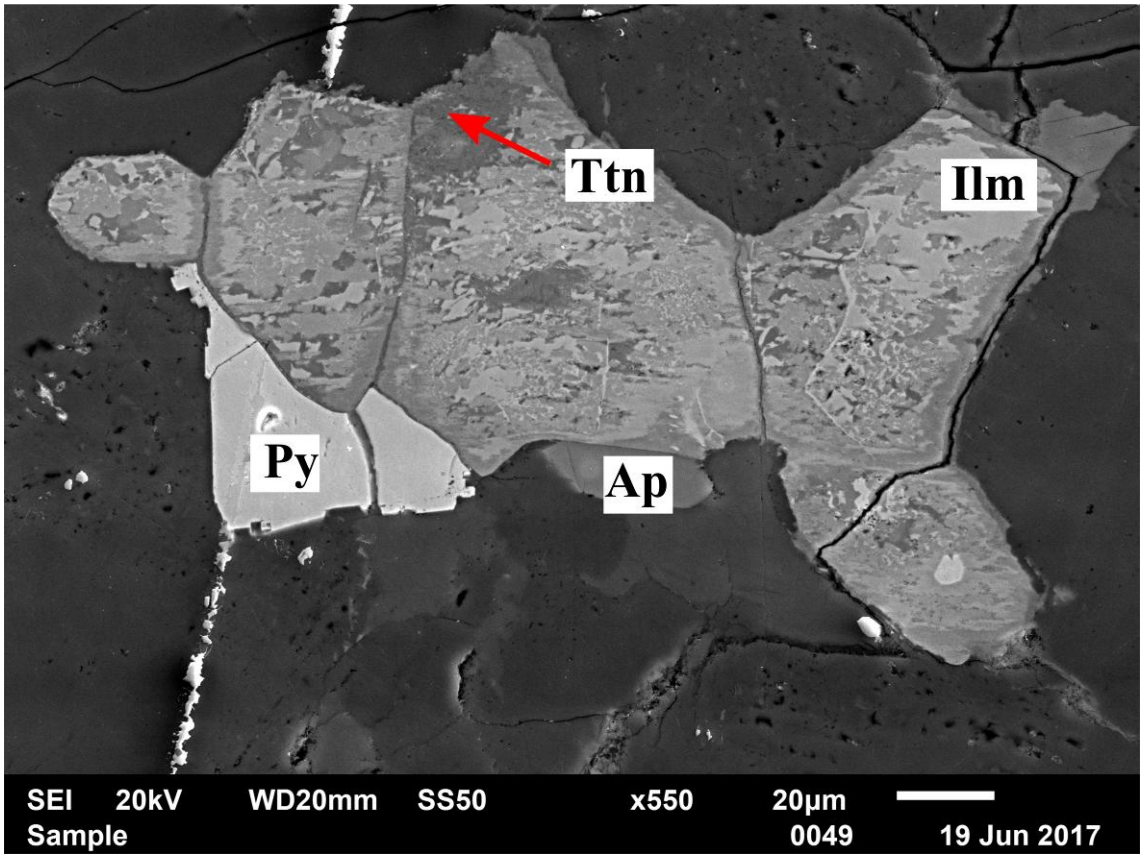
Slika 8.13 Energetsko disperzivni spektar (EDS) stilpnomelana iz uzorka Pri-1-5.

SEM analizom u uzorku **monzodiorita (Ob-34B)** utvrđeni su sljedeći akcesorni minerali: ilmenit, titanit, cirkon, apatit te izrazito male količine pirita, magnetita, sfalerita i halkopirita.

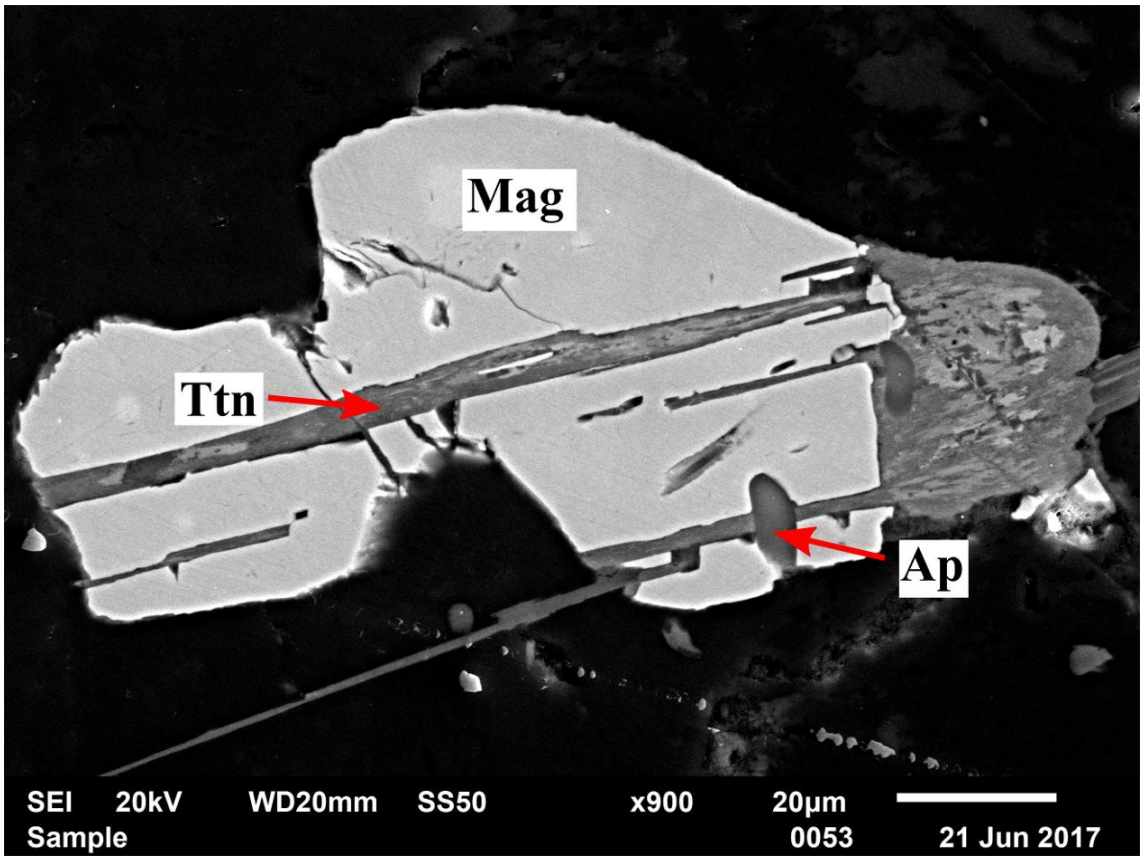
Dominantna opaka faza je *ilmenit*, koji uglavnom ima titanitni rub i prelazi u titanit (**Slika 8.14**). Rijetka zrna *magnetita* koja su uočena sadrže pukotine ispunjene mješavinom ilmenita i titanita (**Slika 8.15**).

Cirkon, veličine do 30 µm, ima subhedralan do euhedralan, mjestimično čak i anhedralan habitus. Pojedina zrna cirkona sadrže uklopke *apatita*.

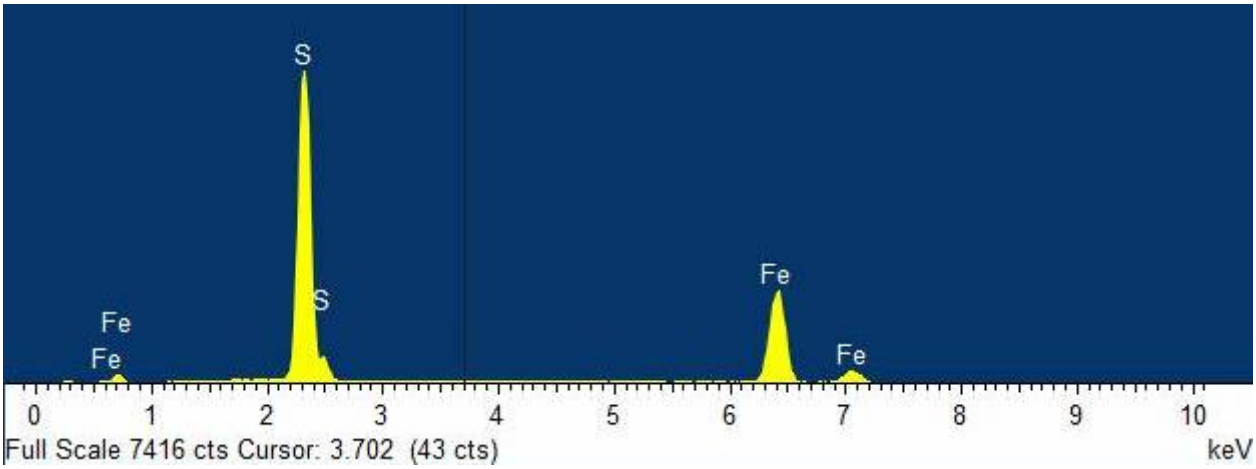
Pirit (**Slika 8.16**) je uglavnom prisutan u pukotinama i intersticijski, kao i *halkopirit* (**Slika 8.17**) i *sfalerit*, koji su asocirani s kloritom.



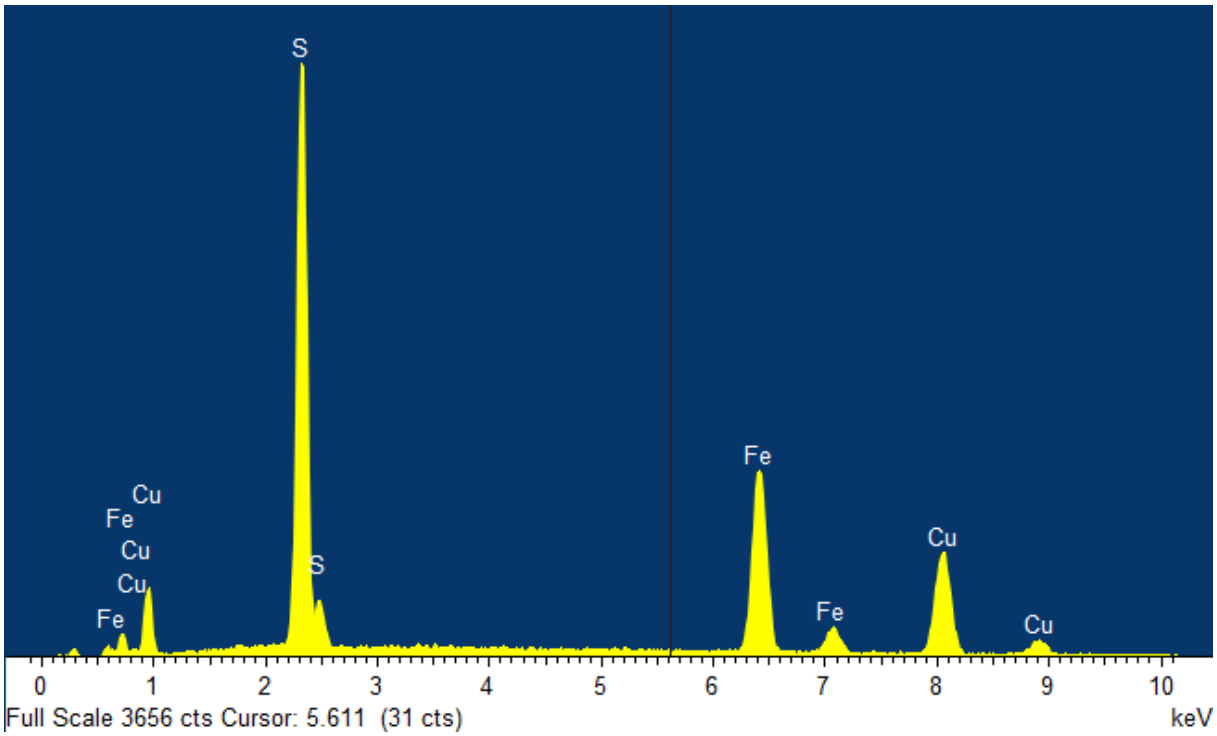
Slika 8.14 Alteracija ilmenita (Ilm) u titanit (Ttn). Na slici su također vidljivi pirit (Py) i apatit (Ap). Uzorak Ob-34B. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona.



Slika 8.15 Pukotina u magnetitu (Mag) ispunjena titanitom (Ttn). Magnetit sadrži uklopak apatita (Ap). Uzorak Ob-34B. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona.

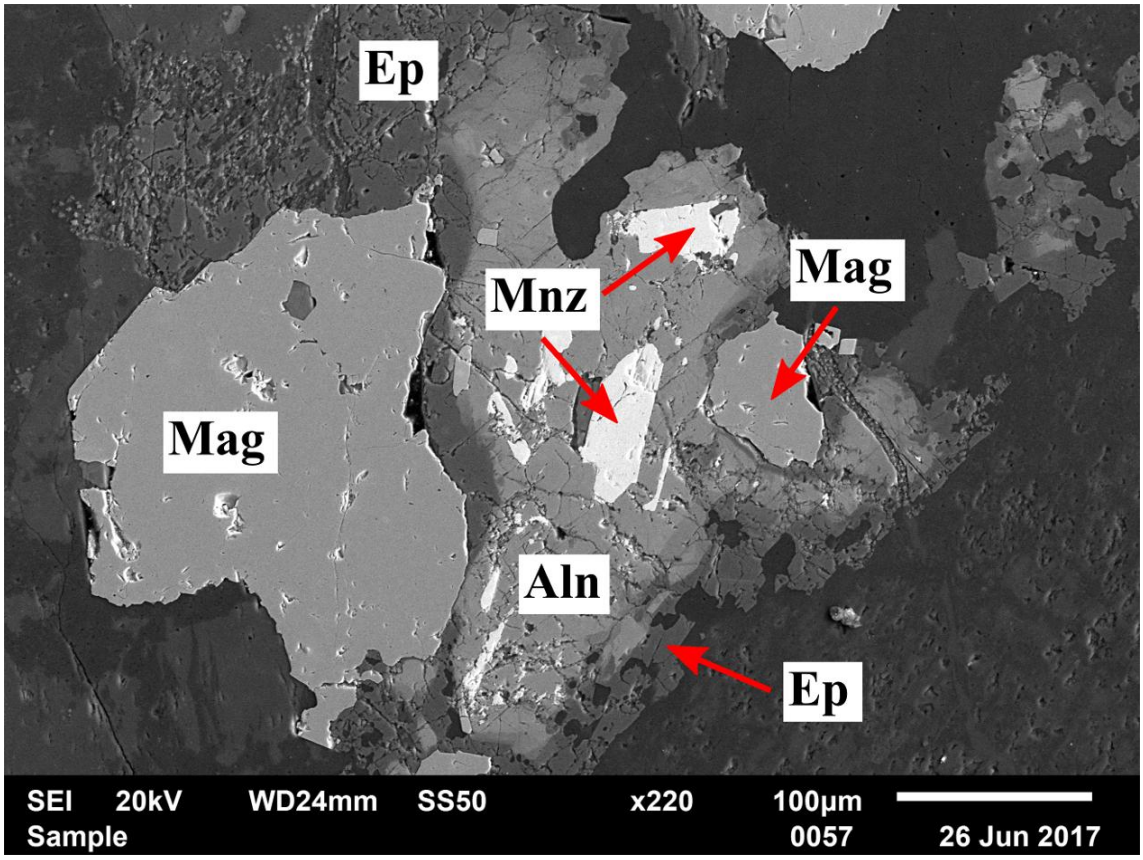


Slika 8.16 Energetsko disperzivni spektar pirita u uzorku Ob-34B.



Slika 8.17 Energetsko disperzivni spektar halkopirita u uzorku Ob-34B.

SEM analizom u uzorku je **milonitnog gnajsa (Mar-4-9)** dokazano je postojanje allanita u pukotinama unutar stijene. Osim toga, uz cirkon i apatit utvrđeni su sljedeći akcesorni minerali: monacit, magnetit (Fe-oksid), Ti-oksid, Sr-Ba sulfat (barit-celestin), gips, galenit i pirit.

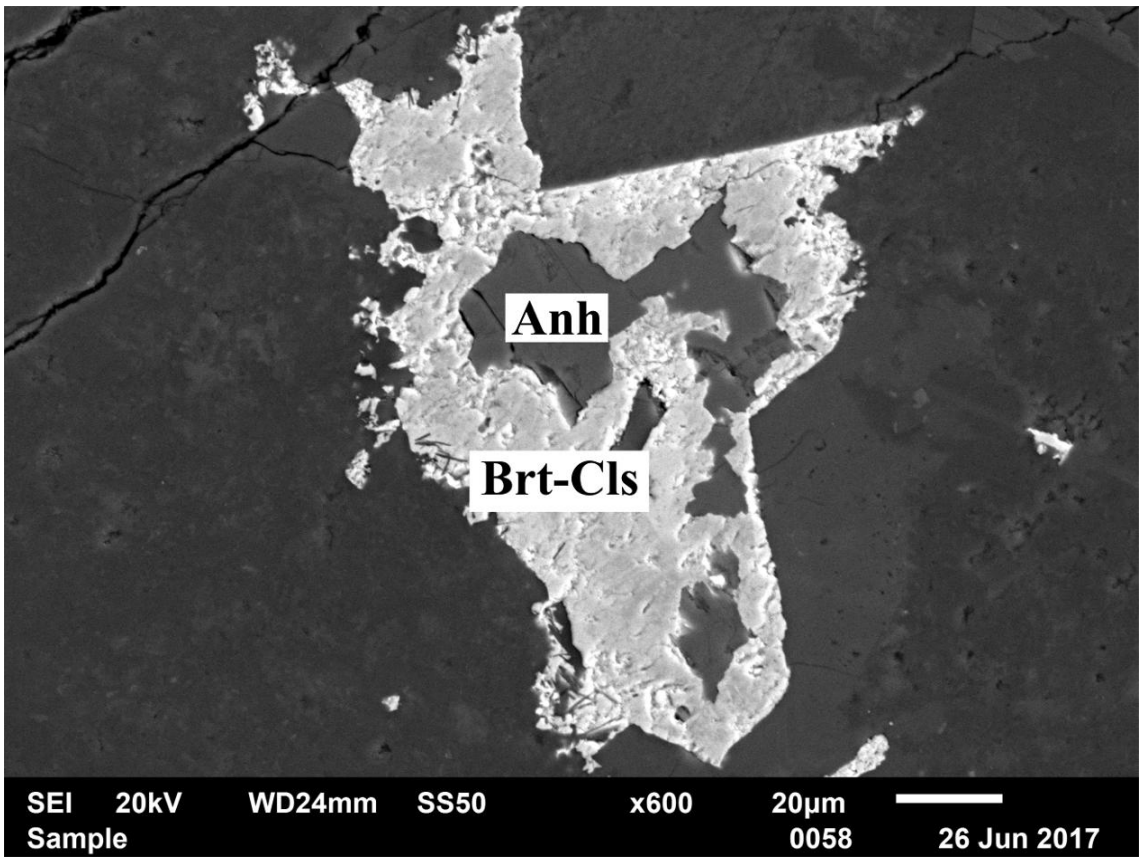


Slika 8.18 Allanit (Aln) s epidotom (Ep) po rubovima, sadrži monacit (Mnz) i magnetit (Mag). Uzorak Mar-4-9. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona.

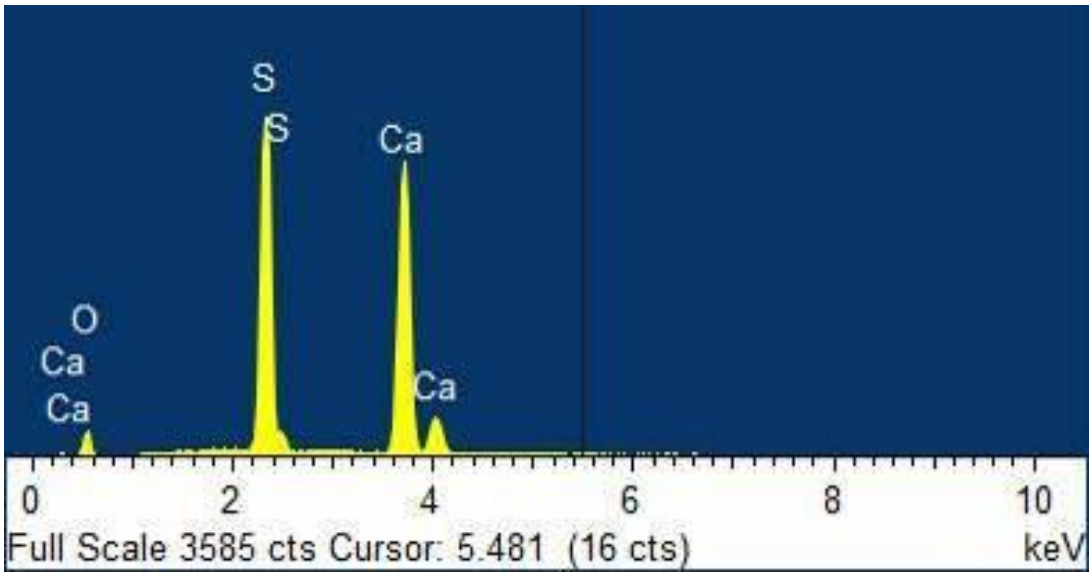
Allanit, koji kristalizira po pukotinama, zonalne je građe te na rubovima prelazi u epidot (**Slika 8.18**). Monacit je anhedralan, uklopljen u allanitu i cirkonu.

Uočena je i kompleksna sulfatna intersticijska mineralizacija (**Slika 8.19**) s jezgrom od *anhidrita* (**Slika 8.20**) a rubom od *barit-celestina* (**Slika 8.21**).

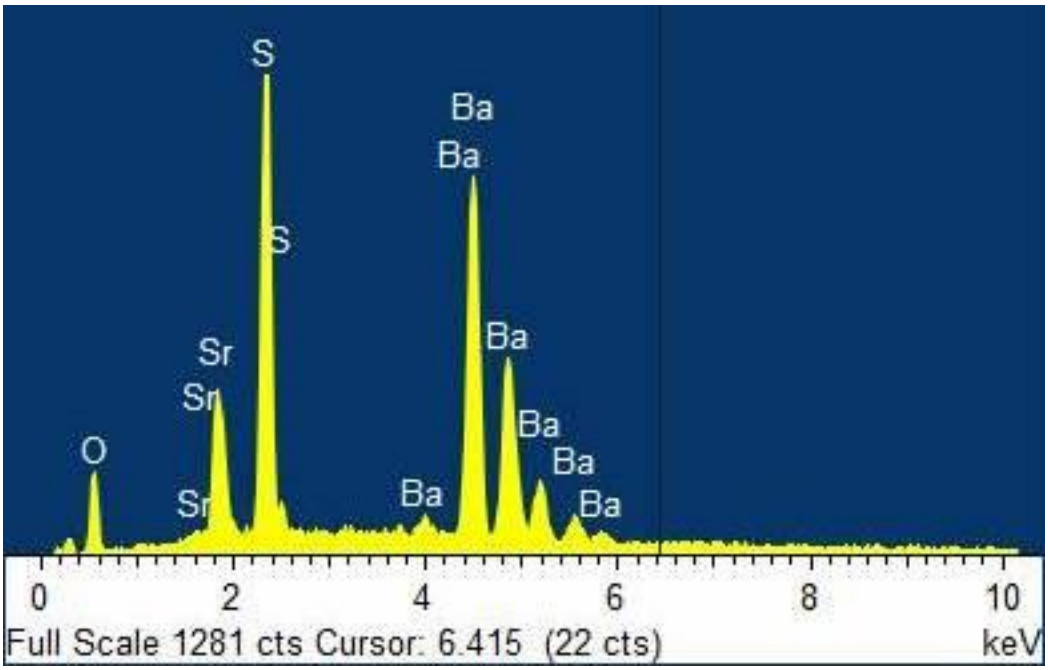
Magnetit je uglavnom uklopljen u kloritu, vjerojatno kao produkt alteracije biotita. U *biotitu* su osim uklopaka magnetita uočeni i uklopci štapićastog Ti-oksida, vjerojatno rutila.



Slika 8.19 Kompleksna sulfatna intersticijska mineralizacija s anhidritom (Anh) u jezgri i barit-celestinom (Brt-Cls) po rubu. Uzorak Mar-4-9. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona.

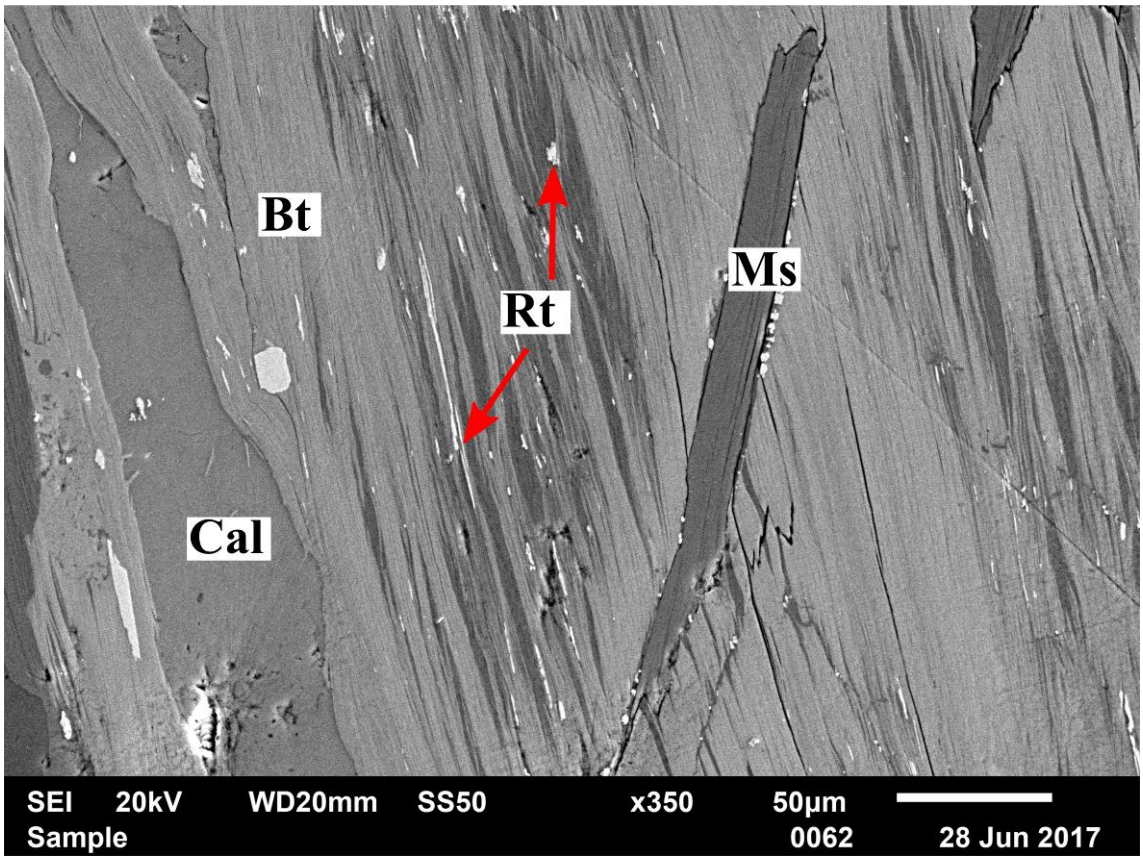


Slika 8.20 Energetsko disperzivni spektar anhidrita u uzorku Mar-4-9.



Slika 8.21 Energetsko disperzivni spektar barit-celestina u uzorku Mar-4-9.

Osim minerala određenih standardnom petrografskom analizom, pomoću SEM-a su u uzorku **monzogranita (Os-2A-2)** detektirani: Ti-oksid (rutil) u biotitu (**Slika 8.22**), apatit, monacit, galenit, sfalerit i pirit.

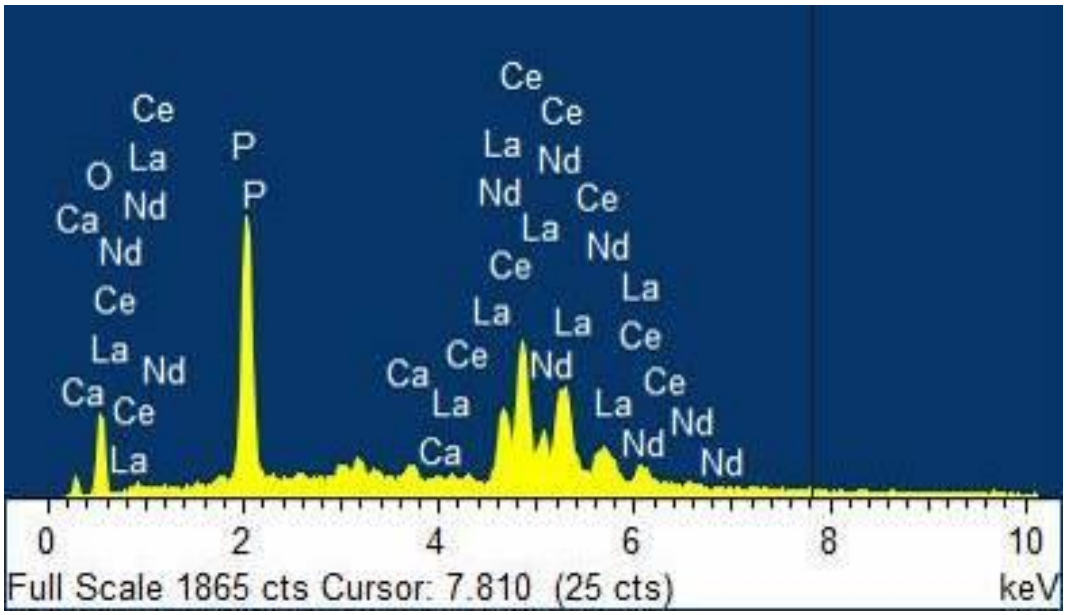


Slika 8.22 Uzorak monzogranita s biotitom (Bt) koji sadrži muskovit (Ms), rutil (Rt) i kalcit izlučen po pukotinama kalavosti. Uzorak Os-2A-2. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona.

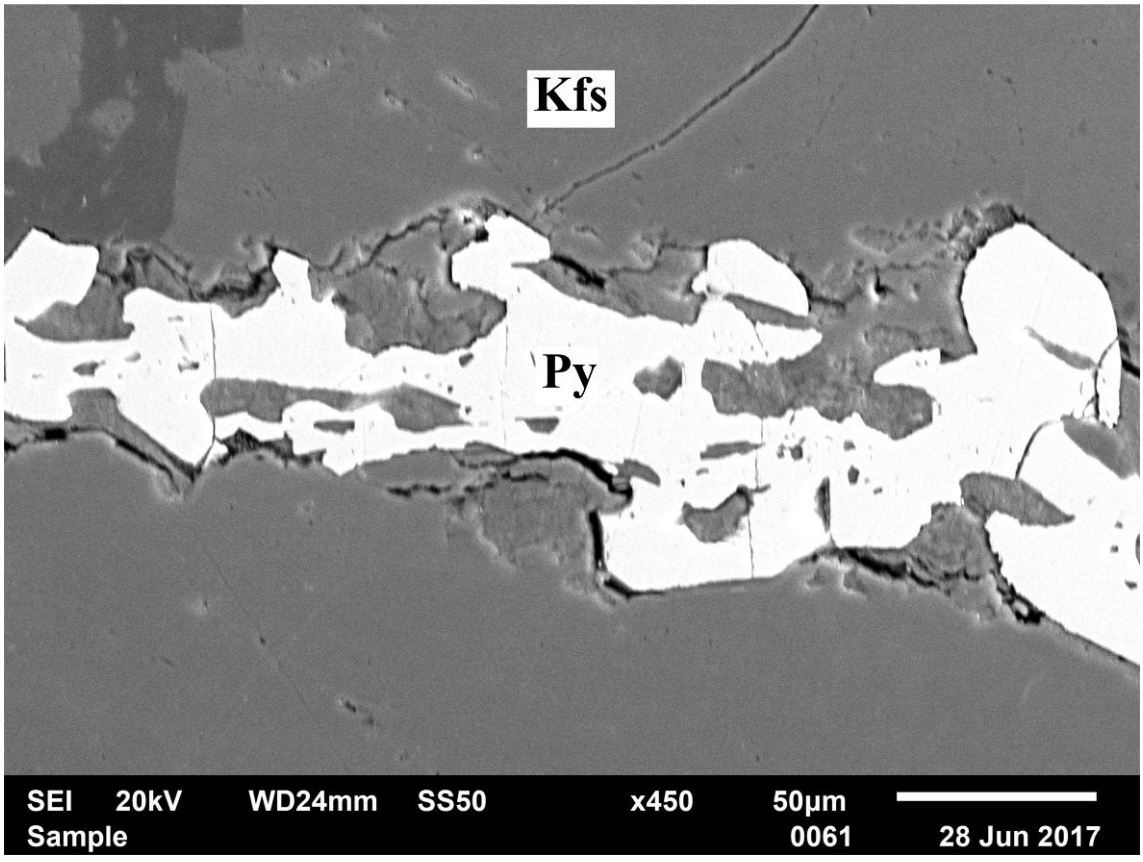
Apatit se nalazi raspršen unutar stijene, a dimenzije mu se kreću u rasponu od 100 do 200 µm. *Monacit* (**Slika 8.23**) je prisutan u vrlo malim količinama kao euhedralno zrno veličine do 50 µm.

Galenit se pojavljuje intersticijski i uz pukotine, ima anhedralan habitus. Veličina zrna galenita kreće se u rasponu od 10 do 500 µm.

Sfalerit ima sličan način pojavljivanja, a u pravilu je sitniji od galenita (do 50 µm). *Pirit* se pojavljuje rjeđe te je uglavnom vezan za pukotine (**Slika 8.24**).



Slika 8.23 Energetsko-disperzivni spektar (EDS) monacita iz uzorka Os-2A-2.

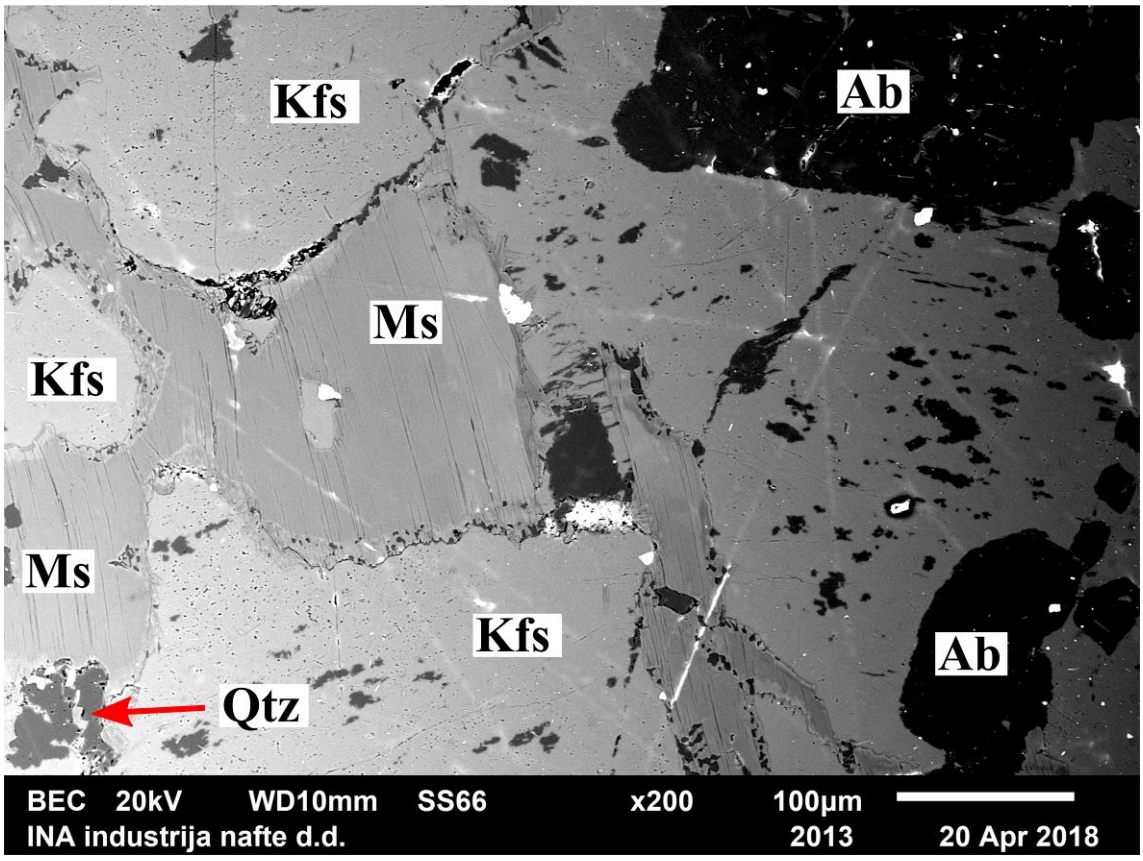


Slika 8.24 Pirit (Py) u pukotini unutar K-feldspata (Kfs). Uzorak Os-2A-2. Fotografija je snimljena pomoću sekundarnih elektrona.

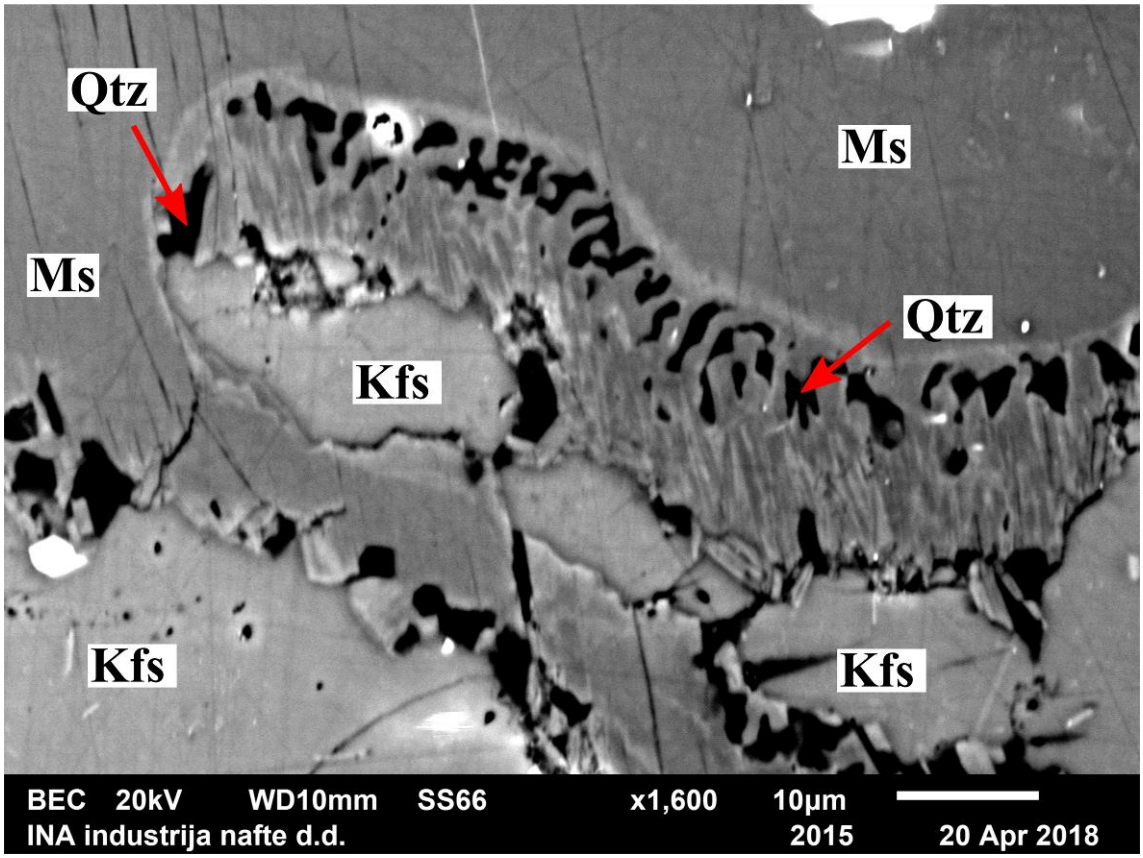
U uzorku **leukogranita (TR-1-2)** najzastupljeniji akcesorni mineral je apatit, a vrlo rijetko se mogu uočiti cirkon, galenit, pirit i rutil.

Apatit, raspona veličine od 5 do 50 μm, prisutan je u različitim habitusima, od euhedralnog do anhedralnog, a uglavnom je anhedralan. *Rutil* se pojavljuje u vidu uklopaka u muskovitu. *Cirkon* je vrlo rijedak, obično u vidu subhedralnih zrna veličine oko 15 μm.

Galenit i *pirit* nalaze se u pukotinama, a veličina im ne prelazi 1 μm .



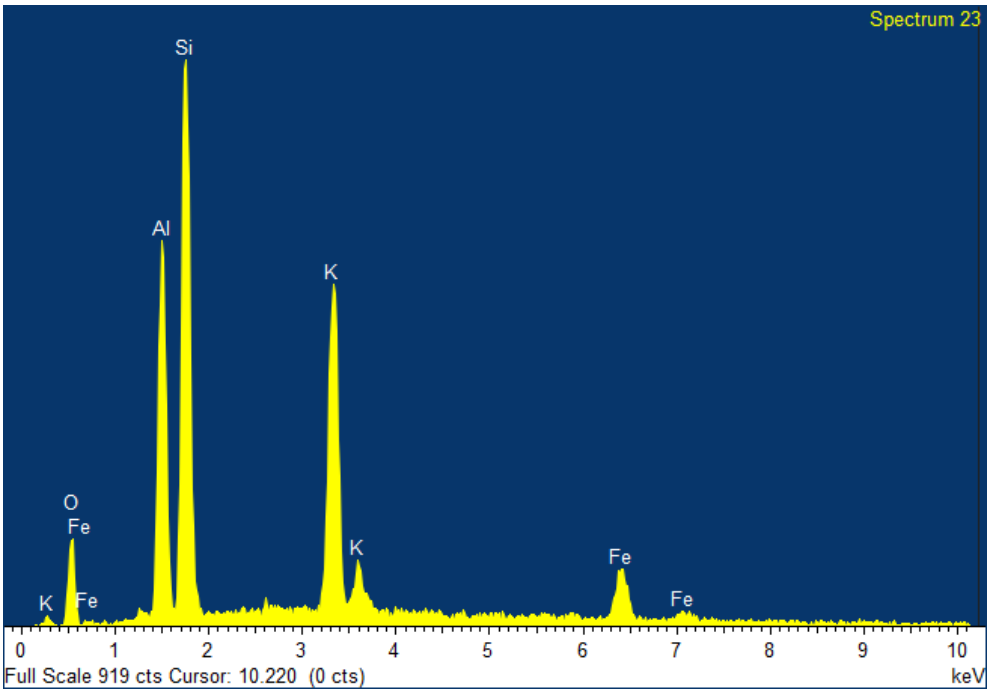
Slika 8.25 Albit (Ab), muskovit (Ms), K-feldspat (Kfs) i kvarc (Qtz). Na granici muskovita i K-feldpata vidljiva su simplektitna prorastanja kvarca i muskovita. Uzorak TR-1-2. Fotografija je snimljena pomoću povratno raspršenih elektrona.



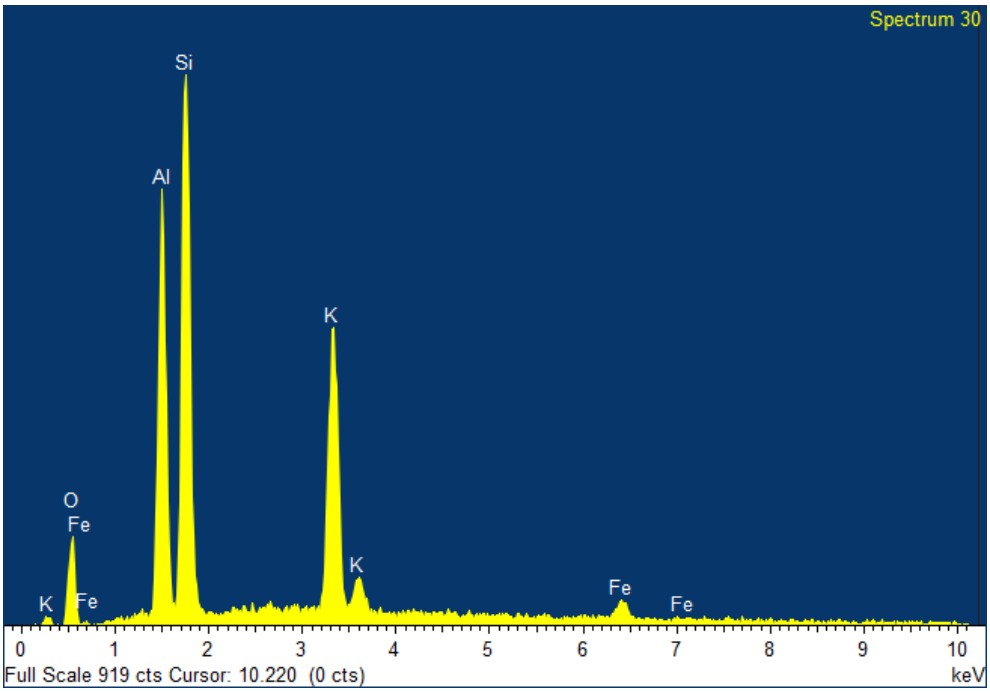
Slika 8.26 Simplektitna prorastanja kvarca (Qtz) i muskovita (Ms) na granicama s K-feldspatom (Kfs). Uzorak TR-1-2. Fotografija je snimljena pomoću povratno raspršenih elektrona.

Na granici muskovita i K-feldspata uočena su simplektitna prorastanja između muskovita i kvarca (**Slika 8.25** i **8.26**).

U ovom uzorku uočeno je postojanje dvije vrste *muskovita*, koje se razliku po sadržaju željeza (**Slika 8.27** i **8.28**).



Slika 8.27 Energetsko-disperzivni spektar (EDS) muskovita obogaćenog željezom iz uzorka TR-1-2.



Slika 8.28 Energetsko-disperzivni spektar (EDS) muskovita iz uzorka TR-1-2.

9. KEMIJSKI SASTAV MINERALA

U ovom poglavlju prikazani su rezultati analize kemijskog sastava minerala pomoću elektronske mikrosonde (EMPA). Riječ je o uzorcima koji su također podvrgnuti SEM analizama. Analizirani su sljedeći minerali: feldspati, amfibol, biotit, muskovit, Fe-Ti oksidi, epidot i klorit. Sastav reprezentativnih minerala prikazan je u tablicama te u odgovarajućim klasifikacijskim dijagramima.

9.1. Feldspati

Sastav reprezentativnih feldspata prikazan je u **Tablici 9.1** te u trokomponentnom Ab-An-Or klasifikacijskom dijagramu (**Slika 9.1**). Feldspati su analizirani u uzorcima alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-5), monzodiorita (Ob-34B), milonitnog gnajsa (Mar-4-9), monzogranita (Os-2A-2) i leukogranita (TR-1-2). Napravljeno je 178 analiza feldspata, od toga 79 analiza K-feldspata i 99 analiza plagioklasa, pri čemu je mjeren sastav feldspata u jezgri i na rubu zrna. Strukturna formula feldspata je izračunata na bazi osam atoma kisika.

Tablica 9.1 Kemijski sastav reprezentativnih feldspata.

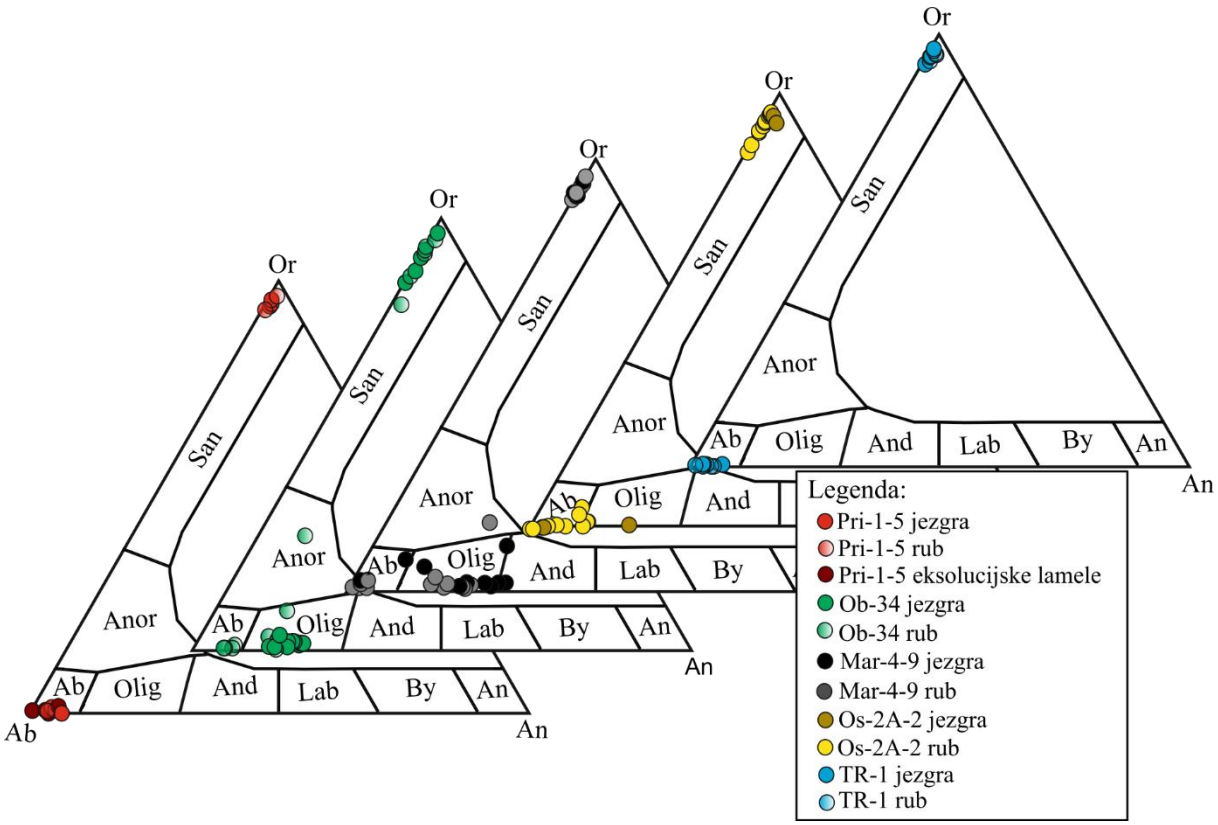
Uzorak	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*	*Ob-34B*	*Ob-34B*	*Ob-34B*	*Ob-34B*
Stijena	AF granit	AF granit	AF granit	AF granit	AF granit	mnz diorit	mnz diorit	mnz diorit	mnz diorit
Mineral	K-fsp	K-fsp	albit	plag	plag	K-fsp	K-fsp	plag	plag
Oznaka zrna	1	1	1	2	2	3	3	4	4
Pozicija	jezgra	rub	lamela	jezgra	rub	jezgra	rub	jezgra	rub
SiO_2	64,24	64,70	68,06	67,35	67,60	64,14	64,31	63,72	64,50
Al_2O_3	17,97	17,93	19,54	19,81	19,65	18,10	18,08	22,51	21,99
Fe_2O_3	0,02	0,06	0,10	0,64	0,33	0,13	0,12	0,19	0,13
CaO	0,00	0,05	0,61	0,76	1,04	0,04	0,02	3,20	3,23
Na_2O	0,34	0,40	11,39	10,96	11,00	0,66	0,85	9,15	9,81
K_2O	16,58	15,91	0,18	0,13	0,08	15,71	15,75	0,59	0,18
$\sum$	99,23	99,11	99,94	99,67	99,75	98,86	99,28	99,50	99,92
Strukturna formula na bazi 8O									
Si	3,00	3,01	2,98	2,96	2,97	3,00	3,00	2,83	2,85
Al	0,99	0,98	1,01	1,03	1,02	1,00	0,99	1,18	1,14
Fe^{3+}	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
Ca	0,00	0,00	0,03	0,04	0,05	0,00	0,00	0,15	0,15
Na	0,03	0,04	0,97	0,93	0,94	0,06	0,08	0,79	0,84
K	0,99	0,95	0,01	0,01	0,00	0,94	0,94	0,03	0,01
$\sum$	5,01	4,98	5,00	4,99	4,99	5,00	5,01	4,99	5,00
Or	96,99	96,04	0,98	0,75	0,44	93,85	92,37	3,42	1,02
Ab	3,01	3,70	96,18	95,61	94,64	5,97	7,56	80,94	83,74
An	0,00	0,26	2,85	3,64	4,93	0,18	0,07	15,64	15,24

Kratice: Or – ortoklas, Ab – albit, An – anortit, K-fsp – K-feldspat, plag – plagioklas, AF granit – alkalijsko-feldspatski granit, mnz diorit – monzodiorit

Tablica 9.1 Kemijski sastav reprezentativnih feldspata (nastavak)

Uzorak	*Mar-4-9*	*Mar-4-9*	*Mar-4-9*	*Mar-4-9*	*Os-2A-2*	*Os-2A-2*	*Os-2A-2*	*TR-1-2*	*TR-1-2*	*TR-1-2*	*TR-1-2*
Stijena	mil. gnajs	mil. gnajs	mil. gnajs	mil. gnajs	mnz granit	mnz granit	mnz granit	lc granit	lc granit	lc granit	lc granit
Mineral	K-fsp	K-fsp	plag	plag	K-fsp	plag	plag	K-fsp	K-fsp	plag	plag
Broj zrna	5	5	6	6	7,00	8	8	9	9	10	10
Pozicija	jezgra	rub	jezgra	rub	rub	jezgra	rub	jezgra	rub	jezgra	rub
SiO_2	66,07	65,42	62,50	62,60	63,78	67,69	65,47	64,40	64,55	70,24	71,71
Al_2O_3	18,35	18,15	23,28	22,44	17,77	21,91	20,74	18,04	18,31	19,44	19,22
Fe_2O_3	0,02	0,02	0,05	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,01	0,03	5,65	4,96	0,04	3,07	2,27	0,03	0,05	1,00	0,56
Na_2O	0,44	0,48	8,01	8,95	0,99	6,95	10,39	0,29	0,34	9,03	7,97
K_2O	11,61	12,61	0,19	0,32	15,23	0,11	0,32	16,39	16,33	0,09	0,09
∑	96,60	96,81	99,71	99,43	98,06	99,92	99,39	99,42	100,00	99,83	99,61
					Strukturna formula na bazi 8O						
Si	3,07	3,05	2,78	2,79	3,01	2,94	2,90	3,00	3,00	3,04	3,09
Al	1,00	1,00	1,22	1,18	0,99	1,12	1,08	0,99	1,00	0,99	0,98
Fe^{3+}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00	0,27	0,24	0,00	0,14	0,11	0,00	0,00	0,05	0,03
Na	0,04	0,04	0,69	0,77	0,09	0,59	0,89	0,03	0,03	0,76	0,67
K	0,69	0,75	0,01	0,02	0,92	0,01	0,02	0,98	0,97	0,00	0,00
∑	4,80	4,85	4,96	5,01	5,00	4,80	5,01	5,00	5,00	4,84	4,76
Or	94,53	94,41	1,08	1,78	90,87	0,82	1,77	97,21	96,68	0,59	0,70
Ab	5,38	5,43	71,18	75,19	8,95	79,72	87,65	2,63	3,09	93,66	95,57
An	0,09	0,16	27,74	23,03	0,19	19,46	10,58	0,16	0,24	5,75	3,73

Kratice: Or – ortoklas, Ab – albit, An – anortit, K-fsp – K-feldspat, plag – plagioklas, mil. gnajs – milonitni gnajs, mnz granit – monzogranit, lc granit – leukogranit



Slika 9.1 Trokomponentni Ab-An-Or dijagram analiziranih feldspata. Or – ortoklas, San – sanidin, Anor – anortoklas, Ab – albit, Olig – oligoklas, And – andezin, Lab – labrador, By – bitovnit, An – anortit.

U **alkalijsko-feldspatskom granitu (Pri-1-5)** analiziran je sastav K-feldspata, njegovih albitnih eksolucijskih lamela i plagioklasa asociranog s nakupinama hornblende i biotita.

Analizirani K-feldspat nalazi se u samom vrhu trokomponentnog Ab-An-Or dijagrama, blizu idealnog sastava ortoklasa (**Slika 9.1**). Strukturna formula analiziranog K-feldspata glasi $Or_{94,2-97,5}Ab_{2,5-5,7}An_{0-0,1}$ za jezgru zrna te $Or_{95,1-97,3}Ab_{2,7-4,8}An_{0-0,3}$ za rub zrna. Jasno je vidljivo da ne postoje razlike u sastavu jezgre i ruba zrna K-feldspata za analizirane elemente.

Analizirani plagioklas nalazi se zajedno s albitnim lamelama unutar polja albita u Ab-An-Or dijagramu (**Slika 9.1**). Strukturna formula albitnih eksolucijskih lamela unutar K-feldspata glasi $Or_{0,5-1,5}Ab_{94,0-99,1}An_{0,3-4,6}$, a zrna plagioklasa $Or_{0,8-1,8}Ab_{93,4-95,6}An_{3,6-4,8}$ za jezgru te $Or_{0,4-1,3}Ab_{93,5-95,7}An_{3,5-5,9}$ za rub zrna. Općenito, albitne eksolucijske lamele unutar K-feldspata imaju sastav bliži idealnom albitu nego zrna plagioklasa.

U **monzodioritu (Ob-34B)** analiziran je sastav plagioklasa i ortoklasa. Plagioklas je dominantno oligoklas, a manjim dijelom albit (**Slika 9.1**).

Sastav ortoklasa odgovara vrijednostima $Or_{87,1\text{-}93,8}Ab_{6,0\text{-}12,7}An_{0,2}$ za jezgru i $Or_{81,9\text{-}96,6}Ab_{2,8\text{-}14,0}An_{0,1}$ za rub zrna. Visoki udio albitne komponente u ortoklasu može se objasniti postojanjem mikropertitnih i kriptopertitnih lamela, koje su već spomenute u poglavlju o rezultatima petrografskih analiza. Ovakav ortoklas je visokotemperaturan. Jedna kemijska analiza odgovara anortoklasu, no moguće je da se radi o pogreški uslijed analize u blizini granice zrna.

Sastav plagioklasa odgovara vrijednostima $Or_{1,0\text{-}3,4}Ab_{77,7\text{-}83,1}An_{15,5\text{-}21,1}$ za jezgru i $Or_{0,7\text{-}3,1}Ab_{77,6\text{-}91,3}An_{8,0\text{-}21,0}$, za rub, iz čega proizlazi da analizirani plagioklas ima izraženu normalnu zonalnost. Analizirani rubovi klasificirani su kao albit i oligoklas, a jezgre isključivo kao oligoklas (**Slika 9.1**).

U **milonitnom gnajsu (Mar-4-9)** analiziran je sastav plagioklasa i K-feldspata. Analizirani plagioklas ima širok raspon sastava, od albita do andezina, ali najveći broj mjerenih zrna po sastavu je oligoklas (**Slika 9.1**).

Sastav K-feldspata odgovara vrijednostima $Or_{91,0\text{-}95,2}Ab_{4,7\text{-}8,9}An_{0,0\text{-}0,2}$ za analizirane jezgre te $Or_{88,0\text{-}96,0}Ab_{3,9\text{-}12,0}An_{0,2\text{-}0,9}$ za rub zrna. Osim nešto nižeg sadržaja Or-komponente, vjerojatno uzrokovanog alteracijom u minerale glina, nisu zamijećene značajnije razlike u sastavu jezgre i ruba zrna.

Sastav plagioklasa iz uzorka Mar-4-9 nalazi se u rasponu $Or_{0,9\text{-}15,8}Ab_{62,7\text{-}78,9}An_{19,6\text{-}31,0}$ za analizirane jezgre te $Or_{0,8\text{-}7,2}Ab_{63,3\text{-}84,4}An_{8,3\text{-}27,0}$ za rub zrna. Analizirana zrna pokazuju normalnu zonalnost, s povećanjem albitne komponente od jezgre prema rubu. Povišeni sadržaj Or-komponente u pojedinim analizama posljedica je sericitizacije zrna, koja je uočena i tijekom petrografske analize.

U **monzogranitu (Os-2A-2)** analiziran je sastav plagioklasa i K-feldspata (**Slika 9.1**). Plagioklas je po sastavu većinom albit, a manjim dijelom oligoklas.

Sastav K-feldspata nalazi se u rasponu $Or_{92,7\text{-}95,6}Ab_{4,4\text{-}6,4}An_{0,0\text{-}2,6}$ za analizirane jezgre i $Or_{86,2\text{-}94,9}Ab_{4,8\text{-}13,5}An_{0,0\text{-}1,4}$ za rubove zrna. Općenito su jezgre nešto bliže idealnom sastavu K-feldspata.

Sastav plagioklasa iz uzorka Os-2A u rasponu je $Or_{0,4\text{-}0,8}Ab_{79,7\text{-}97,5}An_{2,1\text{-}19,5}$ za jezgru zrna te $Or_{0,2\text{-}4,8}Ab_{87,6\text{-}99,7}An_{0,1\text{-}11,1}$ za rub zrna, iz čega proizlazi da su zrna plagioklasa normalno zonalna. Po sastavu odgovaraju albitu i oligoklasu.

U uzorku **leukogranita (TR-1-2)** analiziran je sastav K-feldspata i plagioklasa (**Slika 9.1**). Plagioklas odgovara albitu, s rasponom vrijednosti $Or_{0,4\text{-}1,0}Ab_{93,7\text{-}98,8}An_{0,9\text{-}5,8}$ za jezgru zrna i $Or_{0,5\text{-}0,9}Ab_{95,6\text{-}99,3}An_{0,2\text{-}3,7}$ za rub zrna.

Sastav K-feldspata iznosi $Or_{93,6\text{-}97,2}Ab_{2,6\text{-}6,3}An_{0,1\text{-}0,2}$ za analizirane jezgre zrna i $Or_{94,9\text{-}97,3}Ab_{2,7\text{-}4,7}An_{0,0\text{-}0,2}$, iz čega je vidljivo da su zrna homogena.

9.2. Amfibol

Amfibol predstavlja jedan od glavnih minerala u monzodioritu (Ob-34B), a pojavljuje se kao sporedni mineral u alkalijsko-feldpatskom granitu (Pri-1-5). Sastav amfibola analiziran je u 20 točaka u uzorku Ob-34 te 12 točka u uzorka Pri-1-5. Točke su pozicionirane u jezgrama i na rubovima zrna, kako bi se detektirala eventualna kemijska zonalnost zrna. Strukturne formule izračunate su na temelju 23 O (Leake i dr., 1997) i 15 kationa. Sastav reprezentativnih amfibola prikazan je u **Tablici 9.2**.

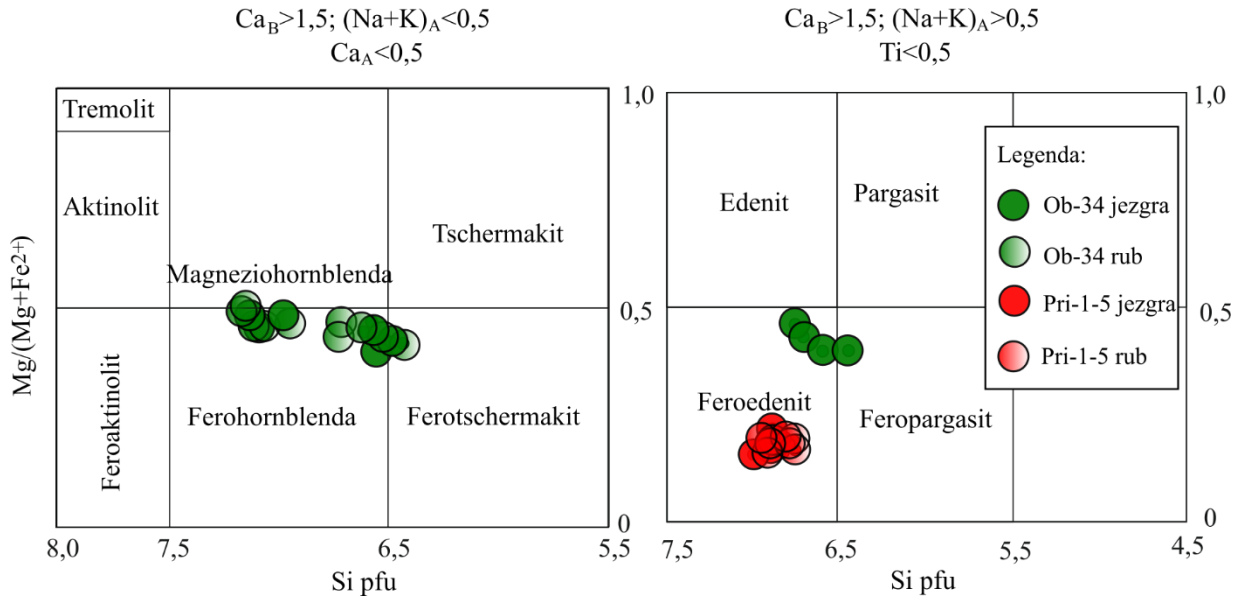
Tablica 9.2 Kemijski sastav reprezentativnih amfibola.

Uzorak	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*	*Ob-34B*	*Ob-34B*	*Ob-34B*	*Ob-34B*
Stijena	AF granit	AF granit	mnz diorit	mnz diorit	mnz diorit	mnz diorit
Mineral	fedn	fedn	fedn	fedn	fhbl	fhbl–
Oznaka zrna	1	1	2	2	3	3
Pozicija	jezgra	rub	jezgra	rub	jezgra	rub
SiO_2	42,66	42,81	42,16	44,31	47,42	47,16
TiO_2	1,19	1,14	3,16	2,20	1,31	1,22
Al_2O_3	6,90	6,84	9,48	7,88	5,62	5,68
Cr_2O_3	0,02	0,00	0,03	0,06	0,02	0,00
FeO	29,37	29,66	21,70	21,32	20,76	21,18
MnO	0,72	0,74	0,44	0,42	0,48	0,42
NiO	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00
MgO	3,52	3,24	8,15	8,84	10,11	9,83
CaO	10,08	9,96	10,51	10,79	10,95	10,89
Na_2O	2,42	2,39	2,44	2,00	1,26	1,25
K_2O	1,07	1,11	0,57	0,74	0,59	0,65
Σ	97,95	97,91	98,77	98,59	98,56	98,28
	Strukturna formula na temelju 23 O					
Si	6,78	6,81	6,44	6,44	7,09	7,08
Al(IV)	1,22	1,19	1,56	1,35	0,91	0,92
ΣT	8,00	8,00	8,00	7,79	8,00	8,00
Al(VI)	0,07	0,09	0,15	0,00	0,08	0,09
Ti	0,14	0,14	0,36	0,24	0,15	0,14
Fe^{2+}	3,51	3,55	2,77	2,59	2,34	2,39
Fe^{3+}	0,39	0,39	0,00	0,00	0,26	0,27
Mn	0,10	0,10	0,06	0,05	0,06	0,05
Mg	0,83	0,77	1,86	1,92	2,25	2,20
ΣC	5,00	5,00	5,00	4,80	5,00	5,00
Ca	1,72	1,70	1,72	1,68	1,75	1,75
Na	0,24	0,26	0,08	0,32	0,11	0,11
ΣB	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Na	0,51	0,48	0,64	0,24	0,25	0,25
K	0,22	0,23	0,11	0,14	0,11	0,12
ΣA	0,72	0,70	0,75	0,38	0,37	0,38

Kratice: AF granit – alkalijsko-feldspatski granit, mnz diorit – monzodiorit, fedn – feroedenit; fhbl – ferohornblenda.

Prema klasifikacijskom dijagramu Leake i dr. (1997) svi amfiboli analizirani u uzorcima Ob-34B i Pri-1-5 su kalcijski s Ca_B >1,5 (**Slika 9.2**). Općenito se mogu razlikovati dvije skupine analiziranih amfibola. Amfibol iz uzorka Pri-1-5 te dio amfibola iz uzorka Ob-34B, pri čemu se radi isključivo o jezgrama krupnijih zrna, klasificiran je kao feroedenit [$(Na+K)_A > 0,5$]. Većina

analiziranih zrna (najveći dio jezgara i svi rubovi) iz uzorka Ob-34B imaju kemizam ferohornblende [$(Na+K)_A<0,5$].



Slika 9.2 Klasifikacijski dijagram analiziranih amfibola iz uzoraka Ob-34B i Pri-1-5 (Leake i dr. 1997). Si pfu – silicij po formulskoj jedinici.

Sadržaj tetraedrijskog silicija (T_{Si}) u feroedenitu iz uzorka **alkalijsko feldspatskog granita (Pri-1-5)** nalazi se u rasponu između 6,75 i 6,98, a udio tetraedrijskog aluminija između 1,02-1,25. Ovakav raspored iona omogućuje ulazak velikih kationa Na^+ i K^+ u kristalnu strukturu. Zbroj $(Na+K)_A$ ima vrijednost između 0,54 i 0,75, dok je vrijednost Na_B u prosjeku 0,28, a Ca_B 1,69. Ukupan udio aluminija je ujednačen, u rasponu vrijednosti 1,08-1,34 atoma po formulskoj jedinici. Indeks magnezičnosti [$Mg^{\#}=Mg/(Mg+Fe^{2+})$] je nizak i u rasponu je od 16,41% do 19,86%. Omjer Fe/(Fe+Mg) je visok, s vrijednostima od 0,79 do 0,85. Sastav analiziranih feroedenita može se izraziti formulom:

$(K_{0,2}Na_{0,5})_A(Na_{0,2-0,5}Ca_{1,5-1,7})_B[(Mn_{0,1}Fe^{2+}{}_{3,3-3,6}Mg_{0,7-1,0})(Fe^{3+}{}_{0,4}Ti_{0,1-0,2}Al_{0,0-0,1})]_C(Si_{6,8-7,0}Al_{1,0-1,2})O_{22}(OH)_2$ za jezgru i

$(K_{0,2}Na_{0,4-0,5})_A(Na_{0,2-0,3}Ca_{1,7})_B[(Mn_{0,1}Fe^{2+}{}_{3,4-3,6}Mg_{0,7-0,8})(Fe^{3+}{}_{0,4}Ti_{0,1-0,2}Al_{0,1-0,2})]_C(Si_{6,7-6,9}Al_{1,1-1,3})O_{22}(OH)_2$za rub.

Od jezgre prema rubu smanjuje se sadržaj tetraedrijskog silicija, a povećava sadržaj aluminija, što za posljedicu ima smanjenje udjela velikih kationa na poziciji A.

Feroedenit iz uzorka **monzodiorita (Ob-34B)** karakteriziran je sadržajem tetraedrijskog silicija u rasponu 6,44-6,70 i tetraedrijskog aluminija između 1,30 i 1,56 po formulskoj jedinici. Posljedično, $(Na+K)_A$ je povišen, u prosjeku iznosi 0,64 (raspon vrijednosti 0,54-0,75). Udio Na_B u prosjeku je 0,1, a Ca_B 1,75. Udio aluminija je povišen, s rasponom od 1,35 do 1,71, i prosječne

vrijednosti od 1,57 atoma po formulskoj jedinici. Indeks magnezičnosti je ujednačen i odgovara vrijednostima 40,1% do 45,09%. Omjer Fe/(Fe+Mg) iznosi 0,58-0,6. Sastav analiziranog feroedenita može se izraziti formulom:

$(K_{0,1\text{-}0,2}Na_{0,4\text{-}0,6})_A(Na_{0,0\text{-}0,1}Ca_{1,7\text{-}1,8})_B[(Mn_{0,0\text{-}0,1}Fe^{2+}_{2,5\text{-}2,8}Mg_{1,9})(Fe^{3+}_{0,0\text{-}0,3}Ti_{0,2\text{-}0,4}Al_{0,2})]_C(Si_{6,4\text{-}6,6}Al_{1,4\text{-}1,6})O_{22}(OH)_2$.

Sadržaj tetraedrijskog silicija u ferohornblendi u uzorku monzodiorita (Ob-34B) nalazi se u rasponu između 6,44 i 7,15 i pada od jezgre prema rubu, a povećava se sadržaj tetaredrijskog aluminija, koji je inače niži nego u fero-edenitu i nalazi se u rasponu 0,85-1,35 po formulskoj jedinici. Posljedično, zbroj $(Na+K)_A$ je niži u ferohornblendi, u prosjeku odgovara vrijednosti 0,35 (raspon 0,23-0,42), dok prosječni udio Na_B iznosi 0,15, a Ca_B 1,81. Udio aluminija je niži nego u feroedenitima i u prosjeku iznosi 1,12 po formulskoj jedinici (raspon 0,94-1,35). Indeks magnezičnosti odgovara vrijednostima 40,7% do 50,69%. Omjer Fe/(Fe+Mg) iznosi 0,52 do 0,59. Sastav analizirane ferohornblende može se izraziti formulom:

$(K_{0,1\text{-}0,2}Na_{0,1\text{-}0,3})_A(Na_{0,1\text{-}0,3}Ca_{1,7\text{-}1,8})_B[(Mn_{0,0\text{-}0,1}Fe^{2+}_{2,3\text{-}2,7}Mg_{1,8\text{-}2,2})(Fe^{3+}_{0\text{-}0,3}Ti_{0,1\text{-}0,2}Al_{0,0\text{-}0,1})]_C(Si_{6,5\text{-}7,1}Al_{1,0\text{-}1,3})O_{22}(OH)_2$

za jezgru i

$(K_{0,1}Na_{0,1\text{-}0,3})_A(Na_{0,0\text{-}0,3}Ca_{1,7\text{-}2,2})_B[(Mn_{0,0\text{-}0,1}Fe^{2+}_{2,3\text{-}2,6}Mg_{1,8\text{-}2,3})(Fe^{3+}_{0\text{-}0,3}Ti_{0,1\text{-}0,7}Al_{0,0\text{-}0,1})]_C(Si_{6,4\text{-}7,2}Al_{0,9\text{-}1,4})O_{22}(OH)_2$

za rub.

U uzorku Ob-34B općenito vrijedi pravilo da kod većih zrna amfibola, koja imaju fero-edenitnu jezgru i ferohornblendni rub, kao i kod srednje velikih amfibola, kojima je i jezgra i rub ferohornblenda, od jezgre prema rubu pada sadržaj Al^{IV} i suma Na_A+K_A, a raste sadržaj TSi. Također, indeks magnezičnosti raste od jezgre (40,1-44,2%) prema rubu (44,2-47,9%). Sitnija zrna ferohornblende pokazuju isti trend, no također su uočena reversno zonalna i homogena zrna.

9.3. Biotit

Biotit predstavlja najvažniji feromagnezijski mineral u većini analiziranih granitoida, a pojavljuje se u uzorku alkalijsko feldspatskog granita (Pri-1-5), monzodiorita (Ob-34B), milonitnog gnajsa (Mar-4-9) i monzogranita (Os-2A-2). Iz tog razloga, ovaj mineral je značajan za usporedbu različitih tipova magmi iz kojih su nastale navedene stijene.

Napravljene su 33 analize kemijskog sastava biotita, i to 18 analiza u uzorku Pri-1-5, 2 analize u uzorku Ob-34B, 10 analiza u uzorku Mar-4-9 te 3 analize u uzorku Os-2A-2. Strukturna formula biotita izračunata je na temelju 22 (O,OH). Sastav reprezentativnih analiza biotita prikazan je u **Tablici 9.3**.

Kako bi se istaknule razlike u kemijskom sastavu analiziranih biotita iz različitih uzoraka, osim klasifikacijskog dijagrama $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$-Al (IV) (**Slika 9.3**, Deer i dr., 1962), korišteni su i dijagrami Mg-ukupni Al (**Slika 9.4**, Nachit, 1985), te dijagrami odnosa MgO, FeO i Al_2O_3 (**Slika 9.5**, Abdel-Rahman, 1994).

Tablica 9.3 Kemijski sastav reprezentativnih zrna biotita

Uzorak	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*
Stijena	AF granit	AF granit	AF granit	AF granit	AF granit
Mineral	biotit	biotit	biotit	biotit	biotit
Opis	po hornblendi	nakupine MM	nakupine MM	intersticijski	intersticijski
Oznaka zrna	1	2	2	3	3
Pozicija	rub	jezgra	rub	jezgra	rub
SiO_2	34,46	36,55	36,39	36,1	36,32
TiO_2	2,02	3,66	3,77	3,55	3,25
Al_2O_3	12,42	12,61	12,91	12,33	13,12
Cr_2O_3	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
FeO	31,6	29,26	29,23	29,6	28,60
MnO	0,31	0,27	0,27	0,70	0,22
NiO	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03
MgO	5,41	4,47	4,07	4,80	4,71
CaO	0,04	0,01	0,04	0,00	0,01
Na_2O	0,03	0,04	0,04	0,03	0,07
K_2O	7,25	8,86	9,18	9,12	9,07
$\sum$	93,94	95,75	95,93	96,21	95,82
Si	5,47	5,63	5,60	5,58	5,61
Al (IV)	2,32	2,29	2,34	2,25	2,39
ΣT	7,79	7,92	7,95	7,83	7,99
Al (VI)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,24	0,42	0,44	0,41	0,38
Fe^{3+}	1,68	1,51	1,51	1,53	1,48
Fe^{2+}	2,52	2,26	2,26	2,30	2,22
Mn	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03
Mg	1,28	1,03	0,93	1,11	1,08
ΣM	5,75	5,25	5,17	5,38	5,18
Ca	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
K	1,47	1,74	1,80	1,80	1,79
ΣI	1,48	1,75	1,82	1,81	1,81

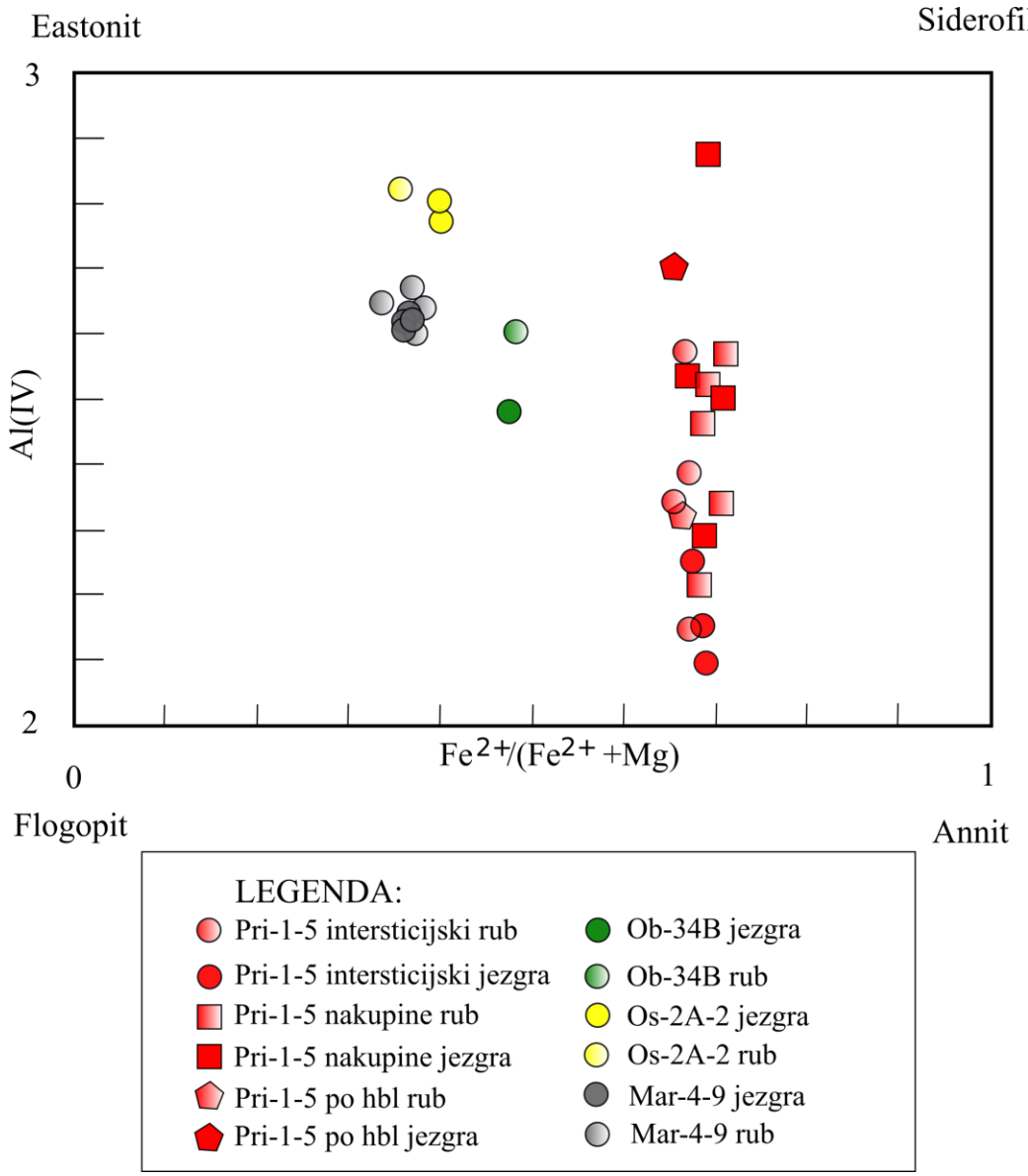
Kratice: AF granit-alkalijsko-feldspatski granit, MM-mafitni minerali.

Tablica 9.3 Kemijski sastav reprezentativnih zrna biotita (nastavak).

Uzorak	*Ob-34B*	*Ob-34B*	*Mar-4-9*	*Mar-4-9*	*Os-2A-2*	*Os-2A-2*
Stijena	mnz diorit	mnz diorit	mil. gnajs	mil. gnajs	mnz granit	mnz granit
Mineral	biotit	biotit	biotit	biotit	biotit	biotit
Oznaka zrna	4	4	5	5	6	7
Pozicija	jezgra	rub	jezgra	rub	jezgra	rub
SiO_2	32,47	33,41	36,10	36,86	35,18	32,68
TiO_2	3,34	5,06	3,26	1,73	2,14	1,83
Al_2O_3	13,94	13,43	15,77	16,79	19,56	19,41
Cr_2O_3	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00
FeO	27,29	25,31	20,42	19,48	20,66	23,69
MnO	0,12	0,27	0,47	0,42	0,31	0,25
NiO	0,08	0,04	0,00	0,01	0,00	0,02
MgO	8,12	7,87	9,77	10,74	8,86	9,71
CaO	0,13	0,24	0,01	0,01	0,01	0,04
Na_2O	0,16	0,12	0,12	0,10	0,13	0,11
K_2O	6,06	7,11	9,52	9,78	8,63	6,33
$\sum$	91,79	92,86	95,45	95,93	95,50	94,07
	Strukturna formula na bazi 24(O, OH)					
Si	5,14	5,23	5,33	5,35	5,18	4,91
Al (IV)	2,60	2,48	2,67	2,65	2,82	3,09
ΣT	7,75	7,71	8,00	8,00	8,00	8,00
Al (VI)	0,00	0,00	0,08	0,23	0,57	0,35
Ti	0,40	0,60	0,36	0,19	0,24	0,21
Fe^{3+}	1,59	1,31	1,69	1,88	1,43	1,57
Fe^{2+}	2,03	2,00	0,83	0,48	1,12	1,41
Mn	0,02	0,04	0,06	0,05	0,04	0,03
Mg	1,92	1,84	2,15	2,32	1,94	2,18
ΣM	5,95	5,79	5,17	5,16	5,34	5,75
Ca	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01
Na	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
K	1,22	1,42	1,79	1,81	1,62	1,21
I	1,30	1,49	1,83	1,84	1,66	1,25

Kratice: mnz diorit – monzodiorit, mil. gnajs – milonitni gnajs, mnz granit – monzogranit.

U klasifikacijskom dijagramu biotita $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$-Al (IV) jasno je vidljivo da se analizirani biotit iz različitih uzoraka prvenstveno razlikuje po sadržaju željeza u odnosu na magezij, dok su razlike u sadržaju tetraedrijskog aluminija (Al (IV)) od sporednog značenja (**Slika 9.3**).



Slika 9.3 Klasifikacijski dijagram $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$-Al(IV) analiziranog biotita.

U uzorku **alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-5)** analizirana su tri strukturna varijeteta biotita s različitim položajem unutar stijene, koji će u nastavku teksta biti zasebno prikazani. Općenito govoreći, biotit iz Pri-1-5 pokazuje relativno širok raspon tetraedrijskog aluminija (Al(IV)=2,10-2,71) pri uskom rasponu vrijednosti omjera $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$, od 0,66 do 0,71, što je ilustrirano na **Slici 9.2**. Sadržaj TiO_2 nalazi se u rasponu od 1,57 do 3,77 mas.%. Sadržaj MgO je nizak te prosječno iznosi 4,69 mas.%, dok je sadržaj željeza (FeO_t) visok, u prosjeku 29,76 mas.%. Posljedično, indeks magnezičnosti je nizak ($Mg^{\#}$=28,7-34,4%). Sadržaj K_2O u rasponu je od 6,14 do 9,42 mas.%, a u izrazito kloritiziranim uzorcima iznosi 1,91 mas.%.

Prvi strukturni varijetet je biotit koji se nalazi unutar alterirane hornblende. Izvršena je jedna analiza jezgre i jedna analiza ruba ovog biotita. Strukturna formula glasi

$K_{0,4}(Mg_{1,6}Fe^{2+}_{3,0}Fe^{3+}_{2,0}Ti_{0,1})(Al_{2,7}Si_{4,9}O_{20})(OH)_4$ za jezgru i

$K_{1,5}(Mg_{1,3}Fe^{2+}_{2,5}Fe^{3+}_{1,7}Ti_{0,2})(Al_{2,3}Si_{5,5}O_{20})(OH)_4$ za rub minerala. S obzirom da je jezgra alterirana, na što ukazuje i izuzetno nizak sadržaj kalija, sadržaj aluminija u jezgri je povišen u odnosu na rub.

Drugi strukturni varijetet je biotit koji zajedno s hornblendom i sporadično plagioklasom čini nakupine mafitnih minerala. Izvršene su četiri analize jezgre i pet analiza ruba navedenog biotita. Strukturna formula glasi:

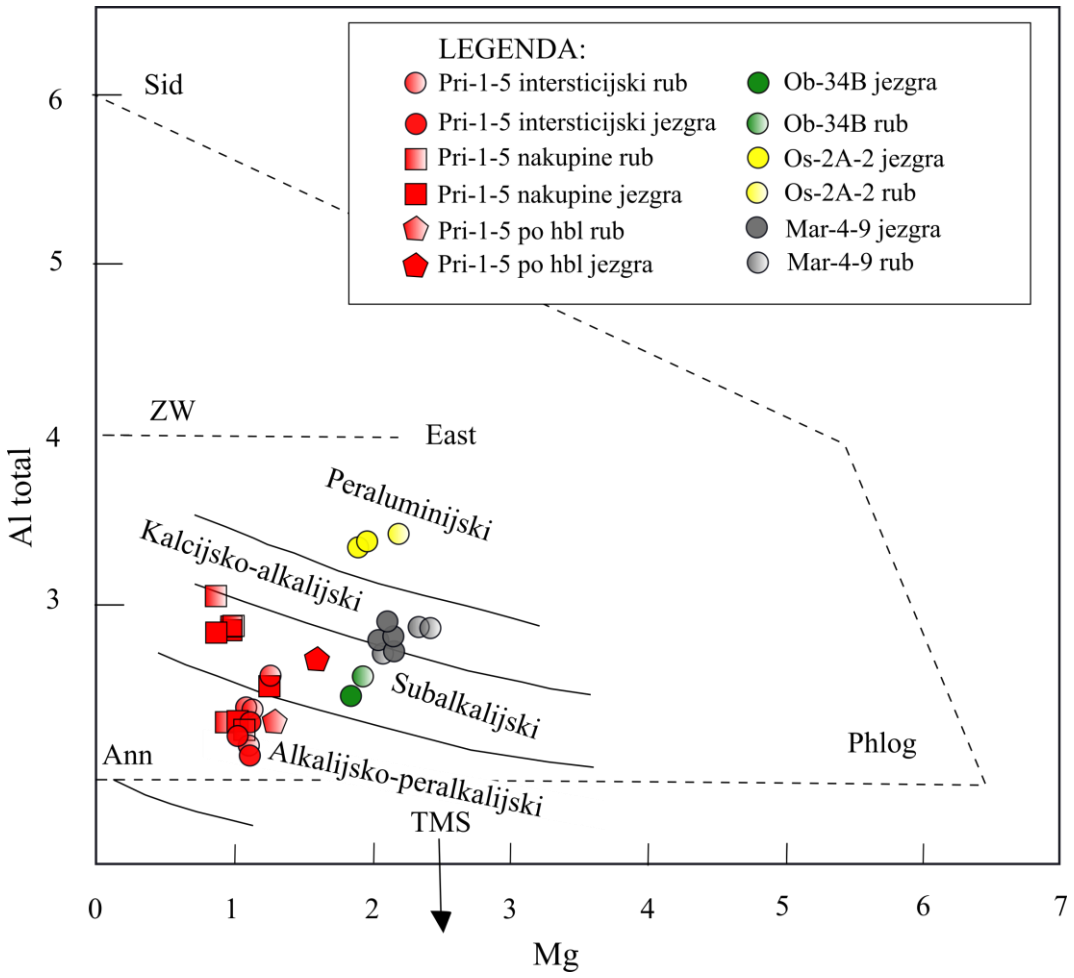
$K_{1,3\text{-}1,8}(Mg_{0,9\text{-}1,2}Fe^{2+}_{2,1\text{-}2,5}Fe^{3+}_{1,4\text{-}1,7}Ti_{0,2\text{-}0,4}Al_{0\text{-}0,4})(Al_{2,3\text{-}2,5}Si_{5,3\text{-}5,6}O_{20})(OH)_4$ za jezgru te

$K_{1,8}(Mg_{0,8\text{-}1}Fe^{2+}_{2,1\text{-}2,3}Fe^{3+}_{1,4\text{-}1,5}Ti_{0,2\text{-}0,4}Al_{0\text{-}0,5})(Al_{2,2\text{-}2,6}Si_{5,4\text{-}5,7}O_{20})(OH)_4$ za rub minerala. Razlike u sastavu između jezgre i ruba su zanemarive te se može reći da je biotit iz nakupina mafitnih minerala kemijski homogen.

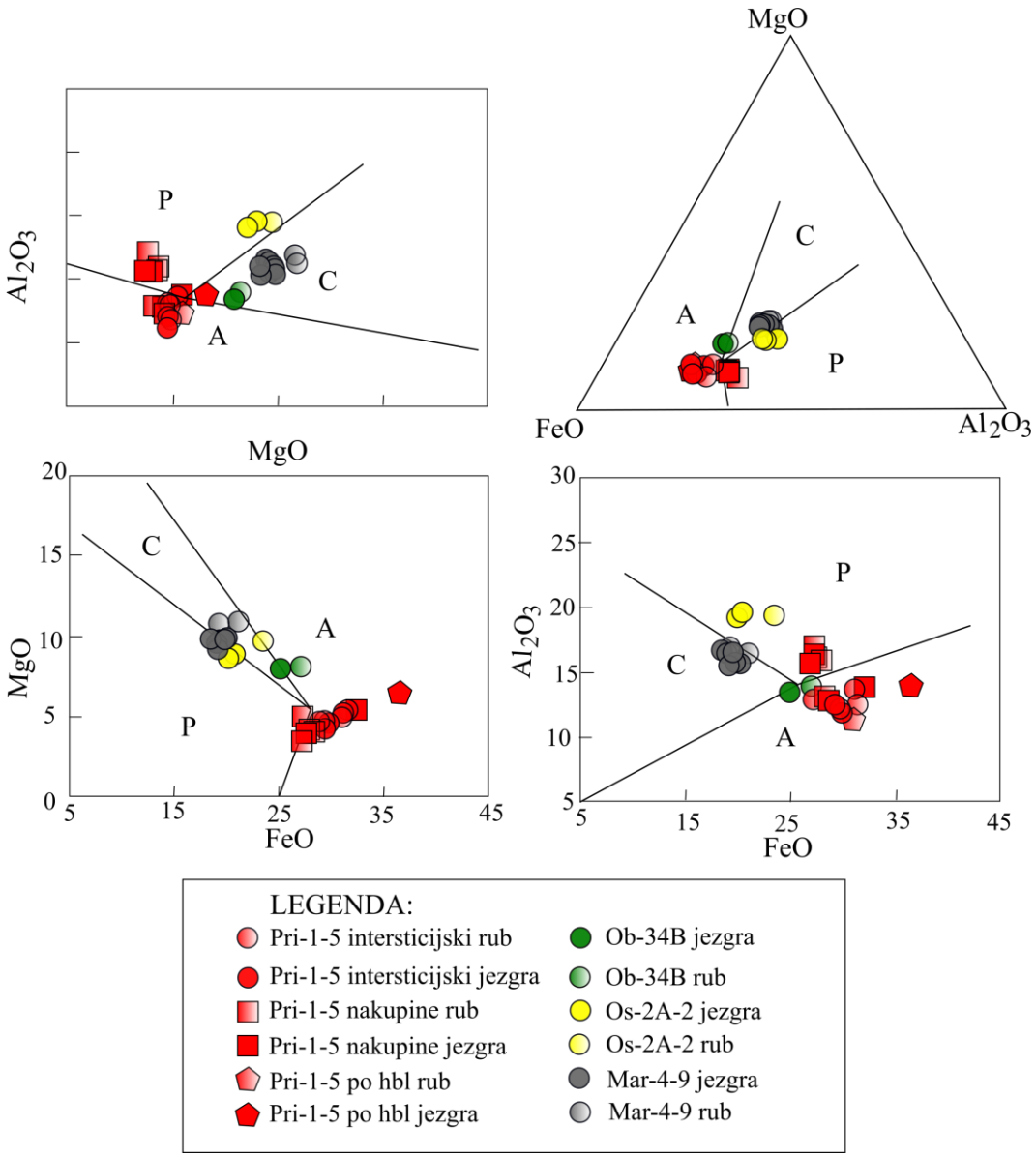
Treći strukturni varijetet je intersticijski biotit. Izvršene su tri analize jezgre i četiri analize ruba intersticijskog biotita. Strukturna formula glasi: $K_{1,7\text{-}1,8}(Mg_{1,1}Fe^{2+}_{2,3\text{-}2,4}Fe^{3+}_{1,5\text{-}1,6}Ti_{0,4})(Al_{2,1\text{-}2,2}Si_{5,6}O_{20})(OH)_4$ za jezgru minerala te $K_{1,3\text{-}1,8}(Mg_{1,1\text{-}1,2}Fe^{2+}_{2,1\text{-}2,5}Fe^{3+}_{1,4\text{-}1,7}Ti_{0,2\text{-}0,4})(Al_{2,1\text{-}2,6}Si_{5,4\text{-}5,7}O_{20})(OH)_4$ za rub minerala. Općenito se može uočiti jedva zamjetan porast tetraedrijskog aluminija i pad sadržaja željeza od jezgre prema rubu.

U Al_{tot}-Mg dijagramu (Nachit, 1985) većina analiziranih biotita iz uzorka alkalijsko-feldspatskog granita Pri-1-5 pada u polje alkalijsko-peralkalijskog (gotovo svi intersticijski, dio biotita vezanog za nakupine mafitnih minerala i rub biotita vezanog za alteriranu hornblendu), a manji broj u polje subalkalijskog biotita, i to dio biotita vezanog za nakupine mafitnih minerala, jezgra

biotita vezanog za alteriranu hornblendu i jedan rub intersticijskog biotita (**Slika 9.4**). U diskriminacijskim dijagramima po Abdel-Rahmanu (1994) subalkalijski biotiti iz prethodnog dijagrama nalaze se u polju peraluminijskog biotita, dok se ostatak biotit iz uzorka Pri-1-5 nalazi u polju alkalijskog biotita (**Slika 9.5**).



Slika 9.4 Sastav analiziranih biotita u dijagramu Mg – ukupni Al (Al total), po Nachit (1985). Sid-siderofilit, Phlog-flogopit, East-eastonit, Ann-anninit, ZW- zinnwaldit.



Slika 9.5 Sastav biotita u dijagramu a) MgO-Al_2O_3; b) FeO-Al_2O_3-MgO; c) FeO-MgO; d) MgO-Al_2O_3. A-alkalijski, P-peraluminijski, C-kalcijsko-alkalijski. Diskriminacijski dijagrami biotita po Abdel-Rahman (1994).

Sastav biotita iz uzorka **monzodiorita Ob-34B** analiziran je na jednom listiću u dvije točke – u jezgri i na rubu minerala. Vrijednost omjera $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ u ovom uzorku iznosi 0,66, a sadržaj tetraedrijskog aluminija 2,5 do 2,6 atoma po formulskoj jedinici. Sadržaj TiO_2 u rasponu je od 3,34 do 5,06 mas.%. Ukupni sadržaj željeza (FeO_t) iznosi 26,30 mas.%, a sadržaj MgO 8,00 mas.%. Sadržaj K_2O je nizak (6,06 do 7,11 mas. %), što ukazuje na djelomičnu kloritizaciju analiziranog biotita. Strukturna formula jezgre biotita iz uzorka Ob-34 glasi:

$K_{1,2}(Mg_{1,9}Fe^{2+}_{2,0}Fe^{3+}_{1,6}Ti_{0,4})(Al_{2,6}Si_{5,1}O_{20})(OH)_4$,

a ruba $K_{1,4}(Mg_{1,8}Fe^{2+}_{2,0}Fe^{3+}_{1,3}Ti_{0,6})(Al_{2,5}Si_{5,2}O_{20})(OH)_4$. Iz navedenog, s obzirom na minimalan broj mjerenja, može se samo pretpostaviti da se od jezgre prema rubu smanjuje udio magnezija, trovalentnog željeza i aluminija, a povećava udio titanija i silicija. U Al_{tot}-Mg dijagramu (Nachit, 1985) analizirani biotit iz uzorka Ob-34B nalazi se u polju subalkalijskog biotita (**Slika 9.4**), dok se u diskriminacijskim dijagramima po Abdel-Rahmanu (1994) projicira uglavnom oko graničnog područja kalcijsko-alkalijskog i alkalijskog biotita (**Slika 9.5**).

Biotit iz uzorka **milonitnog gnajsa (Mar-4-9)** pokazuje varijaciju Al(IV) od 2,6 do 2,8 pri uskom rasponu vrijednosti omjera $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$, od 0,2 do 0,3, što je vidljivo na **Slici 9.3**. Sadržaj TiO_2 u rasponu je od 1,73 do 3,22 mas.%. Ukupni sadržaj željeza (FeO_{tot}) iznosi u prosjeku 19,79 mas.%, a sadržaj MgO 9,75 mas.%. Sadržaj K_2O nalazi se u rasponu od 7,80 do 9,78%. Prosječna strukturna formula biotita iz uzorka Mar-4-9 glasi:
$K_{1,8}(Mg_{2,1}Fe^{2+}_{0,9-2,1}Fe^{3+}_{1,4-1,7}Ti_{0,4}Al_{0,1-0,3})(Al_{2,6-2,7}Si_{5,3-5,4}O_{20})(OH)_4$ za jezgru minerala i
$K_{1,5-1,8}(Mg_{2,1-2,4}Fe^{2+}_{0,5-1,0}Fe^{3+}_{1,6-1,9}Ti_{0,2-0,4}Al_{0,1-0,3})(Al_{2,6-2,8}Si_{5,2-5,4}O_{20})(OH)_4$ za rub minerala. Nije uočena značajnija kemijska zonalnost biotita iz uzorka milonitnog gnajsa Mar-4-9 pa se može zaključiti da je kemijski homogen. U Al_{tot}-Mg dijagramu (Nachit, 1985) biotit iz uzorka Mar-4-9 nalazi se unutar polja kalcijsko-alkalijskog biotita (**Slika 9.4**), a isto vrijedi i za diskriminacijske dijagrame po Abdel-Rahmanu (1994), što je vidljivo na **Slici 9.5**.

Analiza sastava biotita iz uzorka **monzogranita OS-2A-2** bila je otežana zbog izrazite alteriranosti biotita pa je analiziran u tri točke na dva listića. Karakteriziran je rasponom Al(IV) od 2,6 do 2,8 pri uskom rasponu vrijednosti indeksa omjera $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$, od 0,2 do 0,3, što je vidljivo na **Slici 9.3**. Sadržaj TiO_2 nalazi se u rasponu od 1,83 do2,14 mas.%. Ukupni sadržaj željeza (FeO_{tot}) iznosi 21,60 mas.%, a sadržaj MgO 9,05 mas.%. Indeks magnezičnosti je visok ($Mg^{\#}$=59,4-60,5). Sadržaj K_2O je u rasponu od 6,33 do 8,99 mas.%. Prosječna strukturna formula biotita iz uzorka Os-2A-2 glasi:
$K_{1,7}(Mg_{1,9}Fe^{2+}_{1,3}Fe^{3+}_{1,3}Ti_{0,2}Al_{0,6})(Al_{2,8}Si_{5,2}O_{20})(OH)_4$ za jezgru minerala i
$K_{1,2}(Mg_{2,2}Fe^{2+}_{1,5}Fe^{3+}_{1,5}Ti_{0,2}Al_{0,4})(Al_{3,1}Si_{5,0}O_{20})(OH)_4$ za rub minerala, pri čemu je vidljivo da sadržaj magnezija, željeza i tetraedrijskog raste prema rubu zrna, a opada sadržaj heksaedrijskog aluminija i silicija. U Al_{tot}-Mg dijagramu (Nachit, 1985) i u diskriminacijskim dijagramima po Abdel-Rahmanu (1994) biotit iz uzorka Os-2A-2 projicira se u polje peraluminijskog biotita (**Slika 9.4** odnosno **Slika 9.5**).

9.4. Muskovit

Kemizam muskovita analiziran je u u uzorcima monzogranita Os-2A-2 i leukogranita TR-1-2 (osamnaest analiza). Strukturna formula je izračunata na temelju 24 (O,OH). Sastav reprezentativnih analiza muskovita prikazan je u **Tablici 9.4**.

Tablica 9.4 Kemijski sastav reprezentativnih muskovita.

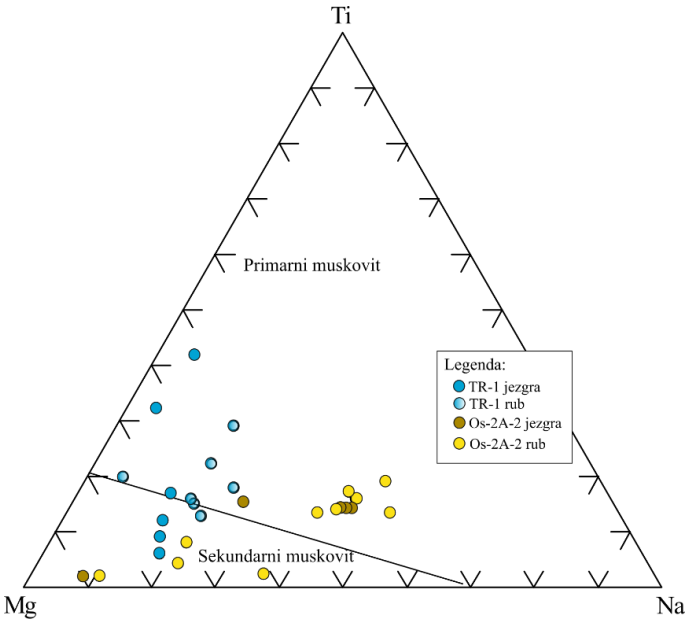
Uzorak	*TR-1-2*	*TR-1-2*	*Os-2A-2*	*Os-2A-2*
Stijena	lc granit	lc granit	mnz granit	mnz granit
Mineral	muskovit	muskovit	muskovit	muskovit
Oznaka zrna	2	2	5	5
Pozicija	jezgra	rub	jezgra	rub
SiO_2	49,04	47,46	46,67	46,39
TiO_2	1,00	0,84	0,57	0,66
Al_2O_3	25,56	32,40	34,60	34,85
Cr_2O_3	0,01	0,01	0,00	0,00
FeO	6,65	3,08	1,27	1,08
MnO	0,19	0,06	0,04	0,01
NiO	0,01	0,00	0,02	0,00
MgO	1,88	0,77	0,68	0,58
CaO	0,00	0,01	0,02	0,01
Na_2O	0,11	0,20	0,55	0,63
K_2O	10,60	10,86	10,46	10,47
$\sum$	95,06	95,69	94,86	94,70
	Strukturna formula na bazi 24 (O,OH)			
Si	6,92	6,59	6,22	6,20
Al(IV)	1,08	1,41	1,78	1,80
ΣT	8,00	8,00	8,00	8,00
Al (VI)	3,17	3,89	3,66	3,68
Ti	0,11	0,09	0,06	0,07
Fe^{3+}	0,78	0,36	0,08	0,07
Fe^{2+}	0,00	0,00	0,06	0,05
Mn	0,02	0,01	0,00	0,00
Mg	0,40	0,16	0,13	0,12
ΣM	4,48	4,50	4,00	3,98
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,03	0,05	0,14	0,16
K	1,91	1,92	1,78	1,78
ΣI	1,94	1,98	1,92	1,95

Kratice: lc granit – leukogranit, mnz granit – monzogranit.

U uzorku **monzogranita (Os-2A-2)** sadržaj TiO_2 nalazi se u rasponu 0,07-0,73 mas.%, sadržaj Fe_2O_3 u rasponu 0,71-1,60 mas.%, a sadržaj MgO je u rasponu 0,58-1,82 mas.%. Strukturna formula muskovita iz uzorka Os-2A-2 glasi:
$(K_{0,9\text{-}1,8}Na_{0,0\text{-}0,1})(Al_{3,5\text{-}3,7}Ti_{0,0\text{-}0,1}Fe^{3+}_{0,1}Mg_{0,1\text{-}0,3})[Si_{6,2\text{-}6,9}Al_{1,1\text{-}1,8}O_{20}](OH)_4$ za jezgru i
$(K_{0,8\text{-}1,8}Na_{0,0\text{-}0,2})(Al_{3,4\text{-}4,2}Ti_{0,0\text{-}0,1}Fe^{3+}_{0,1\text{-}0,2}Mg_{0,1\text{-}0,3})[Si_{6,2\text{-}6,9}Al_{1,1\text{-}1,8}O_{20}](OH)_4$ za rub zrna, iz čega je jasno vidljivo da ne postoji kemijska zonalnost za analizirane elemente.

Strukturna formula muskovita iz uzorka **leukogranita (TR-1-2)** glasi:
$(K_{1,9\text{-}2,0}\ Na_{0,0})(Al_{3,0\text{-}3,8}Ti_{0,0\text{-}0,2}Fe^{3+}_{0,5\text{-}1,0}Mg_{0,2\text{-}0,4})[Si_{6,7\text{-}6,9}Al_{1,1\text{-}1,3}O_{20}](OH)_4$ za jezgru i
$(K_{1,9\text{-}2,3}Na_{0,0\text{-}0,1})(Al_{3,6\text{-}4,0}Ti_{0,0\text{-}0,1}Fe^{3+}_{0,2\text{-}0,5}Mg_{0,1\text{-}0,2})[Si_{6,6\text{-}7,6}Al_{0,4\text{-}1,4}O_{20}](OH)_4$ za rub zrna. Sadržaj TiO_2 u rasponu je 0,1-2,2 mas.% za jezgru i 0,2-0,9 mas.% za rub, sadržaj Fe_2O_3 iznosi 4,5-7,6 mas.% za jezgru i 2,2-4,9 mas.% za rub, a sadržaj MgO nalazi se u rasponu 1,0-1,9 mas.% za jezgru i 0,7-1,0 mas.% za rub. Jasno je vidljivo da analizirani listići muskovita pokazuju kemijsku zonalnost, pri čemu se od jezgre prema rubu smanjuje sadržaj TiO_2, Fe_2O_3 i MgO. Valja naglasiti da je sadržaj željeza u jezgri relativno visok.

U diskriminacijskom dijagramu Mg-Ti-Na, na temelju kojeg je moguće razlikovati primarni od sekundarnog muskovita (Miller i dr., 1981; Tartèse i Boulvais, 2010) većina analiziranih muskovita nalazi se u polju primarnog muskovita (**Slika 9.6**)



Slika 9.6 Trokomponentni Mg-Ti-Na dijagram za razlikovanje primarnog od sekundarnog muskovita (Miller i dr., 1981; Tartèse i Boulvais, 2010).

9.5. Oksidi

Kemijski sastav oksida analiziran je u 20 točaka u uzorku alkalijsko-feldspatskog granita Pri-1-5 te u tri točke u uzorku hornblenda monzodiorita Ob-34, pri čemu je analiziran sastav jezgre i ruba zrna, tamo gdje je bilo moguće. Dobivene sume pokazuju velika odstupanja od 100% što može biti uzrokovano visokim sadržajem trovalentnog željeza ili odstupanjem zbog korištenja standarda za silikatne minerale tijekom izvođenja analiza. Analizirani oksidi iz uzorka Pri-1 dominantno su magnetiti i sporadično ilmeniti, dok su u uzorku Ob-34 analizirani ilmeniti. Sastav magnetita prikazan je u **Tablici 9.5**, a sastav ilmenita u **Tablici 9.6**.

Tablica 9.5 Kemijski sastav reprezentativnih zrna magnetita.

Uzorak	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*
Stijena	AF granit	AF granit	AF granit	AF granit
Mineral	magnetit	magnetit	magnetit	magnetit
Oznaka zrna	1	1	2	2
Pozicija	jezgra	rub	jezgra	rub
SiO_2	0,12	0,14	0,12	0,64
TiO_2	2,50	7,72	0,22	0,12
Al_2O_3	0,14	0,18	0,04	0,20
Cr_2O_3	0,02	0,00	0,03	0,03
FeO	91,48	85,49	93,05	92,34
MnO	0,24	0,73	0,05	0,07
NiO	0,05	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,04	0,00	0,08
CaO	0,02	0,04	0,13	0,07
Na_2O	0,00	0,00	0,01	0,01
K_2O	0,01	0,02	0,00	0,02
Σ	94,58	94,35	94,05	93,98
	Strukturna formula na bazi 4O			
Si	0,00	0,01	0,00	0,02
Al	0,01	0,01	0,00	0,01
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe^{3+}	1,84	1,54	1,98	1,94
Ti	0,07	0,22	0,01	0,00
Σ	1,92	1,77	1,99	1,97
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe^{2+}	1,06	1,20	1,00	1,01
Ca	0,00	0,00	0,01	0,00
Mn	0,01	0,02	0,00	0,00
Σ	1,07	1,23	1,01	1,02
% usp	7,20	22,10	0,60	0,30
% mag	92,80	77,90	99,40	99,70

Kratice: AF granit – alkalijsko-feldspatski granit, % usp – postotak ulvospinela, % mag – postotak magnetita.

Strukturne formule magnetita izračunate su na bazi 4 atoma kisika. Udio ulvospinela izračunat je na temelju formule:

$$X'_{Usp} = \frac{(n_{Ti,F})(X_{Fe^{2+},S^{2+}})}{(0,5n_{Fe^{3+},F})(X_{Fe^{3+},S^{3+}})+(n_{Ti,F})(X_{Fe^{2+},S^{2+}})}$$ (Stromer, 1983), pri čemu je X'_{Usp} molarni udio ulvospinela, $n_{Ti,F}$ udio Ti u formulskoj jedinici, $X_{Fe^{2+},S^{2+}}$ molarni udio Fe^{2+} u odnosu na ostale dvovalentne katione, a $X_{Fe^{3+},S^{3+}}$ molarni udio Fe^{3+} u odnosu na ostale trovalentne katione.

Sastav analiziranih magnetita iz uzorka **alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-5)** nalazi se u rasponu $Mt_{92,8\text{-}99,8}Usp_{0,2\text{-}7,2}$ za jezgre te $Mt_{72,1\text{-}99,9}Usp_{0,1\text{-}27,9}$ za rubove zrna. Nizak sadržaj ulvospinela u većini analiziranih zrna posljedica je eksolucije titanske faze i formiranja ilmenitnih lamela u magnetitu, što je već opisano u poglavlju o SEM analizama. Sadržaj Al_2O_3 nalazi se u rasponu 0,0-0,1 mas.% za jezgru zrna te 0,0-0,1 mas.% za rub, Cr_2O_3 0,0-0,1 mas.% za jezgru i 0,0-0,1 za rub, MnO 0,0-0,2 mas.% za jezgru, 0,1-0,9 mas.% za rub, a MgO 0,0 mas.% za jezgru i 0,0-0,1 mas.% za rub. Općenito se može zaključiti da se od jezgre prema rubu povećava sadržaj TiO_2 i MnO.

Strukturna formula ilmenita izračunata je na bazi 3 O, uz balansiranje naboja Fe^{2+}i Fe^{3+} zbog značajnijeg udjela hematitne faze.

Tablica 9.6 Kemijski sastav odabranih zrna ilmenita.

Uzorak	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*	*Ob-34B*	*Ob-34B*
Stijena	AF granit	AF granit	AF granit	AF granit	mnz diorit	mnz diorit
Mineral	ilmenit	ilmenit	ilmenit	ilmenit	ilmenit	ilmenit
Oznaka zrna	1	1	2	2	3	3
Pozicija	jezgra	rub	jezgra	rub	jezgra	rub
SiO_2	0,00	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03
TiO_2	47,08	47,09	47,34	47,29	48,48	49,00
Al_2O_3	0,03	0,03	0,00	0,04	0,03	0,01
Cr_2O_3	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	0,02
FeO	45,50	46,16	46,08	45,36	47,34	48,00
MnO	3,82	3,66	3,45	3,56	1,85	1,43
NiO	0,03	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00
MgO	0,03	0,01	0,03	0,01	0,06	0,05
CaO	0,01	0,05	0,00	0,00	0,14	0,07
Na_2O	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02
K_2O	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01
	96,60	97,11	97,00	96,40	97,92	98,66
	Strukturna formula na bazi 3O					
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe^{3+}	0,51	0,52	0,52	0,51	0,39	0,30
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,87	0,86	0,87	0,87	0,89	0,91
Σ	1,38	1,38	1,38	1,38	1,28	1,21
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe^{2+}	0,42	0,42	0,42	0,42	0,58	0,69
Mn	0,08	0,08	0,07	0,07	0,04	0,03
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ	0,50	0,50	0,49	0,49	0,63	0,73
% ilm	70,20	70,00	70,10	70,30	78,80	84,20
% hem	29,80	30,00	29,90	29,70	21,20	15,80

Kratice: AF granit – alkalijsko-feldspatski grant, mnz diorit – monzodiorit, % ilm – postotak ilmenita, % hem – postotak hematita.

Sadržaj ilmenitne faze izračunat je na temelju formule

$$X'_{Ilm} = \frac{\sqrt{\left(n_{Fe^{2+},F}\right)\left(n_{Ti,F}\right)}}{\left(0{,}5n_{Fe^{2+},F}\right)+\sqrt{\left(n_{Fe^{2+},F}\right)\left(n_{Ti,F}\right)}}$$ (Stromer, 1983), pri čemu je X'_{Ilm} molarni udio ilmenita, $n_{Fe^{2+},F}$ udio Fe^{2+} po formulskoj jedinici, a $n_{Ti,F}$ udio Ti po formulskoj jedinici.

Sastav analiziranih zrna ilmenita iz uzorka **alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-5)** iznosi $Ilm_{50,4\text{-}78,9}Hem_{21,1\text{-}49,6}$ za jezgru i $Ilm_{59,6\text{-}70,2}Hem_{29,8\text{-}40,4}$ za rub zrna. Od ostalih komponenti sadržaj MnO iznosi 3,3-3,8 mas.% za jezgru i 3,3-3,7 mas.% za rub zrna, dok je sadržaj ostalih komponenti zanemariv.

Sastav analiziranih ilmenita iz uzorka **monzodiorita (Ob-34B)** iznosi $Ilm_{73,2\text{-}78,8}Hem_{21,2\text{-}26,8}$ za jezgru i $Ilm_{84,2}Hem_{16,8}$ za rub zrna. Od ostalih komponenti sadržaj MnO iznosi 1,9-2,9 mas.% za jezgru i 1,4 mas.% za rub zrna, dok je udio ostalih komponenti zanemariv. Sadržaj hematitne komponente i MnO smanjuje se od jezgre prema rubu zrna.

9.6. Epidot

Izvršeno je 11 analiza kemijskog sastava epidota u uzorku **alkalijsko feldspatskog granita (Pri-1-5)**. Strukturne formule izračunate su na bazi 12 atoma kisika i jedne OH skupine. Kemijski sastav je prikazan u **Tablici 9.7**.

Tablica 9.7 Kemijski sastav odabranih zrna epidota.

Uzorak	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*
Stijena	AF granit	AF granit	AF granit	AF granit
Mineral	epidot	epidot	epidot	epidot
Broj zrna	3	3	1	1
Pozicija	jezgra	rub	jezgra	rub
SiO_2	37,52	37,29	37,80	37,58
TiO_2	0,08	0,08	0,06	0,06
Al_2O_3	23,61	22,53	22,76	22,45
Cr_2O_3	0,03	0,03	0,00	0,00
FeO_{tot}	11,93	13,40	12,98	12,73
MnO	0,26	0,36	0,41	0,43
NiO	0,02	0,00	0,00	0,00
MgO	0,02	0,01	0,03	0,00
CaO	23,50	23,20	23,02	22,93
Na_2O	0,00	0,00	0,01	0,06
K_2O	0,01	0,02	0,00	0,00
∑	97,02	96,95	97,26	96,26
	Strukturna formula na bazi 12O i 1(OH)			
Si	2,86	2,86	2,88	2,89
Al(IV)	0,14	0,14	0,12	0,11
ΣZ	3,00	3,00	3,00	3,00
Al(VI)	1,98	1,89	1,93	1,93
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe^{3+}	0,76	0,86	0,83	0,82
Fe^{2+}	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,02	0,02	0,03	0,03
ΣM	2,77	2,78	2,79	2,78
Ca	1,92	1,91	1,88	1,89
ΣA	1,92	1,91	1,88	1,89
Ps	26,39	29,68	28,81	28,69

Kratice: AF granit-alkalijsko-feldpatski granit, Ps-postotak pistacitne komponente.

Analizirana zrna iz **alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-5)** karakterizirana su udjelom pistacitne komponente u rasponu 26,3-29,7%. Udio pistacitne komponente definiran je kao $Ps=100*Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al)$. Sadržaj MnO nalazi se u rasponu od 0,17 do 0,43 mas.%. Strukturna formula analiziranih epidota glasi:

$Ca_{1,9}(Fe^{3+}_{0,8}Al_{1,9-2,0})(Al_{0,1}Si_{2,9})O_{12}(OH)$ za jezgru i $Ca_{1,8-1,9}(Fe^{3+}_{0,8-0,9}Al_{1,9-2,0})(Al_{-0,1}Si_{2,9})O_{12}(OH)$ za rub zrna, iz čega je jasno vidljivo da za analizirane elemente nije izražena kemijska zonalnost. Praznine na poziciji A i na poziciji M ukazuju na moguće postojanje nekih elemenata koji nisu mjereni, vjerojatno REE, na što ukazuju i EDS spektri dobiveni tijekom analize na SEM-u.

9.7. Klorit

Kemijski sastav klorita analiziran je u ukupno 16 točaka (**Tablica 9.8**), pet analiza u uzorku alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-5), osam analiza u uzorku monzogranita (Os-2A-2) te tri analize u uzorku milonitnog gnajsa (Mar-4-9). U uzorku Pri-1-5 klorit je alteracijski produkt biotita i hornblende, dok je u ostala dva uzorka alteracijski produkt biotita. Strukturna formula klorita izračunata je na bazi 28 kisika i 16 OH. Svi analizirani kloriti su trioktaedrijski kloriti.

Tablica 9.8 Kemijski sastav odabranih zrna klorita.

Uzorak.	*Pri-1-5*	*Pri-1-5*	*Os-2A-2*	*Os-2A-2*	*Mar-4-9*	*Mar-4-9*
Stijena	AF granit	AF granit	mnz granit	mnz granit	mil. gnajs	mil. gnajs
Analiza	1	2	8	10	13	15
SiO_2	27,91	24,17	27,71	25,37	26,22	26,27
TiO_2	0,59	0,06	0,165	0,08	0,06	0,08
Al_2O_3	14,87	19,71	22,14	21,33	20,50	20,09
Cr_2O_3	0,02	0,00	0	0,00	0,01	0,00
FeO	37,63	39,14	26,8	29,19	27,85	27,14
MnO	0,34	0,63	0,195	0,40	0,49	0,51
NiO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01
MgO	7,02	4,45	11,89	12,92	14,72	14,74
CaO	0,09	0,03	0,044	0,04	0,03	0,02
Na_2O	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,00
K_2O	0,62	0,39	0,62	0,03	0,01	0,01
$\sum$	89,13	88,69	89,64	89,40	89,93	88,87
	Strukturna formula na bazi 28 O, 16 (OH)					
Si	6,14	5,41	5,68	5,31	5,41	5,47
Al	1,86	2,59	2,32	2,69	2,59	2,53
ΣT	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Al	1,99	2,60	3,02	2,56	2,40	2,40
Ti	0,10	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01
Fe^{3+}	0,69	0,73	0,46	0,51	0,48	0,47
Fe^{2+}	6,23	6,59	4,13	4,59	4,33	4,25
Mn	0,06	0,12	0,03	0,07	0,09	0,09
Mg	2,30	1,48	3,63	4,03	4,53	4,58
Ca	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Na	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00
K	0,18	0,11	0,16	0,01	0,00	0,00
ΣM	11,58	11,68	11,49	11,81	11,85	11,81
Fe/(Fe+Mg)	0,75	0,83	0,56	0,56	0,51	0,51

Kratice: AF granit – alkalijsko-feldpatski granit, mnz granit – monzogranit, mil. gnajs – milonitni gnajs.

Strukturna formula klorita u uzorku **alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-5)** glasi:

$(Na_{0,0-0,6}K_{0,0-0,2}Ca_{0,0-1,4}Mn_{0,0-0,1}Mg_{1,0-2,3}Fe^{2+}_{5,1-6,8}Fe^{3+}_{0,6-0,8}Ti_{0,0-0,2})Al_{1,9-2,6}(Si_{5,4-7,9}Al_{0,1-2,6})O_{28}(OH)_{16}$.

S obzirom da je Fe^{2+}>Mg, klorit iz uzorka Pri-1-5 klasificiran je kao chamosit (Bailey, 1980; 1988).

Strukturna formula klorita u uzorku **monzogranita (Os-2A-2)** glasi:

$(K_{0,0-0,2}Mn_{0,0-0,1}Mg_{3,6-4,0}Fe^{2+}_{4,1-4,6}Fe^{3+}_{0,5}Ti_{0,0-0,1})Al_{2,6-3,0}(Si_{5,2-5,7}Al_{2,3-2,8})O_{28}(OH)_{16.}$

S obzirom da je Fe^{2+}>Mg, klorit iz uzorka Os-2A-2 klasificiran je kao chamosit (Bailey, 1980; 1988).

Strukturna formula klorita u uzorku **milonitnog gnajsa (Mar-4-9)** glasi:

$(Mn_{0,1}Mg_{4,5-4,8}Fe^{2+}_{4,1-4,2}Fe^{3+}_{0,4-0,5})Al_{2,4}(Si_{5,4-5,5}Al_{2,5-2,6})O_{28}(OH,O)_{16.}$

S obzirom da je Mg>Fe^{2+}, klorit iz uzorka Mar-4-9 klasificiran je kao klinoklor (Bailey, 1980, 1988).

10. KEMIJSKI SASTAV STIJENA

Kemijski sastav stijena analiziran je na ukupno 23 uzorka, od čega je devet uzoraka iz područja Slavonsko-srijemske depresije, a 14 uzoraka iz istočnog dijela Dravske depresije. Osim granitoida analizirane su i s njima asocirane stijene. Iz Slavonsko-srijemske depresije analiziran je jedan uzorak alkalijsko-feldspatskog sijenita (Đt-48-5), tri uzorka alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5), jedan uzorak mikrogranita (Pri-2-1), jedan uzorak porfiroidnog granita (Ž-3-2), jedan uzorak riolita (Ž-3-2R) te dva uzorka milonitnog gnajsa (Tov-2-2, Đt-1-5). Iz istočnog dijela Dravske depresije analiziran je jedan uzorak metadijabaza (Lac-1A-3), jedan uzorak bazaltnog andezita (Ob-34-2B), jedan uzorak hornblenda dijabaza (Ob-34-9D), četiri uzorka monzodiorita (Ob-34, Ob-34B, Ob-22, Lac-1S-4), jedan uzorak granodiorita sa sitnim maftitnim enklavama (Ob-34-9G), jedan uzorak granodiorita (Ob-34-8G), jedan uzorak dacita (Lac-1S-8D), jedan uzorak leukogranita (TR-1-2), jedan uzorak monzogranita (Os-2A-2), jedan uzorak milonitnog gnajsa (Mar-4-9) i jedan uzorak gnajsa (Ob-34-22G).

10.1. Glavni elementi

Varijacije u sadržaju glavnih elemenata prikazane su u Harkerovim dijagramima, binarnim dijagramima u kojima se uobičajeno proučavaju varijacije oksida glavnih elemenata u odnosu na SiO_2, iako kao indeks diferencijacije može biti korišten i neki drugi element ili oksid koji je varijabilan u širokom rasponu unutar slijeda magmatskih stijena (npr. Zr ili MgO). Ovi dijagrami su važni za određivanje trendova u skupinama uzoraka koji su genetski povezani, odnosno tvore magmatske serije. U dijagramu SiO_2 – K_2O prikazane su i granice magmatskih serija po Pecerillo i Taylor (1976).

U geokemiji granita izuzetno je važan indeks zasićenosti aluminijem, A/CNK (Shand, 1927) koji je definiran kao molarni omjer $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$. Sličan indeks, A/NK, definiran je kao molarni omjer $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$. Stijene koje imaju A/CNK>1 su peraluminijske, one koje imaju A/CNK<1 i A/NK>1 su metaluminijske, dok A/NK>1 imaju peralkalne stijene. Indeks zasićenosti aluminijem izravno je povezan s modalnom mineralogijom stijene.

U geokemijskoj klasifikaciji granitnih stijena često se koristi ona po Frost i dr. (2001), a koja se temelji na tri varijable: a) Fe-broju (Fe*), b) modificiranom indeksu alkalija-kalcija (MALI *eng. modifeid alkali-lime index*) i c) indexu zasićenosti aluminijem (ASI *eng. aluminium saturation index*). Fe-broj definiran je kao FeO_{tot} /(FeO_{tot}+MgO). Na temelju vrijednosti ovog broja autori razlikuju željezovite i magnezijske granite. Indeks MALI definiran je kao Na_2O+K_2O-CaO. Na temelju navedenog indeksa i udjela SiO_2 u stijeni razlikuju se alkalijski, alkalijsko-kalcijski, kalcijsko-alkalijski i kalcijski graniti. Indeks zasićenosti aluminijem, za razliku od Shand (1927), korigiran je za apatit pa je definiran kao molekularni omjer Al/(Ca-1,67*P+Na+K). Na temelju ovog indeksa razlikuju se metaluminijski, peraluminijski i peralkalni graniti.

U prikazu kemizma glavnih elemenata korišten je i CIPW normativni sastav. Svi navedeni brojevi, indeksi i CIPW normativni sastav prikazani su zajedno s kemijskim analizama u odgovarajućim tablicama.

10.1.1. Slavonsko-srijemska depresija

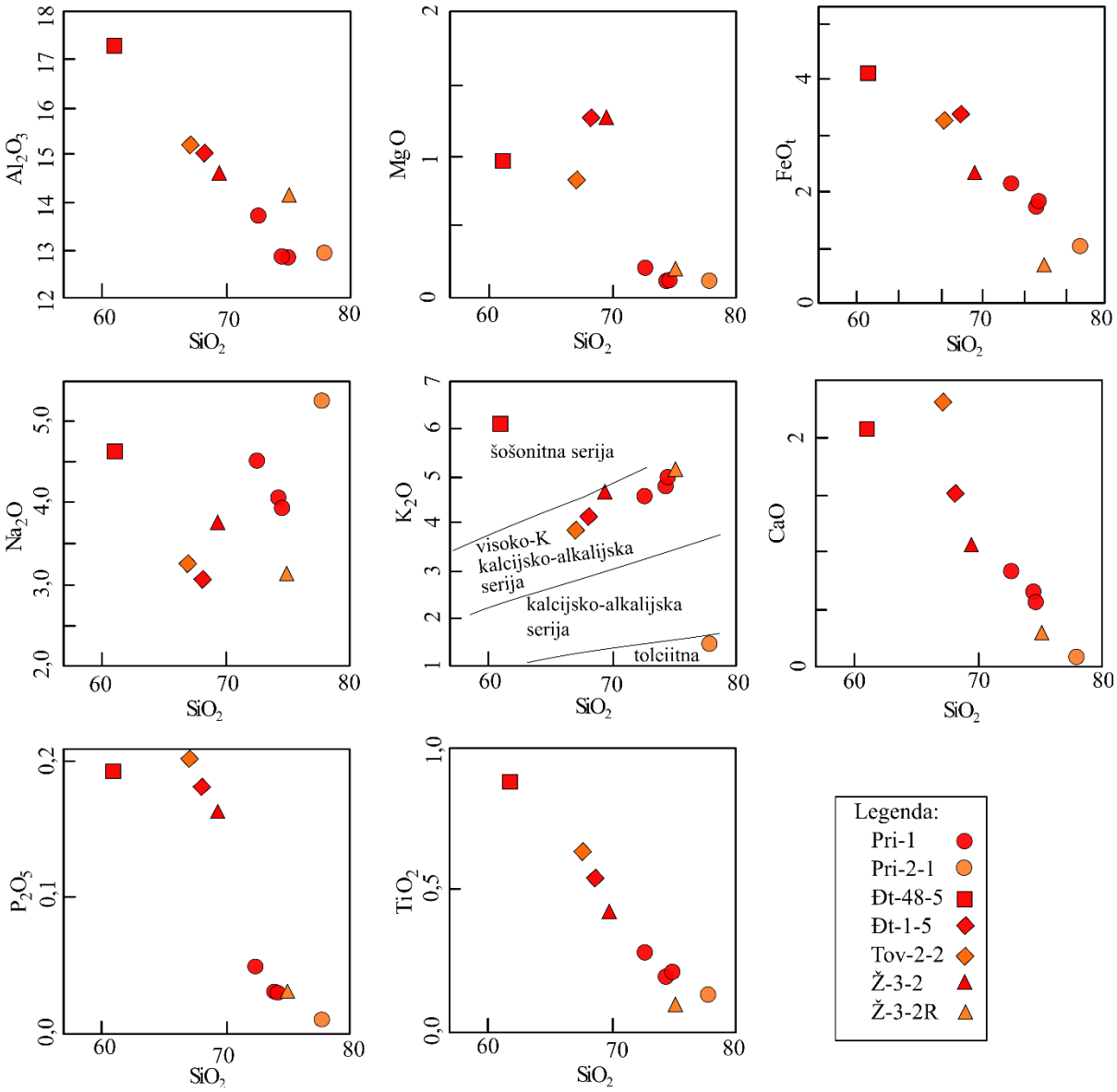
Analize oksida glavnih elemenata, izraženih u mas. %., odgovarajući indeksi i rezultati proračuna CIPW norme za istraživane stijene Slavonsko-srijemske depresije prikazani su u **Tablici 10.1**.

Tablica 10.1 Sadržaj oksida glavnih elemenata u mas. %, rezultati proračuna CIPW norme i najvažniji indeksi u analiziranim stijenama Slavonsko-srijemske depresije.

Uzorak	*Đt-48-5*	*Pri-1-3*	*Pri-1-4*	*Pri-1-5*	*Pri-2-1*	*Tov-2-2*	*Đt-1-5*	*Ž-3-2*	*Ž-3-2R*
Odredba	AF sijenit	AF granit	AF granit	AF granit	mikro granit	mil. gnajs	mil. gnajs	porf. granit	riolit
SiO_2	61,15	72,59	74,57	74,66	77,89	67,11	68,21	69,52	75,18
TiO_2	0,88	0,27	0,19	0,20	0,12	0,62	0,54	0,41	0,08
Al_2O_3	17,31	13,71	12,85	12,84	12,91	15,18	15,03	14,54	14,08
Fe_2O_3	4,53	2,37	1,94	1,99	1,11	3,63	3,76	2,58	0,70
MnO	0,07	0,04	0,03	0,02	<0,01	0,09	0,06	0,06	<0,01
MgO	0,97	0,22	0,13	0,14	0,12	0,83	1,28	1,28	0,18
CaO	2,07	0,84	0,64	0,55	0,07	2,32	1,51	1,05	0,26
Na_2O	4,60	4,50	4,04	3,92	5,25	3,24	3,05	3,70	3,09
K_2O	6,05	4,58	4,77	4,94	1,41	3,84	4,12	4,62	5,07
P_2O_5	0,19	0,05	0,03	0,03	0,01	0,20	0,18	0,16	0,03
G.Ž.	2,00	0,70	0,70	0,60	1,00	2,80	2,10	1,90	1,20
∑	99,79	99,88	99,89	99,9	99,93	99,85	99,85	99,85	99,96
Q	5,97	26,94	31,37	31,66	41,66	27,93	30,07	26,62	37,07
C	0,00	0,00	0,00	0,12	2,64	1,95	3,24	1,93	3,11
Or	35,75	27,07	28,19	29,19	8,33	22,69	24,35	27,30	29,96
Ab	38,92	38,08	34,19	33,17	44,42	27,42	25,81	31,31	26,15
An	8,72	3,68	2,84	2,53	0,28	10,20	6,32	4,16	1,09
Di	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hy	2,42	0,55	0,32	0,35	0,30	2,07	3,19	3,19	0,45
Ol	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Il	0,15	0,09	0,06	0,04	0,00	0,19	0,13	0,13	0,00
Hm	4,53	2,37	1,94	1,99	1,11	3,63	3,76	2,58	0,70
Tn	0,22	0,11	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ru	0,71	0,18	0,12	0,18	0,12	0,52	0,47	0,34	0,08
Ap	0,45	0,12	0,07	0,07	0,02	0,47	0,43	0,38	0,07
∑	97,84	99,18	99,20	99,30	98,90	97,08	97,76	97,94	98,68
A/NK	1,23	1,11	1,09	1,09	1,27	1,60	1,59	1,31	1,33
A/CNK	0,97	0,99	0,99	1,00	1,25	1,11	1,23	1,12	1,27
*Fe**	0,81	0,91	0,93	0,93	0,89	0,80	0,73	0,65	0,78
MALI	8,58	8,24	8,17	8,31	6,59	4,76	5,66	7,27	7,90
ASI	0,98	0,99	0,99	1,01	1,26	1,13	1,25	1,14	1,28

Q-kvarc, C-korund, Or-ortoklas, Ab-albit, An-anortit, Di-diopsid, Hy-hipersten, Ol-olivin, Il-ilmenit, Hm-hematit, Tn-titanit, Ru-rutil, Ap-apatit, A/NK-molarni omjer Al2O3/(K2O+ Na2O), A/CNK-molarni omjer Al2O3/(CaO+K2O+ Na2O), Fe*=FeOtot/(FeOtot+MgO), MALI= Na2O+ K2O-CaO, ASI-molarni omjer Al/(Ca-1,67*P+Na+K). AF alkalijsko-feldspatski; mil.gnajs – milonitni gnajs; porf. granit – porfiroidni granit.

Analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije imaju širok raspon u sadržaju SiO_2, od 61,15 mas.% u sijenitu (Đt-48-5) do 77,89 mas.% u mikrogranitu (Pri-2-1). Vrijedi istaknuti da su ove stijene karakterizirane visokim sadržajem K_2O i Na_2O u odnosu na CaO te visokim omjerom FeO_t/MgO. Varijacije oksida glavnih elemenata u odnosu na SiO_2 prikazane su u Harkerovim dijagramima na **Slici 10.1**.



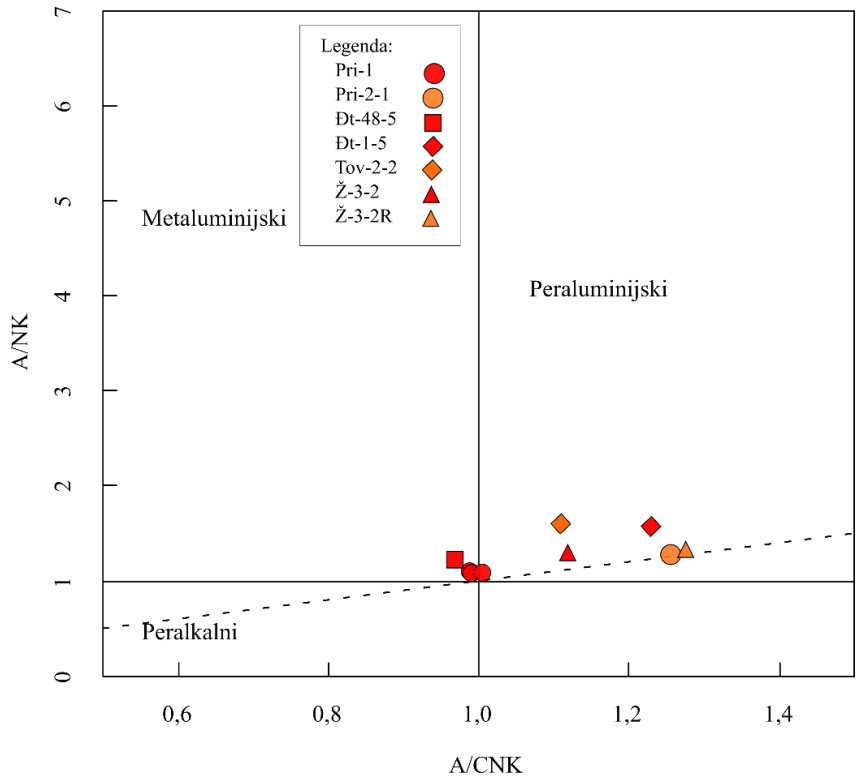
Slika 10.1 Binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) za glavne elemente u stijenama Slavonsko-srijemske depresije. U dijagramu SiO_2 – K_2O prikazane su i granice magmatskih serija po Pecerillo i Taylor (1976). Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5).

Generalno se može primijetiti prividni trend pada sadržaja Al_2O_3, FeO_t, CaO, P_2O_5 i TiO_2 s porastom SiO_2. Sadržaj MgO je nizak (0,12-1,28 mas.%) i ne pokazuje značajne varijacije s

porastom sadržaja SiO_2, iako je zamjetan prividni trend slabije izraženog pada. S druge strane, sadržaj K_2O i Na_2O generalno raste s porastom SiO_2. Važno je istaknuti da najviši sadržaj K_2O (6,05 mas.%) ima sijenit (Đt-48-5), koji ujedno ima i visok sadržaj Na_2O (4,5 mas.%). Iznimka od prividnog trenda u skupini je i mikrogranit (Pri-2-1) koji ima najniži sadržaj K_2O (1,41 mas.%), što je ilustrirano na **Slici 10.1**. Na dijagramu $SiO_2 - K_2O$ analizirane stijene iz Slavonsko-srijemske depresije imaju nizak sadržaj P_2O_5 (0,01-0,19 mas.%).

Stijene iz ove skupine karakterizirane su CIPW normativnim kvarcom i hiperstenom, a izostankom normativnog diopsida (**Tablica 10.1**). Uzorci sijenita (Đt-48-5) i alkalijsko-feldspatskih granita (Pri-1-3 i Pri-1-4) nisu karakterizirani normativnim korundom, dok uzorak alkalijsko feldspatskog granita (Pr-1-5) sadrži samo 0,12 normativnog korunda. Ostali uzorci su korund normativni (1,24-3,24 C_{norm}).

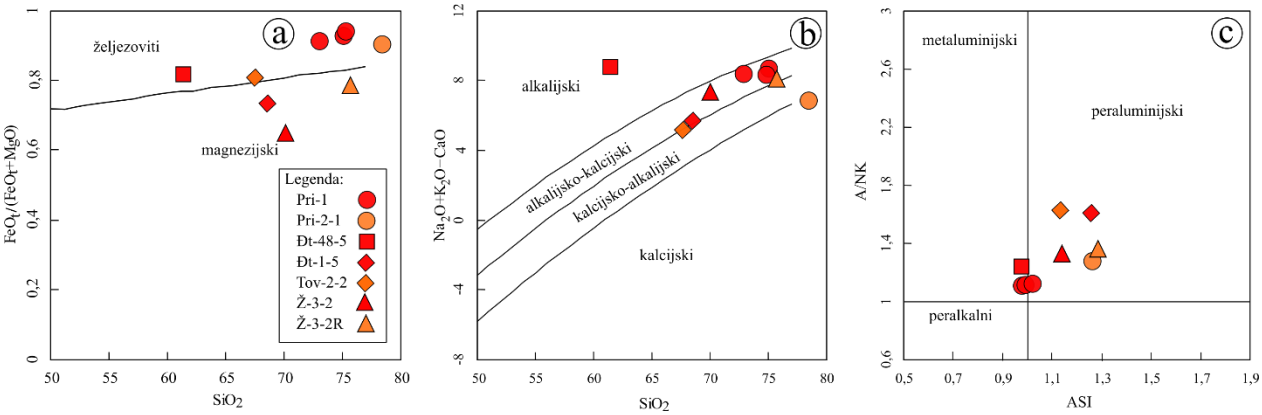
Na **Slici 10.2** analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije prikazane su u A/CNK – A/NK dijagramu (Shand, 1927).



Slika 10.2 Dijagram molarnog odnosa A/CNK [$Al_2O_3/(CaO+K_2O+Na_2O)$] i A/NK [$Al_2O_3/(K_2O+Na_2O)$] (Shand, 1927) za stijene Slavonsko-srijemske depresije. Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5).

Po odnosu A/CNK – A/NK alkalijsko-feldspatski sijenit (Đt-48-5) i alkalijsko-feldspatski graniti su metaluminijski (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5), dok su ostali uzorci peraluminijskog karaktera (**Slika 10.2)**.

Na **Slici 10.3** analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije prikazane su u klasifikacijskim dijagramima po Frost i dr. (2001).



Slika 10.3 Klasifikacija na temelju odnosa oksida glavnih elemenata za stijene Slavonsko-srijemske depresije po Frost i dr. (2001): a) dijagram SiO_2 – $FeO_{tot}/(FeO_{tot}+MgO)$; b) dijagram SiO_2 – Na_2O+K_2O-CaO; c) dijagram ASI – A/NK. Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5).

S obzirom na odnos ukupnog oksida željeza i magnezija, ove stijene najvećim su dijelom željezovite. Alkalijsko-feldspatski graniti (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5) imaju visok Fe* (0,91-0,93), mikrogranit (Pri-2-1) također (0,89), dok je Fe* alkalijsko-feldspatskog sijenita (Đt-48-5) nešto niži, ali i dalje je visok (0,81) (**Slika 10.3a**). Milonitni gnajs (Tov-2-2, Fe*=0,80) nalazi se blizu granice s magnezijskim stijenama. Drugi uzorak milonitnog gnajsa (Đt-1-5), porfiroidni granit (Ž-3-2) i riolit (Ž-3-2R) padaju u polje magnezijskih granita, s rasponom Fe* od 0,65 do 0,78. U odnosu na MALI, najveći broj uzoraka se projicira u polje alkalijsko-kalcijske serije, uz iznimku alkalijsko-feldspatskog sijenita (Đt-48-5) koji je alkalijski te mikrogranita (Pri-2-1) koji je kalcijski (**Slika 10.3b**). Ovakva odstupanja posljedica su visokog sadržaja kalija u alkalijsko-feldspatskom sijenitu (Đt-48-5) i niskog sadržaja navedenog elementa u mikrogranitu (Pri-2-1), što je vidljivo u **Tablici 10.1**. S obzirom na ASI, alkalijsko-feldspatski sijenit (Đt-48-5) i alkalijsko-feldspatski graniti (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5) klasificirani su kao metaluminijske stijene, dok su milonitni gnajsevi (Tov-2-2 i Đt-1-5), porfiroidni granit (Ž-3-2), mikrogranit (Pri-2-1) i riolit (Ž-3-2R) peraluminijski (**Slika 10.3c**), a što je u skladu s rezultatima klasifikacije na **Slici 10.2**.

10.1.2. Istočni dio Dravske depresije

Analize oksida glavnih elemenata, izražene u mas.%, odgovarajući indeksi i rezultati proračuna CIPW norme za istraživane stijene istočnog dijela Dravske depresije prikazani su u **Tablici 10.3.**

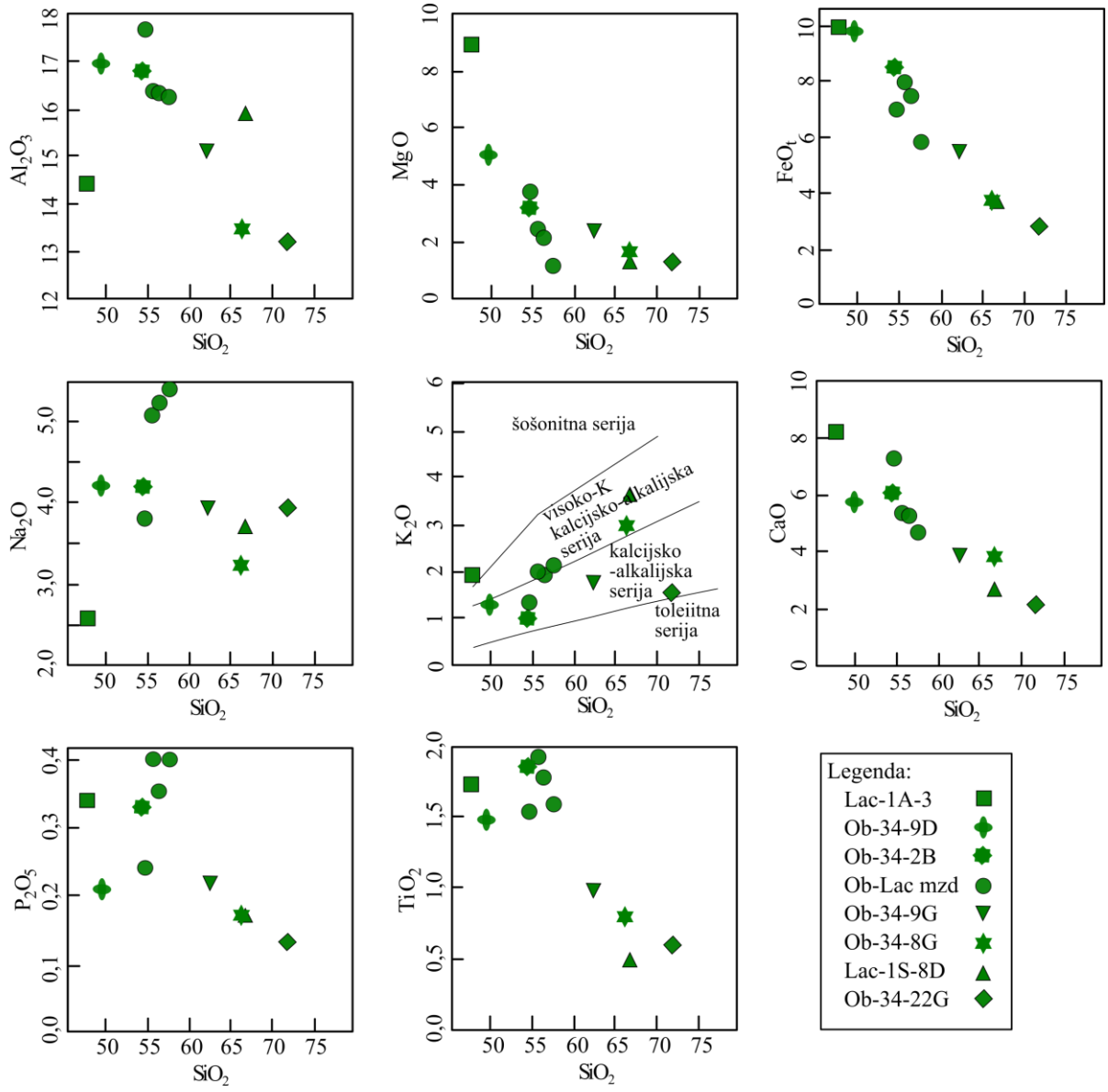
Tablica 10.2 Sadržaj glavnih oksida elemenata u mas. %, rezultati proračuna CIPW norme i najvažniji indeksi u analiziranim stijenama istočnog dijela Dravske depresije.

Uzorak	*Lac-1A-3*	*Ob-34-9D*	*Ob-34-2B*	*Ob-34B*	*Ob-34-22*	*Ob-34*	*Lac-1S-4*	*Ob-34-9G*	*Ob-34-8G*	*Lac-1S-8D*	*Ob-34-22G*	*Mar-4-9*	*Os-2A-2*	*TR-1*
Odredba	meta dijabaz	hbl dijabaz	bazaltni andezit	mnz diorit	mnz diorit	mnz diorit	mnz diorit	grd+ MME	grd	dacit	gnajs	mil. gnajs	mnz granit	lc. granit
SiO_2	47,85	49,63	54,44	54,68	55,61	56,40	57,63	62,30	66,36	66,91	71,90	64,98	74,31	76,75
TiO_2	1,72	1,47	1,86	1,54	1,92	1,77	1,58	0,99	0,78	0,49	0,59	0,49	0,19	0,09
Al_2O_3	14,41	16,97	16,78	17,68	16,36	16,34	16,26	15,18	13,46	15,90	13,20	16,25	13,36	13,62
Fe_2O_3	11,00	11,00	9,50	7,67	8,77	8,25	6,48	6,16	4,12	3,84	3,11	3,71	1,63	0,48
MnO	0,14	0,15	0,09	0,12	0,15	0,15	0,11	0,08	0,08	0,08	0,04	0,07	0,03	0,01
MgO	8,89	5,09	3,29	3,74	2,42	2,10	1,14	2,39	1,66	1,26	1,26	1,35	0,65	0,10
CaO	8,23	5,82	6,19	7,30	5,35	5,26	4,67	3,84	3,84	2,69	2,14	2,95	0,96	0,34
Na_2O	2,56	4,21	4,17	3,81	5,06	5,22	5,39	3,91	3,21	3,71	3,93	3,12	2,42	3,31
K_2O	1,94	1,36	1,00	1,32	1,97	1,92	2,13	1,85	3,05	3,62	1,54	4,37	4,09	4,48
P_2O_5	0,34	0,21	0,33	0,24	0,40	0,35	0,40	0,22	0,17	0,17	0,13	0,32	0,32	0,20
G.Ž.	2,50	3,90	2,10	1,70	1,80	2,00	4,00	2,90	3,10	1,10	2,00	1,90	1,90	0,60
∑	99,58	99,81	99,75	99,80	99,81	99,76	99,79	99,82	99,83	99,77	99,84	99,48	99,82	99,98
Q	0,00	1,36	10,08	8,53	6,39	7,08	9,00	21,31	26,80	24,32	37,06	22,68	42,47	40,05
C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00	1,39	1,49	1,79	3,97	3,19
Or	11,47	8,04	5,91	7,80	11,64	11,35	12,59	10,93	18,03	21,39	9,10	25,83	24,17	26,48
Ab	21,66	35,62	35,29	32,24	42,82	44,17	45,61	33,09	27,16	31,39	33,26	26,40	20,48	28,01
An	22,10	23,39	24,11	27,24	16,11	15,48	13,88	17,61	13,31	12,24	9,77	12,55	2,67	0,38
Di	8,62	0,00	0,00	1,96	1,34	2,14	1,25	0,00	1,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hy	15,39	12,68	8,20	8,41	5,41	4,24	2,26	5,95	3,33	3,14	3,14	3,36	1,62	0,25
Ol	1,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Il	0,30	0,32	0,19	0,26	0,32	0,32	0,24	0,17	0,17	0,17	0,09	0,15	0,06	0,02
Hm	11,00	11,00	9,50	7,67	8,77	8,25	6,48	6,16	4,12	3,84	3,11	3,71	1,63	0,48
Tn	3,84	2,90	3,13	3,45	4,30	3,93	3,58	0,00	1,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ru	0,00	0,12	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00	0,40	0,55	0,41	0,16	0,08
Ap	0,81	0,50	0,78	0,57	0,95	0,83	0,95	0,52	0,40	0,40	0,31	0,76	0,76	0,47
∑	97,11	95,93	97,68	98,12	98,04	97,79	95,82	96,94	96,75	98,69	97,86	97,64	97,99	99,40
A/NK	2,28	2,02	2,11	2,30	1,56	1,53	1,46	1,80	1,57	1,59	1,62	1,65	1,59	1,32
A/CNK	0,68	0,89	0,87	0,84	0,81	0,81	0,83	0,98	0,86	1,07	1,10	1,07	1,32	1,25
*Fe**	0,53	0,66	0,72	0,65	0,77	0,78	0,84	0,70	0,69	0,73	0,69	0,71	0,70	0,81
MALI	-3,73	-0,25	-1,02	-2,17	1,68	1,88	2,85	1,92	2,42	4,64	3,33	4,54	5,55	7,45
ASI	0,69	0,91	0,89	0,86	0,83	0,83	0,85	1,00	0,88	1,08	1,11	1,09	1,37	1,28

Q-kvarc, C-korund, Or-ortoklas, Ab-albit, An-anortit, Di-diopsid, Hy-hipersten, Ol-olivin, Il-ilmenit, Hm-hematit, Tn-titanit, Ru-rutil, Ap-apatit, $Al_2O_3/(K_2O+ Na_2O)$, A/CNK-molarni omjer $Al_2O_3/(CaO+K_2O+Na_2O)$, $Fe^*=FeO_{tot}/(FeO_{tot}+MgO)$, MALI= $Na_2O+ K_2O-CaO$, ASI-molarni omjer Al/(Ca-1,67*P+Na+K), hbl dijabaz – hornblenda dijabaz, mnz diorit – monzodiorit; grd+MME – granodiorit s mikrogranularnim mafitnnim enklavama; grd – granodiorit, mil. gnajs – milonitni gnajs; mnz granit – monzogranit; lc. granit – leukogranit.

Obod

Sadržaj SiO_2 u analiziranim magmatskim stijenama iz polja Obod varira od 47,85 mas.% do 66,91 mas.%. Na **Slici 10.4** prikazane su varijacije oksida glavnih elemenata u ovisnosti o sadržaju SiO_2 u stijenama.



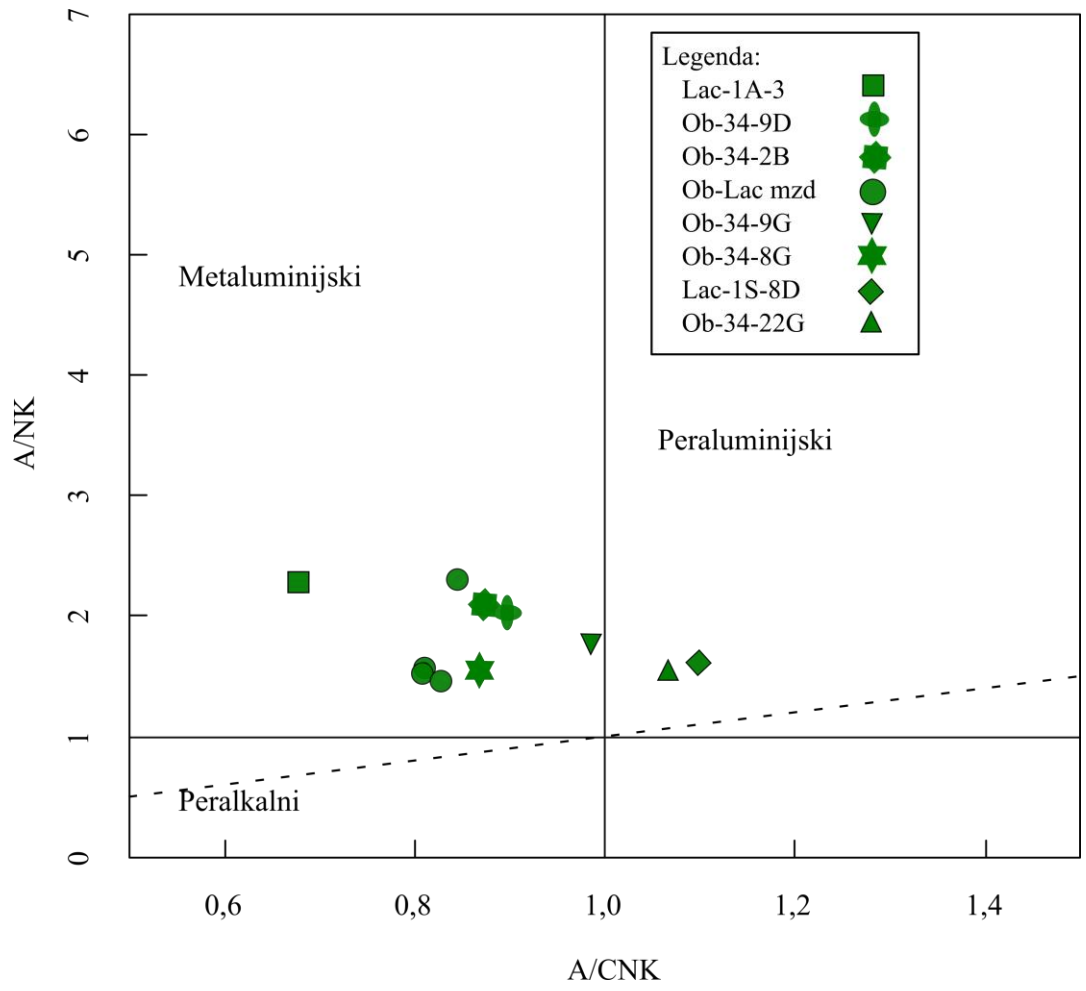
Slika 10.4 Binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) za analizirane stijene područja Obod. U dijagramu SiO_2 – K_2O prikazane su i granice magmatskih serija po Pecerillo i Taylor (1976). Ob-Lac mzd – skupna oznaka za monzodiorite (Ob-34B, Ob-34-22, Ob-34, Lac-1S-4)

Generalno, u Harkerovim varijacijskim dijagramima (**Slika 10.4**) mogu se uočiti sljedeći prividni trendovi: pad sadržaja Al_2O_3, MgO, FeO_t, CaO, P_2O_5 i TiO_2, te relativno nepromijenjen sadržaj

Na_2O i K_2O s porastom SiO_2. Uočena su i odstupanja od navedenih prividnih trendova poput povišenog sadržaja P_2O_5 u monzodioritima (0,35-0,40 mas.%; uzorci Ob-34, Lac-1S-4, Ob-34-22) u odnosu na bazične i kisele stijene. Osim toga, značajan je visok sadržaj Na_2O (5,06-5,39 mas.%) u uzorcima monzodiorita (Ob-34, Lac-1S-4, Ob-34-22). Radi se o odustupanju u odnosu na sadržaj Na_2O u ostalim uzorcima, u kojima se nalazi u rasponu 3,71-4,21 mas.%. Uzorak metadijabaza (Lac-1A-3) karakteriziran je nižim sadržajem Na_2O (2,56 mas.%). Ispitivane magmatske stijene imaju visok sadržaj Fe_2O_3 (3,84-11,00 mas.%). U binarnom dijagramu SiO_2-K_2O označene su granice magmatskih serija po Pecerillo i Taylor (1976). Uzorak metadijabaza (Lac-1A-3) projicira se polje šošonitne serije, uzorci monzodiorita (Ob-34, Lac-1S-4, Ob-34-22), granodiorita (Ob-34-8G) i dacita (Lac-1S-8D) u polje visoko-K kalcijsko-alkalijske serije, a uzorci hornblenda dijabaza (Ob-34-9D), bazaltnog andezita (Ob-34-2B), monzodiorita (Ob-34B) i granodiorita s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9G) u polje kalcijsko-alkalijske serije.

Sve su analizirane magmatske stijene s područja Obod, u CIPW normativnom sastavu, osim hornblenda dijabaza (Lac-1A-3), karakterizirane normativnim kvarcom te izostankom normativnog korunda, osim granodiorita s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9G) i dacita (Lac-1S-8D). Također su osim hornblenda dijabaza (Ob-34-9D), bazaltnog andezita (Ob-34-2B), granodiorita s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9G) i dacita (Lac-1S-8D) diopsid normativne, a svi uzorci su i hipersten normativni (**Tablica 10.2**).

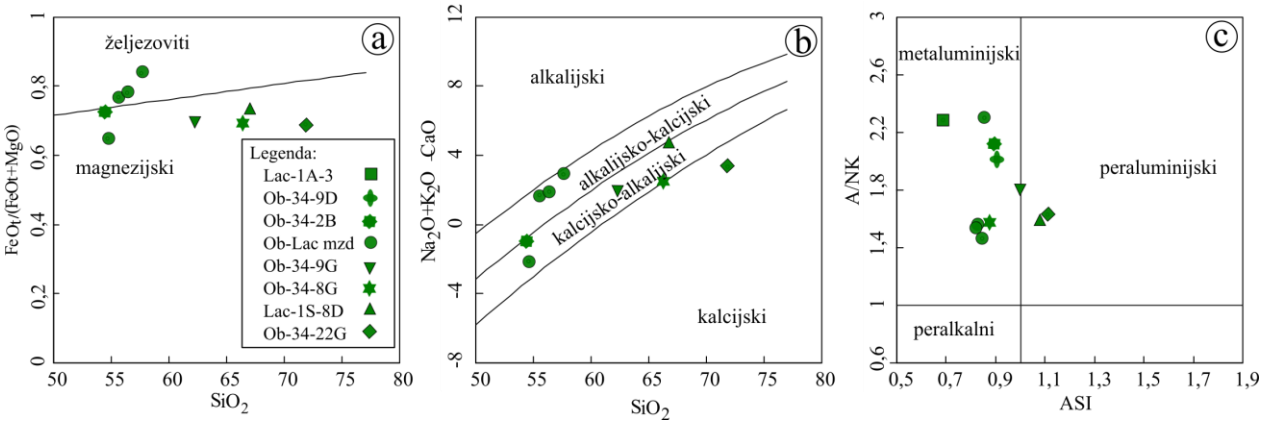
Na **Slici 10.5** analizirane stijene područja Obod prikazane su u A/CNK – A/NK dijagramu (Shand, 1927).



Slika 10.5 Dijagram molarnog odnosa A/CNK [$Al_2O_3/(CaO+K_2O+Na_2O)$] i A/NK [$Al_2O_3/(K_2O+Na_2O)$] (Shand, 1927) za stijene područja Obod. Ob-Lac mzd – skupna oznaka za monzodiorite (Ob-34B, Ob-34-22, Ob-34, Lac-1S-4)

Po indeksu zasićenosti aluminijem (Shand, 1927), ove stijene imaju metaluminijski karakter, osim dacita (Lac-1S-8D) i gnajsa (Ob-34-22G) koji su peralumunijski (**Slika 10.5**).

Analizirane stijene područja Obod prikazane su u klasifikacijskim dijagramima po Frost i dr. (2001) na **Slici 10.6**.



Slika 10.6 Klasifikacija na temelju odnosa oksida glavnih elemenata za stijene područja Obod po Frost i dr. (2001): a) dijagram SiO_2 – $FeO_{tot}/(FeO_{tot}+MgO)$; b) dijagram SiO_2 – Na_2O+K_2O-CaO; c) dijagram ASI – A/NK. Ob-Lac mzd – skupna oznaka za monzodiorite (Ob-34B, Ob-34-22, Ob-34, Lac-1S-4)

Analizirani uzorci monzodiorita (Ob-34, Lac-1S-4, Ob-34-22) su s obzirom na Fe-broj željezoviti (Fe*=0,77-0,84), a ostale analizirane magmatske stijene – bazaltni andezit (Ob-34-2B), monzodiorit (Ob-34B), granodiorit s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9G), granodiorit (Ob-34-8G), dacit (Lac-1S-8D) su magnezijske, s rasponom Fe* između 0,65 i 0,73 (**Slika 10.6a**). Vrijednost Fe* mafitnih stijena koje nisu projicirane u dijagramima na **Slici 10.6** iznosi 0,53 za metadijabaz (Lac-1A-3) i 0,66 za hornblenda dijabaz (Ob-34-9D).

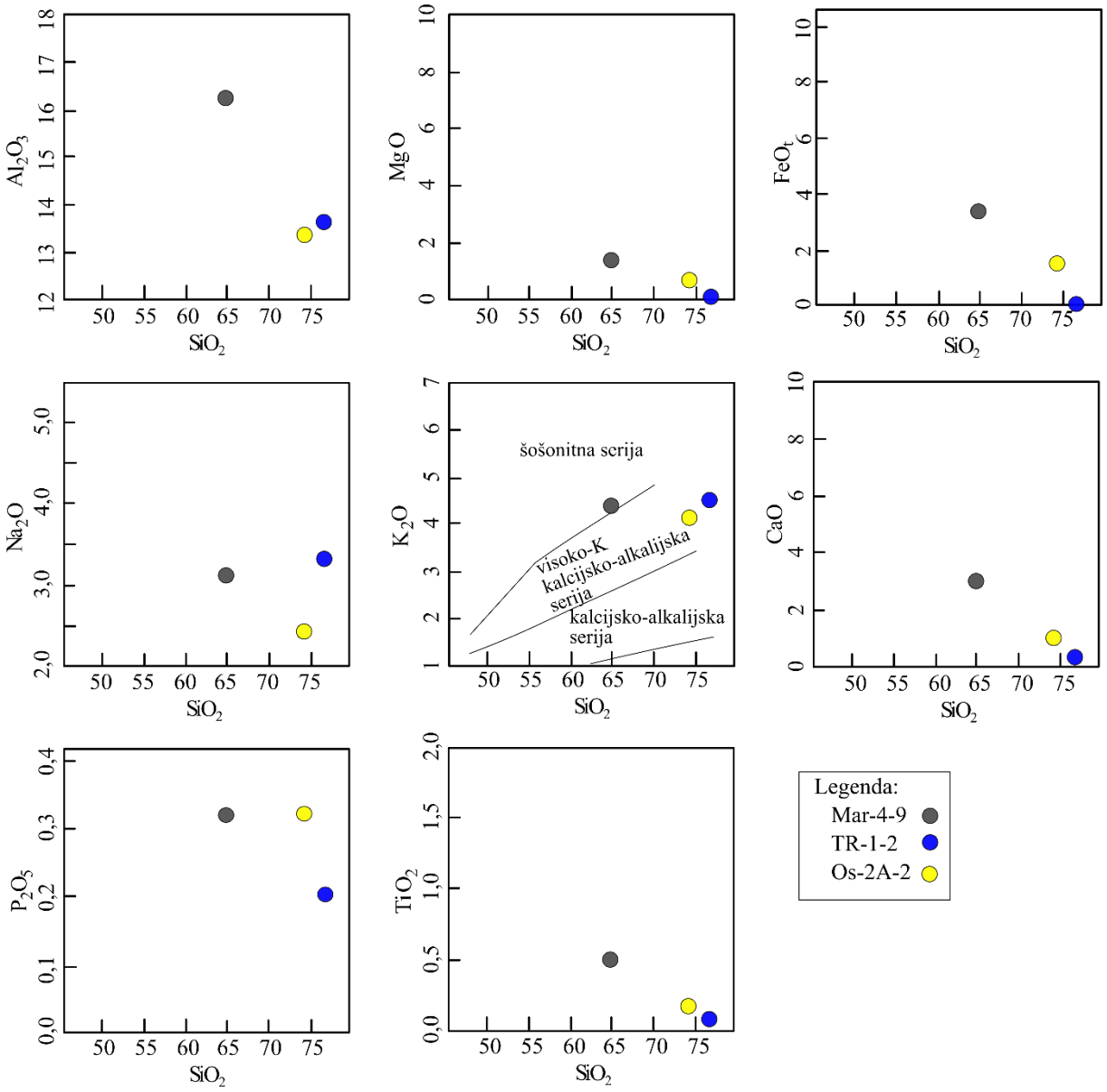
Po sadržaju alkalijskih elemenata i kalcija (**Slika 10.6b**) magmatske stijene iz područja Obod su dijelom alkalijsko-kalcijske (monzodioriti Ob-34, Lac-1S-4, Ob-34-22), a dijelom kalcijsko-alkalijske (bazaltni andezit Ob-34-2B, monzodiorit Ob-34B, granodiorit s mikrogranularnim mafitnim enklavama Ob-34-9G, granodiorit Ob-34-8G, dacit Lac-1S-8D). Po ASI indeksu (ASI=0,69-0,86) magmatske stijene područja Obod su metaluminijske, osim dacita (LAC-1S-8D), koji je peraluminijski s ASI vrijednosti u iznosu od 1,08 (**Slika 10.6c**).

Uzorak gnajsa (OB-34-22G) iz bušotine Obod-34 ima visoki sadržaj SiO_2 (71,9 mas.%), visok sadržaj Na_2O (3,93 mas.%) i CaO (2,14 mas.%) te nizak sadržaj K_2O (1,54 mas.%) (**Slika 10.4**, **Tablica 10.2**). Stijena pripada kalcijsko-alkalijskoj seriji po Pecerillo i Taylor (1976). Karakterizirana je normativnim korundom, hiperstenom i kvarcom te izostankom normativnog

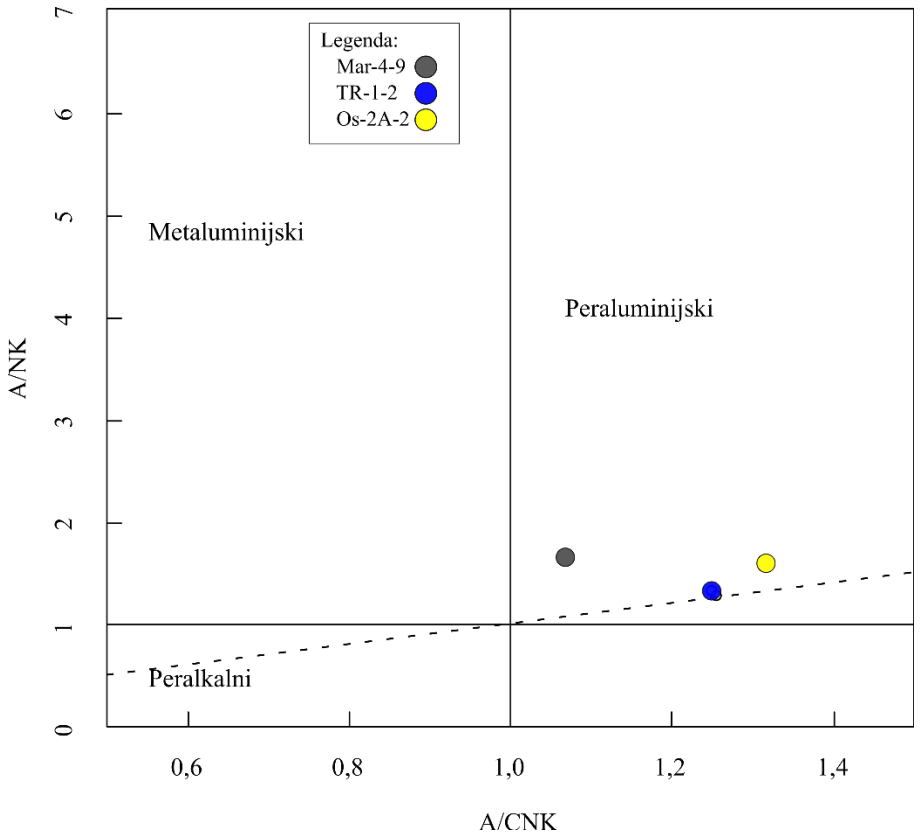
diopsida (**Tablica 10.2**). Po klasifikaciji Frost i dr. (2001) ova stijena je s magnezijska (Fe*=0,69), kalcijska i peraluminijska (ASI=1,1), kako je ilustrirano na **Slici 10.6**.

Ostalo

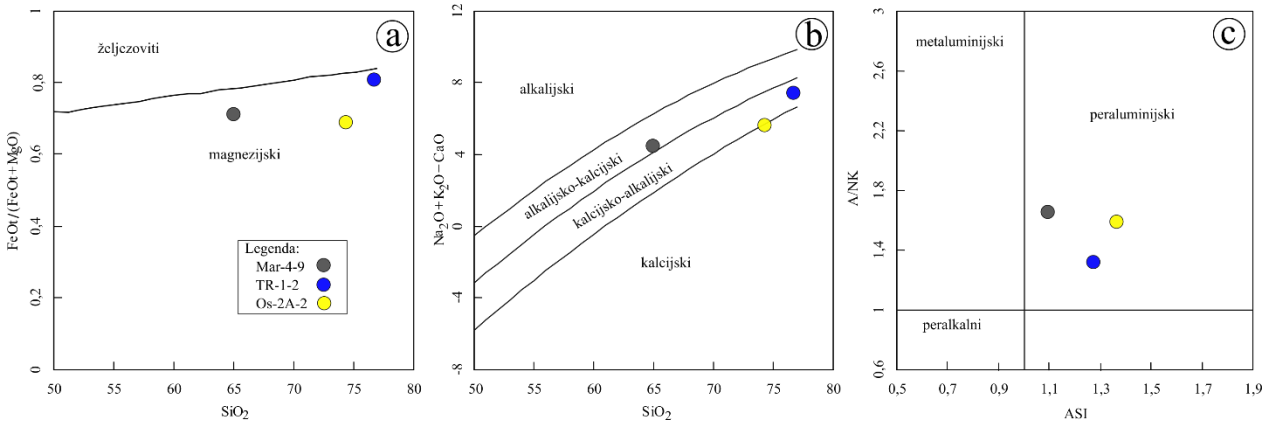
Na **Slici 10.7** prikazane su varijacije oksida glavnih elemenata u ovisnosti o sadržaju SiO_2, na **Slici 10.8** A/CNK – A/NK dijagram, a na **Slici 10.9** klasifikacija po Frost i dr. (2001) za granitoide istočnog dijela Dravske depresije, izuzevši područje Obod.



Slika 10.7 Binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) za analizirane granitoide istočnog dijela Dravske depresije izuzevši područje Obod. U dijagramu SiO_2 – K_2O prikazane su i granice magmatskih serija po Pecerillo i Taylor (1976).



Slika 10.8 Dijagram molarnog odnosa A/CNK [Al_2O_3/(CaO+K_2O+Na_2O)] i A/NK [Al_2O_3/(K_2O+Na_2O)] (Shand, 1927) za analizirane granitoide istočnog dijela Dravske depresije izuzevši područje Obod.



Slika 10.9 Klasifikacija na temelju odnosa oksida glavnih elemenata po Frost i dr. (2001) za analizirane granitoide istočnog dijela Dravske depresije izuzevši područje Obod: a) dijagram SiO_2 – FeO_{tot}/(FeO_{tot}+MgO); b) dijagram SiO_2 – Na_2O+K_2O-CaO; c) dijagram ASI – A/NK.

Milonitni gnajs (Mar-4-9) karakteriziran je niskim SiO_2 (64,98 mas.%), umjerenim Na_2O (3,12 mas.%) i CaO (2,95 mas.%) te visokim K_2O (4,37 mas.%) i P_2O_5 (0,32 mas.%), što je jasno vidljivo i u Harkerovim dijagramima (**Slika 10.7**). U dijagramu SiO_2-K_2O nalazi se u polju šošonitne serije. Sadrži normativni korund, hipersten i kvarc, a normativni diopsid izostaje (**Tablica 10.2**). Po indeksu zasićenosti aluminijem, koristeći klasifikaciju po Shandu (1927) stijena ima peraluminijski karakter (**Slika 10.8**). Po Frost i dr. (2001) ova stijena je s obzirom na Fe* magnezijska (Fe*=0,71), po odnosu alkalijskih elemenata i kalcija je alkalijsko-kalcijska, a po odnosu aluminija i alkalijskih elementa peraluminijska (ASI=1,09), što je prikazano na **Slici 10.9**.

Monzogranit (Os-2A-2) ima visok sadržaj SiO_2 (74,31 mas.%), niski Na_2O (2,42 mas.%), visoki K_2O (4,09 mas.%) i P_2O_5 (0,32 mas.%). U dijagramu SiO_2-K_2O nalazi se u polju visoko-kalijske kalcijsko-alkalijske serije (**Slika 10.7**). Stijena je karakterizirana normativnim korundom, hiperstenom i kvarcom te izostankom normativnog diopsida (**Tablica 10.2**). Po indeksu zasićenosti aluminijem po Shandu (1927) ima izrazit peraluminijski karakter (**Slika 10.8**), s indeksom zasićenosti aluminijem A/CNK=1,32. Po klasifikaciji Frost i dr. (2001) ova stijena je s obzirom na Fe* magnezijska (Fe*=0,70), po odnosu alkalijskih elemenata i kalcija na granici je između kalcijsko-alkalijske i kalcijske, a po odnosu aluminija i alkalijskih elementa peraluminijska (ASI=1,37), što je ilustrirano na **Slici 10.9**.

Leukogranit (TR-1-2) ima vrlo visok sadržaj SiO_2 (76,75 mas.%), visok K_2O (4,48 mas.%), umjeren Na_2O (3,31 mas.%), Al_2O_3 (13,62 mas.%) i P_2O_5 (0,2 mas.%). Sadržaj ostalih glavnih elemenata relativno je nizak. U dijagramu SiO_2-K_2O nalazi se u polju visoko-kalijske kalcijsko-alkalijske serije (**Slika 10.7**). Stijena je karakterizirana normativnim korundom i kvarcom, niskom vrijednošću normativnog hiperstena te izostankom normativnog diopsida (**Tablica 10.2**). Po indeksu zasićenosti aluminijem ima peraluminijski karakter (**Slika 10.8**). Po Frost i dr. (2001) ova stijena je s obzirom na Fe* magnezijska (Fe*=0,81), po odnosu alkalijskih elemenata i kalcija kalcijsko-alkalijska, a po odnosu aluminija i alkalijskih elementa peraluminijska (ASI=1,28), što je vidljivo na **Slici 10.9**.

10.2. Elementi u tragovima

10.2.1. Slavonsko-srijemska depresija

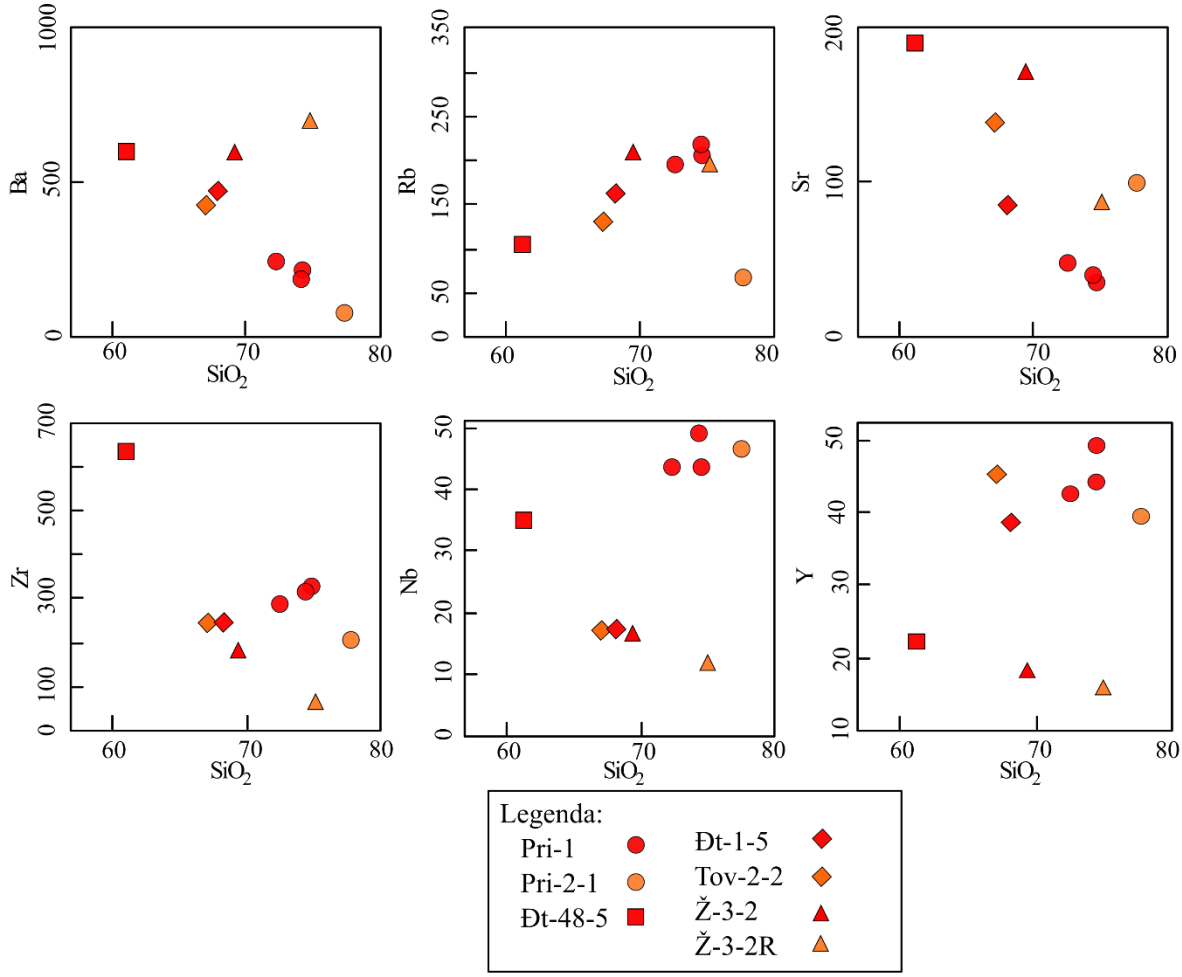
Koncentracije elemenata u tragovima analiziranih stijena Slavonsko-srijemske depresije, izuzevši elemente rijetkih zemalja, izražene u ppm, prikazane su u **Tablici 10.3**.

Tablica 10.3 Koncentracije elemenata u tragovima izražene u ppm u analiziranim uzorcima iz Slavonsko-srijemske depresije.

Uzorak	*Đt-48-5*	*Pri-1-3*	*Pri-1-4*	*Pri-1-5*	*Pri-2-1*	*Tov-2-2*	*Đt-1-5*	*Ž-3-2*	*Ž-3-2R*
Odredba	AF sijenit	AF granit	AF granit	AF granit	mikro granit	mil. gnajs	mil. gnajs	porf. granit	riolit
Ag	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
As	<0,50	2,70	2,10	2,40	0,60	0,70	21,20	1,60	7,50
Au	14,50	23,20	<0,50	1,10	2,40	29,20	76,70	14,80	1,60
Ba	597,00	251,00	192,00	217,00	78,00	429,00	472,00	595,00	698,00
Be	2,00	6,00	7,00	6,00	4,00	2,00	3,00	6,00	4,00
Bi	<0,10	<0,10	<0,10	0,10	0,10	0,30	0,50	<0,10	0,30
Cd	<0,10	<0,10	<0,10	0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Co	8,00	1,30	1,30	1,70	0,70	5,60	6,20	4,20	0,60
Cs	0,90	4,40	4,20	4,80	0,90	11,10	6,00	4,60	3,70
Cu	1,70	3,10	3,70	1,50	2,40	9,50	18,40	0,30	1,50
Ga	23,80	23,20	22,80	22,50	23,60	19,50	22,60	19,20	14,90
Hf	13,80	8,70	9,90	10,00	8,00	5,90	6,80	4,50	2,40
Hg	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,04	0,03	0,02
Mo	4,90	1,00	1,40	2,70	0,50	<0,10	1,00	<0,10	0,10
Nb	35,00	43,60	49,20	43,70	46,40	16,80	17,20	16,00	11,10
Ni	3,40	1,00	0,70	0,80	0,70	3,20	4,50	4,80	1,50
Pb	2,00	5,40	7,80	6,50	4,00	5,00	11,50	10,20	10,60
Rb	105,70	198,50	216,80	206,40	66,40	129,60	162,80	207,90	194,10
Sb	<0,10	<0,10	0,20	0,20	<0,10	0,70	0,20	0,10	0,30
Sc	8,00	4,00	2,00	2,00	<1,00	11,00	10,00	5,00	3,00
Se	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	0,60	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Sn	2,00	11,00	10,00	12,00	15,00	7,00	8,00	5,00	3,00
Sr	191,20	48,40	39,00	36,50	100,60	139,00	85,40	171,20	87,40
Ta	1,90	4,10	4,40	3,60	4,40	2,10	1,60	1,40	1,20
Th	4,50	22,90	25,90	22,80	31,00	30,70	16,20	14,60	14,50
Tl	<0,10	0,20	<0,10	0,10	<0,10	0,30	0,30	<0,10	0,40
U	2,10	4,10	5,50	5,00	4,90	4,80	8,60	8,20	4,30
V	50,00	12,00	<8,00	<8,00	<8,00	43,00	37,00	35,00	<8,00
W	1,10	1,80	2,50	1,20	3,00	1,70	3,30	4,80	2,40
Y	22,10	42,50	44,20	49,10	39,30	45,40	38,50	17,70	15,60
Zn	30,00	54,00	50,00	40,00	11,00	57,00	33,00	43,00	6,00
Zr	630,90	283,50	320,50	324,20	205,10	236,50	246,60	175,10	56,30

AF alkalijsko-feldspatski; mil.gnajs – milonitni gnajs; porf. granit – porfiroidni granit.

Na **Slici 10.10** prikazani su binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) za odabrane elemente u tragovima (Ba, Rb, Sr, Zr, Nb, Y) u odnosu na SiO_2 za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije.



Slika 10.10 Binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) za odabrane elemente u tragovima u odnosu na SiO_2, za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije. Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5).

Visoku koncentraciju barija imaju alkalijsko feldspatski sijenit (Đt-48-5, 597 ppm), milonitni gnajsevi (Tov-2-2, 429 ppm; Đt-1-5, 472 ppm), porfiroidni granit (Ž-3-2, 595 ppm) te riolit (Ž-3-2R, 698 ppm). S druge strane, nisku koncentraciju barija imaju uzorci alkalijsko-feldpatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5, 192-251 ppm) i mikrogranita (Pri-2-1, 78 ppm). U varijacijskom dijagramu Ba-SiO_2 (**Slika 10.10**) jasno je vidljiv pad koncentracije barija s porastom silicija, a od ovog prividnog trenda odstupaju uzorak porfiroidnog granita (Ž-3-2) i riolita (Ž-3-2R), kod kojih koncentracija barija raste s porastom SiO_2.

Koncentracija rubidija generalno raste s porastom SiO_2 (**Slika 10.10**) od alkalijsko-feldspatskog sijenita (Đt-48-5, 105,7 ppm) do alkalijsko feldspatskog granita (Pri-1-4, 216,8 ppm). Od ovog prividnog trenda jasno odstupa mikrogranit (Pri-2-1) koji ima vrlo nisku koncentraciju rubidija (66,4 ppm). Ovakvo odstupanje podudarno je s niskom koncentracijom kalija koja je uočena kod mikrogranita (Pri-2-1).

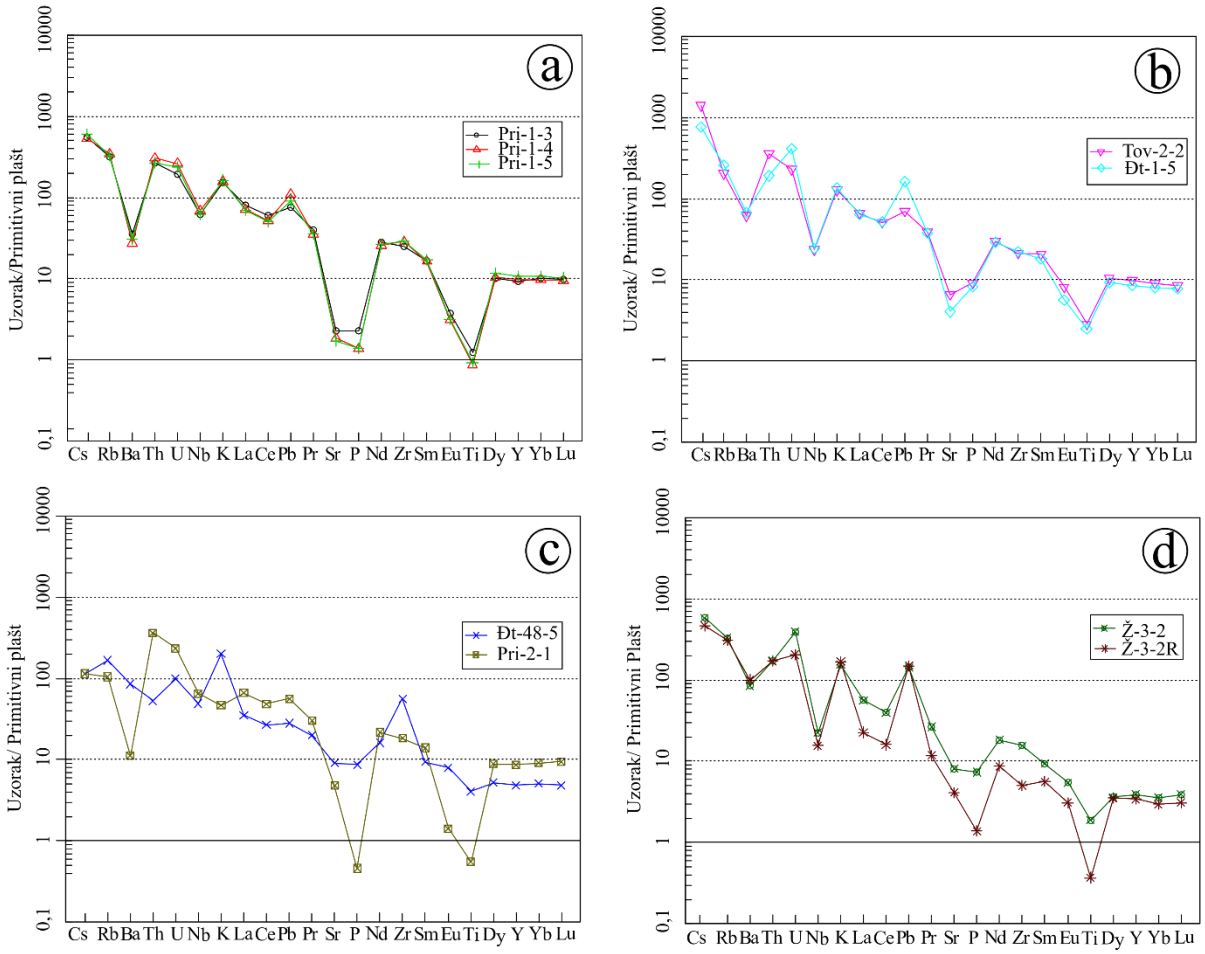
Koncentracija stroncija generalno pada s porastom SiO_2 (**Slika 10.10**) od alkalijsko-feldspatskog sijenita (Đt-48-5, 191,2 ppm) do alkalijsko-feldpspatskog granita (Pri-1-5, 36,5 ppm). Uzorak mikrogranita (Pri-2-1) koji ima višu razinu stroncija (100,6 ppm), odstupa od ovoga prividnog trenda.

Koncentracija cirkonija izrazito je visoka u uzorku alkalijsko-feldspatskog sijenita (Đt-48-5, 630,9 ppm), a visoke koncentracije cirkonija imaju i uzorci alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5, 283,5-324,2 ppm), nešto niže mikrogranita (Pri-2-1, 205,1 ppm), milonitnog gnajsa (Tov-2-2, 236,5 ppm, Đt-1-5, 246,5 ppm) i porfiroidnog granita (Ž-3-2, 175,1 ppm), dok riolit (Ž-3-2R) ima nisku koncentraciju cirkonija (56,3 ppm).

Najvišu koncentraciju niobija imaju alkalijsko-feldspatski graniti (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5, 43,6-49,2 ppm) te mikrogranit (Pri-2-1, 46,4 ppm), dok alkalijsko-feldspatski sijenit (Đt-48-5) ima nešto nižu koncentraciju ovog elementa (35 ppm). Niske koncentracije niobija imaju uzorci milonitnog gnajsa (Tov-2-2, 16,8 ppm; Đt-1-5, 17,2 ppm), porfiroidnog granita (Ž-3-2, 16 ppm) i riolita (Ž-3-2R, 11,1 ppm).

Koncentracija itrija najviša je u alkalijsko-feldspatskim granitima (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5; 42,5-49,1 ppm), mikrogranitu (Pri-2-1. 39,3 ppm), milonitnim gnajsevima (Tov-2-2, 45,4 ppm; Đt-1-5, 38,5 ppm). Koncentracija navedenog elementa niža je u alkalijsko-feldspatskom sijenitu (Đt-48-5, 22,1 ppm), porfiroidnom granitu (Ž-3-2, 17,7 ppm) i riolitu (15,6 ppm).

Elementi u tragovima normalizirani na vrijednosti primitivnog plašta prema Sun i McDonough, (1989) prikazani su u *spider* dijagramu na **Slici 10.11**.



Slika 10.11 *Spider* dijagram elemenata u tragovima normaliziranih na vrijednosti primitivnog plašta prema Sun i McDonough (1989) za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije: (a) alkalijsko feldpatske granite (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5), (b) milonitne gnajseve (Tov-2-2, Đt-1-5); (c) alkalijsko-feldspatski sijenit (Đt-48-5) i mikrogranit (Pri-2-1); (d) porfiroidni granit (Ž-3-2) i riolit (Ž-3-2R).

Analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije, koje su u odnosu na primitivni plašt obogaćene od 0,2 do 2000 puta, općenito pokazuju trend obogaćenja inkompatibilnih elemenata u odnosu na kompatibilne. Uzorci alkalijsko-feldspatskih granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5) imaju izrazite negativne Ba, Sr, P, Eu i Ti anomalije te nešto blažu Nb anomaliju (**Slika 10.11a**). Vrlo sličan oblik krivulje, s istim negativnim anomalijama pokazuju analizirani milonitni gnajsevi (Tov-2-2, Đt-1-5; **Slika 10.11b**). Alkalijsko-feldspatski sijenit (Đt-48-5) pokazuje izrazitu pozitivnu K i Zr anomaliju te vrlo blage negativne Sr, P i Ti anomalije, dok mikrogranit (Pri-2-1) pokazuje izrazite negativne Ba, Sr, P, Eu i Ti anomalije te pozitivne Th i U anomalije (**Slika 10.11c**). Porfiroidni granit i riolit pokazuju negativne Ba, Nb, Sr, P i Ti anomalije te izrazitu pozitivnu Pb anomaliju (**Slika 10.11d**).

10.2.2. Istočni dio Dravske depresije

Koncentracije elemenata u tragovima analiziranih stijena istočnog dijela Dravske depresije, izuzevši elemente rijetkih zemalja, izražene u ppm, prikazane su u **Tablici 10.4**

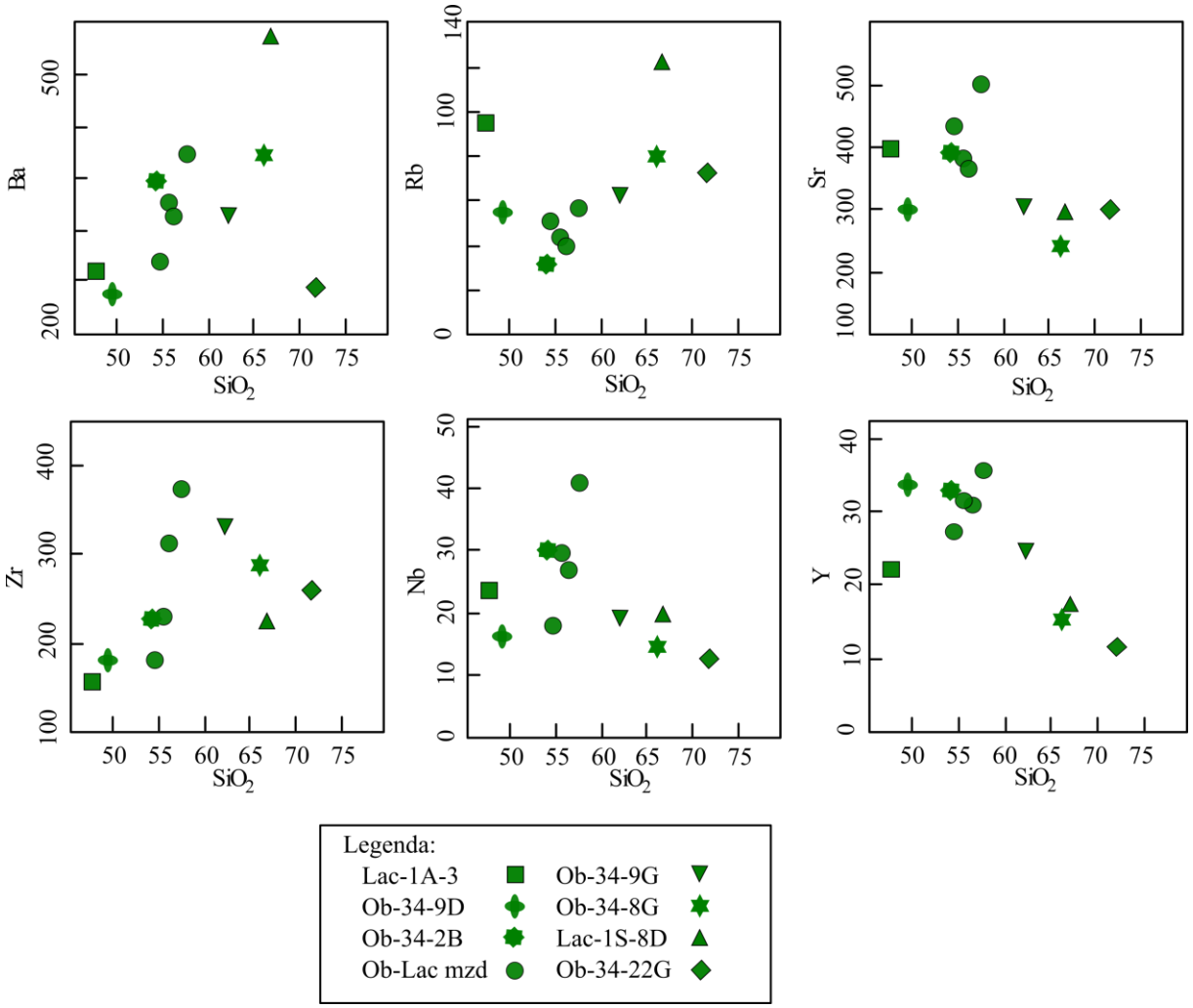
Tablica 10.4 Koncentracije elemenata u tragovima izražene u ppm u analiziranim uzorcima iz istočnog dijela Dravske depresije.

Uzorak	*Lac-1A-3*	*Ob-34-9D*	*Ob-34-2B*	*Ob-34B*	*Ob-34-22*	*Ob-34*	*Lac-1S-4*	*Ob-34-9G*	*Ob-34-8G*	*Lac-1S-8D*	*Ob-34-22G*	*Mar-4-9*	*Os-2A-2*	*TR-1-2*
Odredba	meta dijabaz	hbl dijabaz	bazalt	mnz diorit	mnz diorit	mnz diorit	mnz diorit	grd+ MME	grdt	dacit	gnajs	mil. gnajs	mnz granit	lc. granit
Ag	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,1	<0,1	<0,10	0,10
As	2,20	3,60	1,30	0,70	2,60	3,20	1,70	1,40	1,10	6,70	0,60	0,60	8,00	6,70
Au	0,60	<0,10	<0,10	<0,5	2,10	24,00	0,90	<0,10	<0,10	1,20	<0,5	41,20	27,90	14,00
Ba	273,00	245,00	377,00	283,00	353,00	334,00	409,00	336,00	405,00	540,00	252,00	2729,00	1227,0	47,00
Be	<1,00	2,00	4,00	2,00	1,00	3,00	2,00	2,00	2,00	1,00	2,00	5,00	2,00	2,00
Bi	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	2,40
Cd	<0,10	0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,30	<0,10
Co	44,00	28,10	19,90	21,70	18,40	15,10	9,60	19,00	19,90	7,70	8,10	5,70	2,50	<0,20
Cs	2,60	4,10	1,70	2,40	1,20	1,10	20,20	5,80	7,60	4,10	6,80	6,40	2,10	13,00
Cu	2,70	25,20	11,40	16,80	35,90	41,40	21,80	9,60	11,20	5,30	3,20	1,40	2,20	2,00
Ga	17,20	19,30	21,30	19,70	19,80	19,20	22,70	18,40	17,20	18,00	14,00	22,90	15,90	18,00
Hf	3,80	4,30	5,30	4,50	5,20	7,20	8,20	8,10	6,80	4,90	7,10	4,90	1,60	2,10
Hg	<0,01	<0,10	<0,10	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,10	<0,10	<0,01	<0,01	0,04	0,08	0,04
Mo	0,10	0,10	<0,10	0,10	0,80	1,20	0,50	<0,10	<0,10	2,20	<0,10	<0,10	0,40	0,10
Nb	23,20	16,30	30,00	17,80	29,20	26,40	40,60	19,20	14,50	19,30	12,30	36,00	5,20	12,20
Ni	125,80	56,60	9,30	13,00	3,80	4,00	6,80	40,20	30,10	12,40	18,30	2,00	5,60	0,80
Pb	1,30	3,70	1,00	1,60	2,10	3,00	1,00	3,70	2,20	3,60	4,60	5,20	16,50	3,60
Rb	94,90	55,00	30,90	51,30	44,10	40,10	56,80	61,80	79,80	121,70	72,70	174,50	74,10	304,40
Sb	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,60	<0,10	<0,10	0,10	<0,10	<0,10	0,20	0,40
Sc	24,00	29,00	24,00	21,00	14,00	15,00	13,00	17,00	9,00	5,00	11,00	7,00	4,00	4,00
Se	<0,50	<0,50	<0,5	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Sn	4,00	2,00	<10	2,00	3,00	2,00	3,00	<1,00	<10	2,00	2,00	1,00	2,00	28,00
Sr	399,20	302,30	392,20	435,40	381,80	364,60	502,40	308,50	241,80	294,80	299,00	943,30	150,40	18,10
Ta	1,50	1,00	1,60	1,40	2,00	1,60	2,50	0,90	1,20	1,70	1,00	1,50	0,50	2,30
Th	5,20	3,90	7,50	5,20	6,60	6,30	6,30	8,60	11,40	13,40	10,70	20,70	5,60	4,60
Tl	0,30	0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,20	0,20	0,30	0,40	0,20	0,20	<0,10	0,30
U	1,30	0,70	1,60	1,20	2,40	2,60	1,20	1,40	1,30	3,20	1,90	8,50	4,20	6,00
V	191,00	156,00	183,00	166,00	131,00	127,00	94,00	56,00	54,00	31,00	60,00	57,00	20,00	<8,00
W	1,20	1,70	<0,50	1,10	1,20	1,30	<0,50	0,50	1,10	0,80	1,30	1,50	0,80	6,40
Y	22,40	33,90	32,50	27,30	31,50	31,00	35,60	24,60	15,40	17,10	11,50	14,80	14,90	12,40
Zn	40,00	87,00	24,00	34,00	41,00	45,00	81,00	72,00	46,00	46,00	34,00	50,00	91,00	4,00
Zr	156,70	180,00	228,80	178,60	227,90	312,40	373,50	330,50	287,00	222,30	260,50	213,30	55,50	48,10

hbl dijabaz – hornblenda dijabaz, mnz diorit – monzodiorit; grd+MME – granodiorit s mikrogranularnim mafitnim enklavama; grd – granodiorit; mil. gnajs – milonitni gnajs; mnz granit – monzogranit; lc. granit – leukogranit.

Obod

Na **Slici 10.12** prikazani su binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) za odabrane elemente u tragovima (Ba, Rb, Sr, Zr, Nb, Y) u odnosu na SiO_2 za analizirane stijene područja Obod.



Slika 10.12 Binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) za odabrane elemente u tragovima u odnosu na SiO_2, za analizirane stijene područja Obod. Ob-Lac mzd – skupna oznaka za uzorke monzodiorita (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B, Lac-1S-4).

Koncentracija Ba općenito raste s porastom SiO_2, od metadijabaza (Lac-1A-3; 273 ppm) i hornblenda dijabaza (Ob-34-9D; 245 ppm) do dacita (Lac-1S-8D; 540 ppm). Uzorak gnajsa (Ob-34-22G) ima nisku koncentraciju Ba (252 ppm).

Koncentracija Rb raste s porastom SiO_2, od bazaltnog andezita (Ob-34-2B, 30,9 ppm), preko monzodiorita (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B, Lac-1S-4; 40,1-56,8 ppm), granodiorita s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9G, 61,8 ppm) do granodiorita (Ob-34-8G, 79,8 ppm). Od ovog prividnog trenda odstupa dacit (Lac-1S-8D) s povišenom koncentracijom Rb (121,7 ppm). S obzirom na sadržaj SiO_2, visoku koncentraciju Rb imaju metadijabaz (Lac-1A-3; 55 ppm) i hornblenda dijabaz (Ob-34-9D; 94,9 ppm). Uzorak gnajsa (Ob-34-22G) ima umjerenu koncentraciju Rb (72,7 ppm).

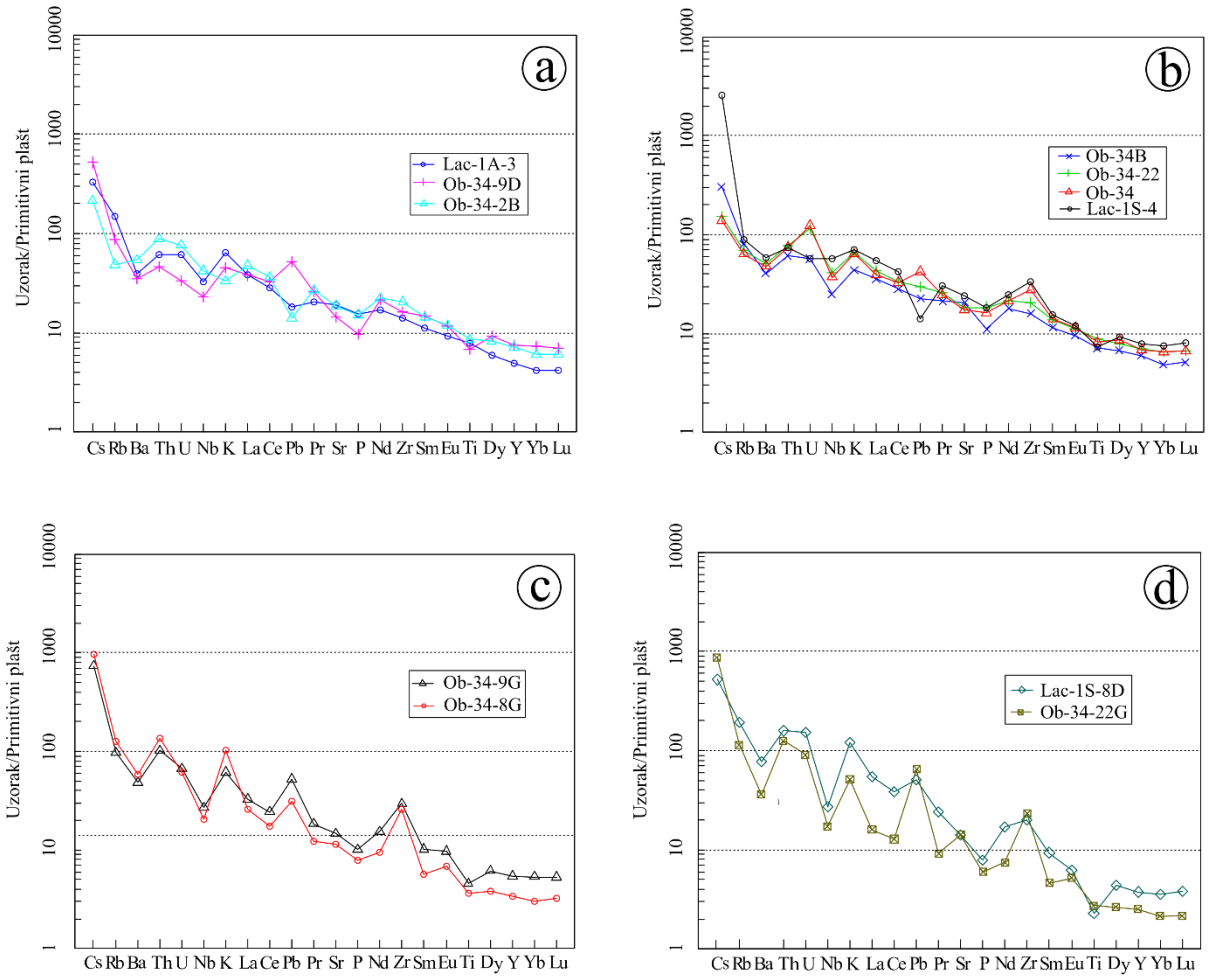
Koncentracija Sr generalno raste od hornblenda dijabaza (Ob-34-9D; 302,3 ppm), prema bazaltnom andezitu (Ob-34-2B; 392,2 ppm) i monzodioritima (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B, Lac-1S-4; 364,6-502,4 ppm). Uzorci s višim sadržajem SiO_2 imaju nižu koncentraciju Sr – granodiorit s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9G, 308,5 ppm), granodiorit (Ob-34-8G, 241,8 ppm) i dacit (Lac-1S-8D, 294,8 ppm). Visoku koncentraciju Sr ima metadijabaz Lac-1A-3 (399,2 ppm). Uzorak gnajsa (Ob-34-22G) je karakteriziran koncentracijom Sr od 299 ppm.

Koncentracija Zr generalno raste od bazičnih uzoraka (metadijabaz Lac-1A-3; 156,7 ppm) prema neutralnima te doseže najviše vrijednosti u uzorku monzodiorita Lac-1S-4 (373,5 ppm), a zatim se koncentracija ovog elementa smanjuje s povećanjem sadržaja SiO_2, tako da koncentracija Zr u uzorku dacita (Lac-1S-8D) iznosi 222,3 ppm. Uzorak gnajsa (Ob-34-22G) ima koncentraciju Zr 260,5 ppm.

Koncentracija Nb za analizirane magmatske stijene područja Obod ne pokazuje značajne promjene s promjenom SiO_2. Uglavnom se nalazi u rasponu od 14,5 ppm (monzodiorit Ob-34-22G) do 29,2 ppm (monzodiorit Ob-34-22), a veće odstupanje pokazuje samo monzodiorit Lac-1S-4 s koncentracijom od 40,6 ppm. Gnajs (Ob-34-22G) ima nižu koncentraciju Nb (12,3 ppm).

Koncentracija Y pada s porastom SiO_2 od hornblenda dijabaza (Ob-34-9D; 33,9 ppm) do granodiorita (Ob-34-8G; 15,4 ppm) i dacita (Lac-1S-8D; 17,1 ppm). Od ovog prividnog trenda odstupaju metadijabaz (Lac-1A-3; 22,4 ppm) i monzodiorit Lac-1S-4 koji ima najvišu koncentraciju navedenog elementa (35,6 ppm). Gnajs (Ob-34-22G) je karakteriziran najnižom koncentracijom Y (11,5 ppm).

Na **Slici 10.13** prikazane su krivulje raspodjele koncentracija elemenata u tragovima (*spider* dijagram) normaliziranih na vrijednosti primitivnog plašta (Sun i McDonough, 1989) za analizirane stijene područja Obod.



Slika 10.13 *Spider* dijagram elemenata u tragovima normaliziranih na vrijednosti primitivnog plašta prema Sun i McDonough (1989) za analizirane stijene područja Obod: a) metadijabaz (Lac-1A-3), hornblenda dijabaz (Ob-34-9D), bazalt (Ob-34-2B); b) monzodioriti (Ob-34, Ob-34B, Ob-34-22, Lac-1S-4); c) granodiorit s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9G) i granodiorit (Ob-34-8G); d) dacit (Lac-1S-8D) i gnajs (Ob-34-22G).

U bazičnim stijenama (uzorci Lac-1A-3, Ob-34-9D, Ob-34-9B) elementi u tragovima obogaćeni su od 3 do 500 puta u odnosu na primitivni plašt. Krivulje raspodjele koncentracije elemenata u tragovima pokazuju blagi trend obogaćenja inkompatibilnim elemenatima u odnosu na kompatibilne. Krivulja metadijabaza (Lac-1A-3) karakterizirana je izrazitim obogaćenjem Cs i Rb, blagim negativnim Ba, Nb i Pb anomalijama te izraženijim osiromašenjem kompatibilnih

elemenata Dy, Y, Yb i Lu. Krivulja hornblenda dijabaza (Ob-34-9D) pokazuje izrazito obogaćenje Cs, blage negativne Ba, Nb, Sr, P i Ti anomalije te pozitivnu Pb anomaliju. Krivulja bazaltnog andezita (Ob-34-2B) karakterizirana je blagim negativnim Rb, Ba, Nb, K i Pb anomalijama.

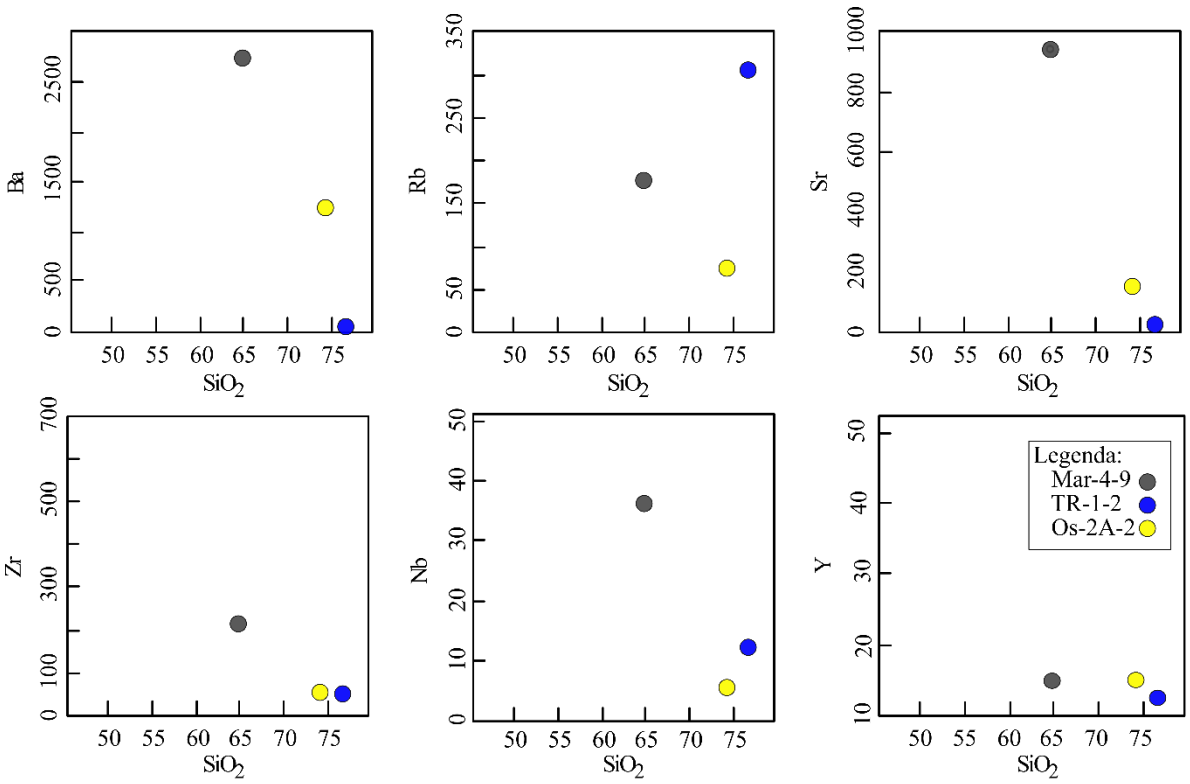
Monzodioriti (Ob-34, Ob-34B, Ob-34-22, Lac-1S-4) imaju vrlo sličan oblik krivulje raspodjele koncentracije elemenata u tragovima kao i bazične stijene. Obogaćeni su u odnosu na primitivni plašt od 5 do 200 puta, s izuzetkom Cs u uzorku Lac-1S-4, koji je obogaćen gotovo 3000 puta. Krivulja uzorka Ob-34B karakterizirana je blagim negativnim Ba, Nb i P anomalijama, a uzorka Ob-34-22 blagim negativnim Ba i Nb anomalijama te pozitivnim U i K anomalijama. Krivulja uzorka Ob-34 karakterizirana je negativnim Ba i Nb anomalijama te pozitivnim U, K, Pb i Zr anomalijama. Uzorak Lac-1S-4 ima krivulju s izrazitim obogaćenjem Cs, negativnom Ba i Pb anomalijom, pozitivnom Zr anomalijom i blagom negativnom Ti anomalijom.

Uzorak granodiorita s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9G) i granodiorita (Ob-34-8G) obogaćeni su u odnosu na primitivni plašt od 3 do 1000 puta. Nagib krivulje i generalni trend osiromašenja s povećanjem kompatibilnosti pokazuju sličnosti s već opisanim trendovima bazičnih i neutralnih stijena. No, u odnosu na prethodno opisane uzorke, krivulje granodiorita s mikrogranularnim mafitnim enklavama i granodiorita nemaju blagi nego skokovit oblik. Karakterizirane su izrazitim obogaćenjem Cs, pozitivnim Pb i Zr anomalijama te negativnim Ba, Nb i Ti anomalijama. Ti anomalija izražena je kod granodiorita s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9G) dok je kod granodiorita (Ob-34-8G) vrlo blaga.

Gnajs (OB-34-22G) i dacit (Lac-1S-8D) imaju vrlo sličan oblik krivulje, s istim anomalijama. U odnosu na primitivni plašt obogaćeni su od 2 do 900 puta. Dacit u odnosu na gnajs ima više koncentracije gotovo svih elemenata u tragovima, osim Cs, Pb, Zr i Ti. Ove stijene karakterizirane su negativnim Ba, Nb, P i Ti anomalijama te pozitivnim Pb i Zr anomalijama.

Ostalo

Na **Slici 10.14** prikazani su binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) za odabrane elemente u tragovima (Ba, Rb, Sr, Zr, Nb, Y) u odnosu na SiO_2 za analizirane stijene istočnog dijela Dravske depresije izuzevši područje Obod.



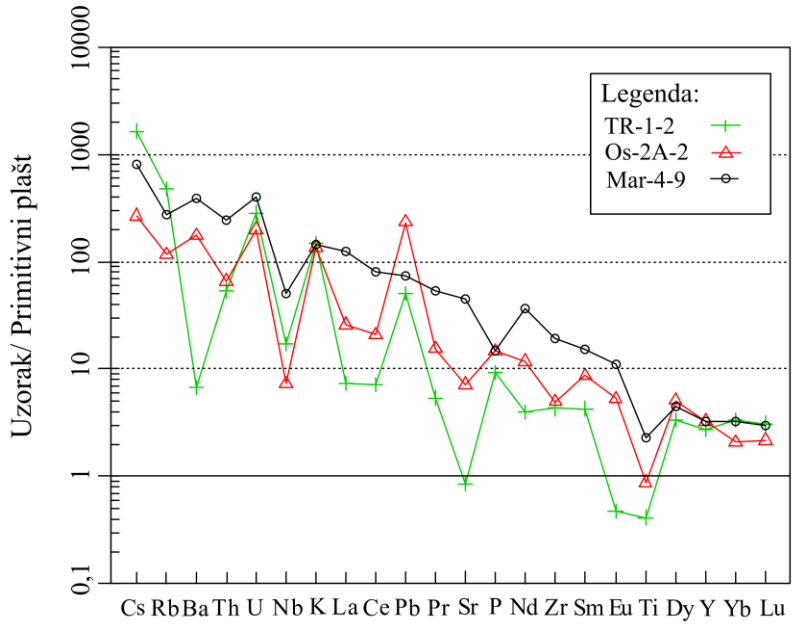
Slika 10.14 Binarni varijacijski dijagrami (Harkerovi dijagrami) za odabrane elemente u tragovima u odnosu na SiO_2, za analizirane stijene istočnog dijela Dravske depresije izuzevši područje Obod.

Milonitni gnajs (Mar-4-9) karakteriziran je izrazito visokim sadržajem barija (2729 ppm) i stroncija (943,3 ppm), što djelomično može biti posljedica sekundarnog obogaćenja (u poglavlju *8. SEM analize* opisani su sulfati barija i stroncija unutar stijene). Također vrijedi istaknuti relativno visoku koncentraciju rubidija (174,5 ppm) i niobija (36 ppm). Koncentracija cirkonija je umjerena (213,3 ppm), a itrija niska (14,8 ppm).

Monzogranit (Os-2A-2) je karakteriziran visokom koncentracijom barija (1227 ppm) te niskim koncentracijama rubidija (74,1 ppm), stroncija (150,4 ppm), cirkonija (55,5 ppm), niobija (5,2 ppm) i itrija (14,9 ppm).

Leukogranit (TR-1-2) je karakteriziran visokom koncentracijom rubidija (304,4 ppm) te niskim koncentracijama barija (47 ppm), stroncija (18,1 ppm), cirkonija (48,1 ppm), niobija (12,2 ppm) i itrija (12,4 ppm).

Elementi u tragovima normalizirani na primitivni plašt (Sun i McDonough, 1989) prikazani su u *spider* dijagramu na **Slici 10.15**.



Slika 10.15 *Spider* dijagram elemenata u tragovima normaliziranih na vrijednosti primitivnog plašta prema Sun i McDonough (1989) za analizirane kristalinske stijene područja istočne Dravske depresije, izuzevši područje Obod.

Krivulja raspodjele koncentracije elemenata u tragovima uzorka milonitnog gnajsa (Mar-4-9) ukazuje na povišene vrijednosti inkompatibilnih elemenata u odnosu na kompatibilne. Obogaćenje u odnosu na vrijednosti koncentracija primitivnog plašta nalazi se u rasponu od 3 do 900 puta. Ima blagi oblik, bez izrazitih anomalija, izuzevši negativne Nb, P i Ti anomalije. Također vrijedi istaknuti izraženije obogaćenje Ba u odnosu na Rb.

Spider dijagram monzogranita (Os-2A-2) ukazuje na obogaćenje inkompatibilnih elemenata u odnosu na kompatibilne. Krivulja je skokovita, s izrazitim negativnim Nb i Ti anomalijama, nešto blažim negativnim Sr i Zr anomalijama te pozitivnom Pb anomalijom.

Spider dijagram leukogranita (TR-1-2) karakteriziran je obogaćenjem inkompatibilnih elemenata u odnosu na kompatibilne te izrazito skokovitim oblikom, s negativnim Ba, Nb, Ce, Sr, Eu i Ti anomalijama.

10.3. Elementi rijetkih zemalja

10.3.1. Slavonsko-srijemska depresija

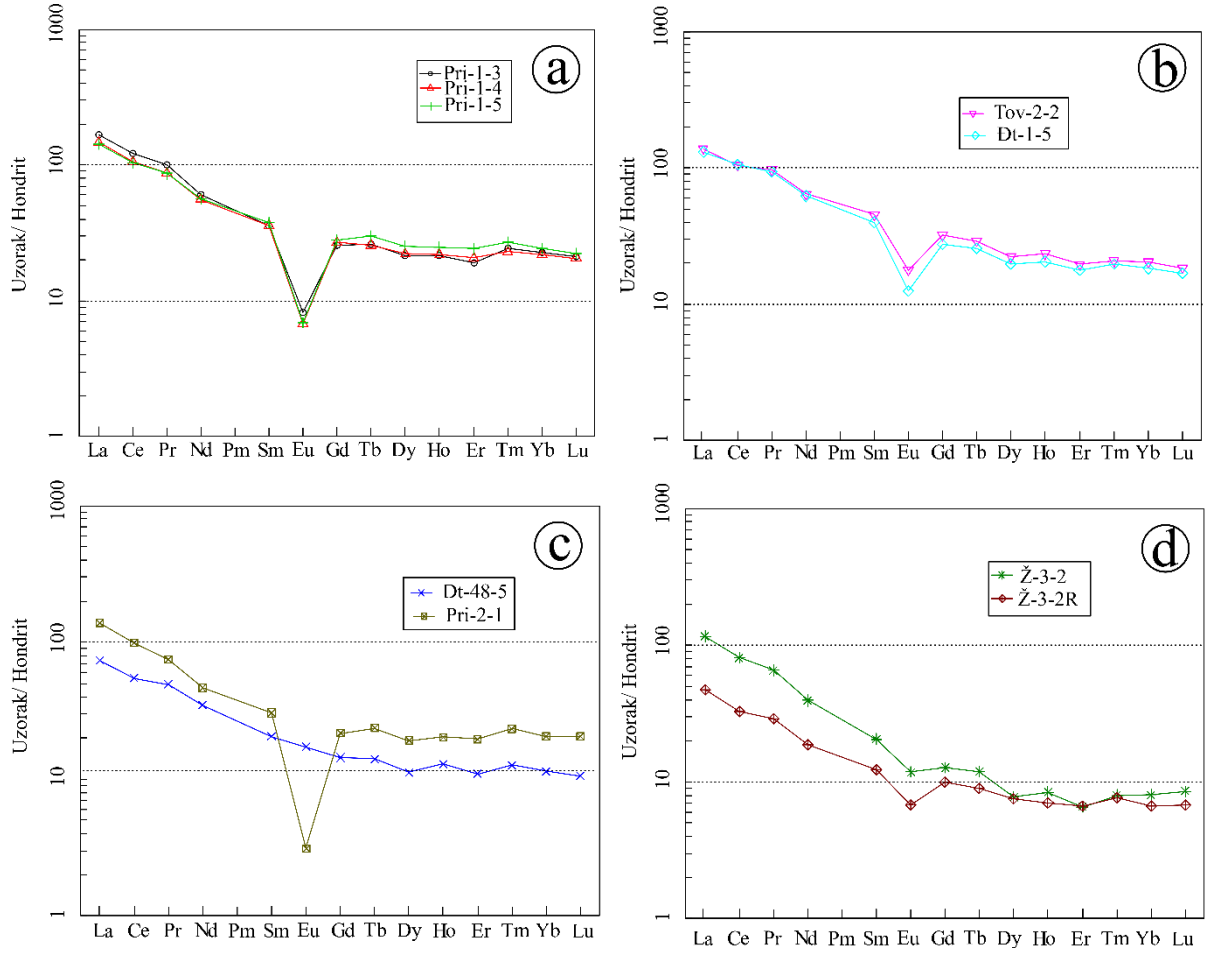
Koncentracije elemenata rijetkih zemalja za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije, izražene u ppm, kao i najvažniji parametri, prikazani su u **Tablici 10.5**.

Tablica 10.5 Koncentracije elemenata rijetkih zemalja u analiziranim stijenama Slavonsko-srijemske depresije, izražene u ppm.

Uzorak	*Dt-48-5*	*Pri-1-3*	*Pri-1-4*	*Pri-1-5*	*Pri-2-1*	*Tov-2-2*	*Đt-1-5*	*Ž-3-2*	*Ž-3-2R*
Odredba	AF sijenit	AF granit	AF granit	AF granit	mikro granit	mil. gnajs	mil. gnajs	porf. granit	riolit
La	24,30	55,10	48,60	47,20	45,60	45,70	43,40	38,40	15,50
Ce	47,30	105,8	91,00	89,60	86,00	90,70	91,90	70,10	28,30
Pr	5,50	11,17	9,72	9,70	8,39	10,81	10,42	7,33	3,26
Nd	21,90	37,80	35,10	35,60	29,30	40,60	39,10	24,8	11,80
Sm	4,16	7,29	7,27	7,64	6,20	9,20	8,13	4,18	2,50
Eu	1,33	0,63	0,52	0,53	0,24	1,37	0,96	0,91	0,52
Gd	3,97	7,05	7,44	7,75	5,99	8,85	7,61	3,51	2,76
Tb	0,66	1,22	1,21	1,40	1,11	1,37	1,21	0,56	0,42
Dy	3,84	7,39	7,59	8,68	6,54	7,65	6,79	2,66	2,59
Ho	0,90	1,51	1,54	1,74	1,42	1,64	1,44	0,59	0,49
Er	2,46	4,31	4,64	5,43	4,40	4,41	4,01	1,48	1,50
Tm	0,38	0,73	0,69	0,81	0,70	0,62	0,59	0,24	0,23
Yb	2,50	5,03	4,78	5,33	4,51	4,47	4,01	1,77	1,46
Lu	0,36	0,72	0,70	0,76	0,70	0,63	0,57	0,29	0,23
$\sum$ *REE*	119,56	245,75	220,80	222,17	201,1	228,02	220,14	156,82	71,56
*Eu/Eu**	1,01	0,27	0,22	0,21	0,12	0,47	0,38	0,73	0,61
La_N/Yb_N	6,48	7,30	6,78	5,90	6,74	6,82	7,22	14,46	7,08
La_N/Sm_N	3,59	4,65	4,11	3,80	4,52	3,06	3,28	5,65	3,81
Ce_N/Yb_N	4,81	5,35	4,84	4,28	4,85	5,16	5,83	10,07	4,93
Ce_N/Sm_N	2,67	3,41	2,94	2,75	3,26	2,31	2,65	3,94	2,66
Eu_N/Yb_N	1,52	0,36	0,31	0,28	0,15	0,88	0,68	1,47	1,02

AF alkalijsko-feldspatski; mil.gnajs – milonitni gnajs; porf. granit – porfiroidni granit, $Eu/Eu^* = Eu_N/\sqrt{(Sm_N \times Gd_N)}$.

Na **Slici 10.16** prikazane su krivulje raspodjele koncentracija elemenata rijetkih zemalja normaliziranih prema vrijednostima hondrita (Nakamura, 1974). Zbroj koncentracija elemenata rijetkih zemalja za alkalijsko-feldspatske granite (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5) je visok (220,8-245,75 ppm). Slične vrijednosti zabilježene su u uzorcima milonitnih gnajseva (Đt-1-5, 220,14 ppm; Tov-2-2, 228,02 ppm) i uzorku mikrogranita (Pri-2-1, 201,1 ppm). Alkalijsko-feldspatski sijenit (Đt-48-5) ima niži zbroj koncentracija elemenata rijetkih zemalja (119,56 ppm). Za porfiroidni granit (Ž-3-2) suma elemenata rijetkih zemalja je umjerena (156,82 ppm), dok je za riolit (Ž-3-2R) niska (71,56 ppm).



Slika 10.16 Dijagram raspodjele koncentracija elemenata rijetkih zemalja normaliziranih na vrijednosti hondrita prema Nakamura (1974) za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije: (a) alkalijsko feldpatske granite (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5), (b) milonitne gnajseve (Tov-2-2, Đt-1-5); (c) alkalijsko-feldspatski sijenit (Đt-48-5) i mikrogranit (Pri-2-1); (d) porfiroidni granit (Ž-3-2) i riolit (Ž-3-2R).

Krivulje raspodjele koncentracija elemenata rijetkih zemalja za alkalijsko-feldspatske granite (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5) karakterizirane su obogaćenjem lakih elemenata rijetkih zemalja u odnosu na srednje teške (La_N/Sm_N=3,06-4,65), izraženijim obogaćenjem lakih u odnosu na teške elemente rijetkih zemalja (La_N/Yb_N=5,9-7,3) te izrazitom negativnom Eu anomalijom (Eu/Eu*=0,21-0,27). Milonitni gnajsevi (Đt-1-5, Tov-2-2) imaju vrlo sličan oblik krivulje (La_N/Sm_N=3,06-3,28; La_N/Yb_N=6,82-7,22) s nešto slabije izraženom negativnom Eu anomalijom (Eu/Eu*=0,38-0,47). Sličan oblik krivulje ima i mikrogranit (Pri-2-1; La_N/Sm_N=4,52; La_N/Yb_N=6,74), s izraženijom negativnom Eu anomalijom (Eu/Eu*=0,12) u odnosu na alkalijsko-feldspatski granit (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5). Alkalijsko-feldspatski sijenit (Đt-48-5) karakteriziran je krivuljom s izraženim obogaćenjem lakih elemenata rijetkih zemalja (La_N/Sm_N=3,59; La_N/Yb_N=6,48) i izostankom Eu anomalije (Eu/Eu*=1,01).

Krivulja raspodjele koncentracija elemenata rijetkih zemalja za porfirodni granit (Ž-3-2) karakterizirana je izraženijim obogaćenjem lakih elemenata rijetkih zemalja (La_N/Sm_N=5,65; La_N/Yb_N=14,46) i slabije izraženom Eu negativnom anomalijom (Eu/Eu*=0,73) u odnosu na prethodno opisane stijene, izuzevši uzorak alklaijsko-feldspatskog sijenita (Đt-48-5). Sličnu krivulju ima riolit (Ž-3-2R), koji u odnosu na porfiroidni granit pokazuje nešto slabije obogaćenje lakih elemenata rijetkih zemalja (La_N/Sm_N=3,81; La_N/Yb_N=7,08) i izraženiju negativnu Eu anomaliju (Eu/Eu*=0,61).

10.3.2. Istočni dio Dravske depresije

Vrijednosti koncentracija elemenata rijetkih zemalja za analizirane stijene istočnog dijela Dravske depresije, izražene u ppm, prikazane su u **Tablici 10.6.**

Tablica 10.6 Vrijednosti koncentracija elemenata rijetkih zemalja za analizirane stijene istočnog dijela Dravske depresije, izražene u ppm.

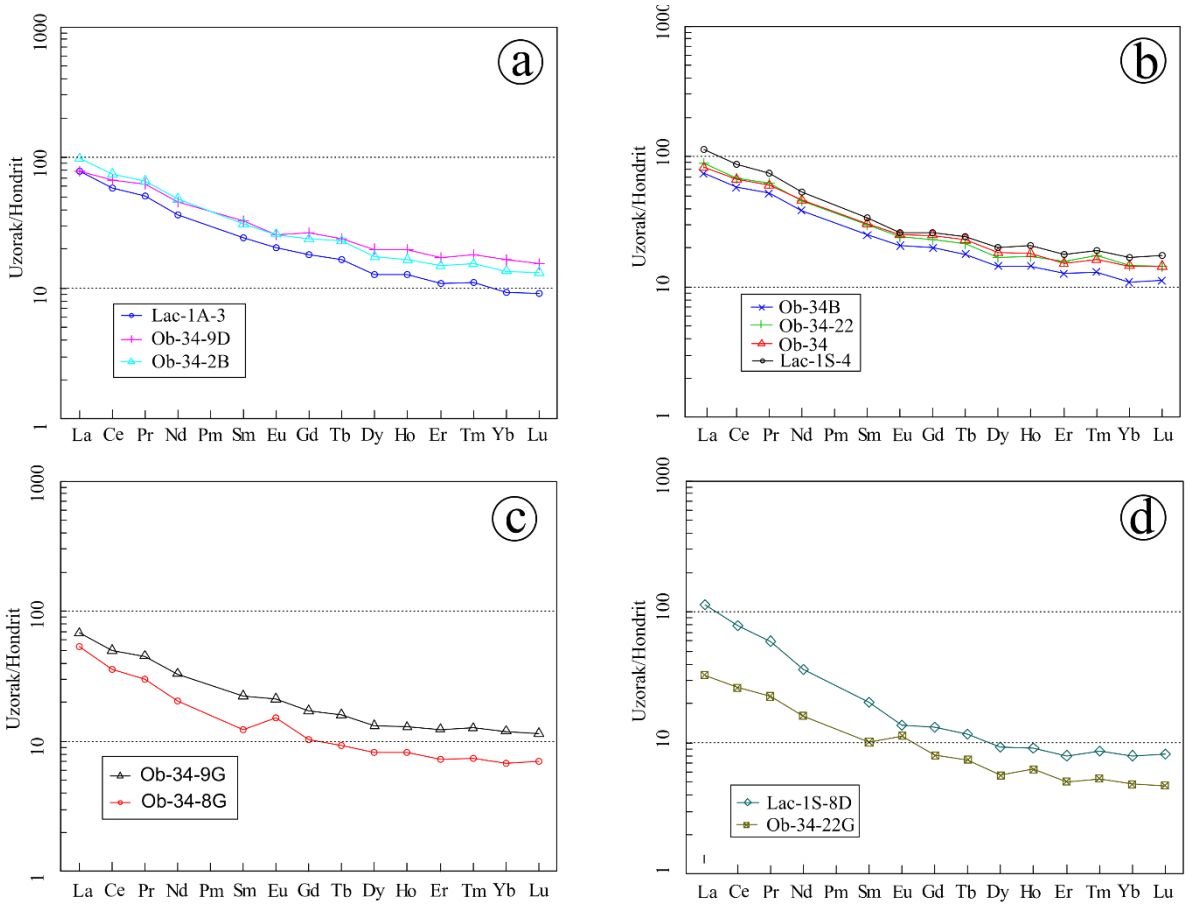
Uzorak	*Lac-1A-3*	*Ob-34-9D*	*Ob-34-2B*	*Ob-34B*	*Ob-34-22*	*Ob-34*	*Lac-1S-4*	*Ob-34-9G*	*Ob-34-8G*	*Lac-1S-8D*	*Ob-34-22G*	*Mar-4-9*	*Os-2A-2*	*TR-1*
Odredba	meta dijabaz	hbl dijabaz	bazaltni andezit	mnz diorit	mnz diorit	mnz diorit	mnz diorit	grd+ MME	grd	dacit	gnajs	mil. gnajs	mnz granit	lc. granit
La	26,10	26,10	32,50	24,40	29,40	27,10	37,30	22,40	17,60	37,70	10,90	86,80	17,70	5,10
Ce	50,30	58,10	64,50	50,20	58,90	57,90	74,90	43,10	30,70	67,60	22,80	144,40	37,00	12,60
Pr	5,71	7,07	7,39	5,87	7,05	6,75	8,39	5,07	3,36	6,70	2,54	14,62	4,25	1,49
Nd	23,00	28,90	30,30	24,20	28,80	29,20	33,60	20,80	12,90	23,00	10,10	50,10	16,00	5,40
Sm	4,90	6,60	6,33	5,09	6,05	6,19	6,90	4,52	2,50	4,15	2,06	6,71	3,85	1,90
Eu	1,56	1,98	1,99	1,60	1,88	1,93	2,00	1,63	1,16	1,05	0,87	1,86	0,89	0,08
Gd	5,00	7,30	6,57	5,51	6,38	6,87	7,23	4,74	2,83	3,66	2,21	4,90	4,24	1,85
Tb	0,78	1,12	1,08	0,84	1,01	1,09	1,14	0,75	0,44	0,55	0,35	0,62	0,70	0,38
Dy	4,40	6,82	6,00	4,95	5,76	6,29	6,86	4,52	2,84	3,20	1,94	3,27	3,76	2,44
Ho	0,89	1,37	1,16	1,01	1,21	1,27	1,45	0,90	0,58	0,64	0,44	0,51	0,52	0,41
Er	2,45	3,85	3,33	2,85	3,55	3,42	3,96	2,78	1,64	1,80	1,14	1,48	1,38	1,18
Tm	0,33	0,54	0,46	0,39	0,52	0,49	0,57	0,38	0,22	0,26	0,16	0,20	0,20	0,21
Yb	2,04	3,61	2,97	2,39	3,24	3,19	3,70	2,63	1,49	1,76	1,06	1,59	1,02	1,64
Lu	0,31	0,52	0,45	0,38	0,49	0,49	0,59	0,39	0,24	0,28	0,16	0,22	0,16	0,23
∑REE	127,77	153,88	165,03	129,68	154,24	152,18	188,59	114,61	78,50	152,35	56,73	317,28	91,67	34,91
*Eu/Eu**	0,97	0,88	0,95	0,93	0,93	0,91	0,87	1,08	1,34	0,83	1,25	1,00	0,68	0,13
La_N/Yb_N	8,53	4,82	7,30	6,81	6,05	5,66	6,72	5,68	7,87	14,28	6,86	36,39	11,57	2,07
La_N/Sm_N	3,28	2,43	3,16	2,95	2,99	2,69	3,33	3,05	4,33	5,59	3,25	7,96	2,83	1,65
Ce_N/Yb_N	6,27	4,09	5,52	5,34	4,62	4,62	5,15	4,17	5,24	9,77	5,47	23,10	9,23	1,95
Ce_N/Sm_N	2,41	2,07	2,39	2,31	2,28	2,20	2,55	2,24	2,88	3,82	2,60	5,05	2,26	1,56
Eu_N/Yb_N	2,18	1,57	1,91	1,91	1,66	1,73	1,54	1,77	2,22	1,70	2,35	3,34	2,49	0,14

hbl dijabaz – hornblenda dijabaz, mnz diorit – monzodiorit; grd+MME – granodiorit s mikrogranularnim mafitnim enklavama; grd – granodiorit; mil. gnajs – milonitni gnajs; mnz granit – monzogranit; lc. granit – leukogranit, $Eu/Eu^* = Eu_N/\sqrt{(Sm_N \times Gd_N)}$.

Obod

Zbroj koncentracija elemenata rijetkih zemalja (REE) (**Tablica 10.6**) mafitnih stijena iznosi 127,77 ppm za metadijabaz (Lac-1A-3), 153,88 ppm za hornblenda dijabaz (Ob-34-9D) i 165,03 ppm za bazaltni andezit (Ob-34-2B). Za monzodiorite (Ob-34, Ob-34B, Ob-34-22, Lac-1S-4) ovaj zbroj nalazi se u rasponu od 129,68 do 188,59 ppm. Kiseli varijeteti imaju niži zbroj koncentracija REE. Tako za granodiorit s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9G) ΣREE iznosi 114,61 ppm, a za granodiorit (Ob-34-8G) 78,5 ppm. Dacit (Lac-1S-8D) ima relativno visok zbroj koncentracija REE (152,35 ppm). Gnajs (Ob-34-22G) je karakteriziran niskim ΣREE (56,73 ppm).

Na Slici **10.17** prikazane su krivulje raspodjele koncentracija elemenata rijetkih zemalja normaliziranih prema vrijednostima hondrita (Nakamura, 1974).



Slika 10.17 Dijagram raspodjele koncentracija elemenata rijetkih zemalja normaliziranih na vrijednosti hondrita prema Nakamura (1974) za analizirane stijene područja Obod: a) metadijabaz (Lac-1A-3), hornblenda dijabaz (Ob-34-9D), bazaltni andezit (Ob-34-2B); b) monzodioriti (Ob-34, Ob-34B, Ob-34-22, Lac-1S-4); c) granodiorit s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9G) i granodiorit (Ob-34-8G); d) dacit (Lac-1S-8D) i gnajs (Ob-34-22G). 34-9G) .

Krivulje raspodjele koncentracija REE u svim analiziranim uzorcima ukazuju na obogaćenje lakih u odnosu na srednje teške i teške REE. Kod mafitnih stijena intenzitet obogaćenja se razlikuje te je više izražen kod metadijabaza (Lac-1A-3; La_N/Sm_N=3,28; La_N/Yb_N=8,53) i bazaltnog andezita (Ob-34-2B, La_N/Sm_N=3,16; La_N/Yb_N=7,3) nego kod hornblenda dijabaza (Ob-34-9D, La_N/Sm_N=2,43; La_N/Yb_N=4,83). Ove stijene imaju i slabo izraženu negativnu Eu anomaliju, koja je najviše izražena kod hornblenda dijabaza (Ob-34-9D; Eu/Eu*=0,88), a slabije kod bazalta (Ob-34-2B; Eu/Eu*=0,95) i metadijabaza (Lac-1A-3; Eu/Eu*=0,97).

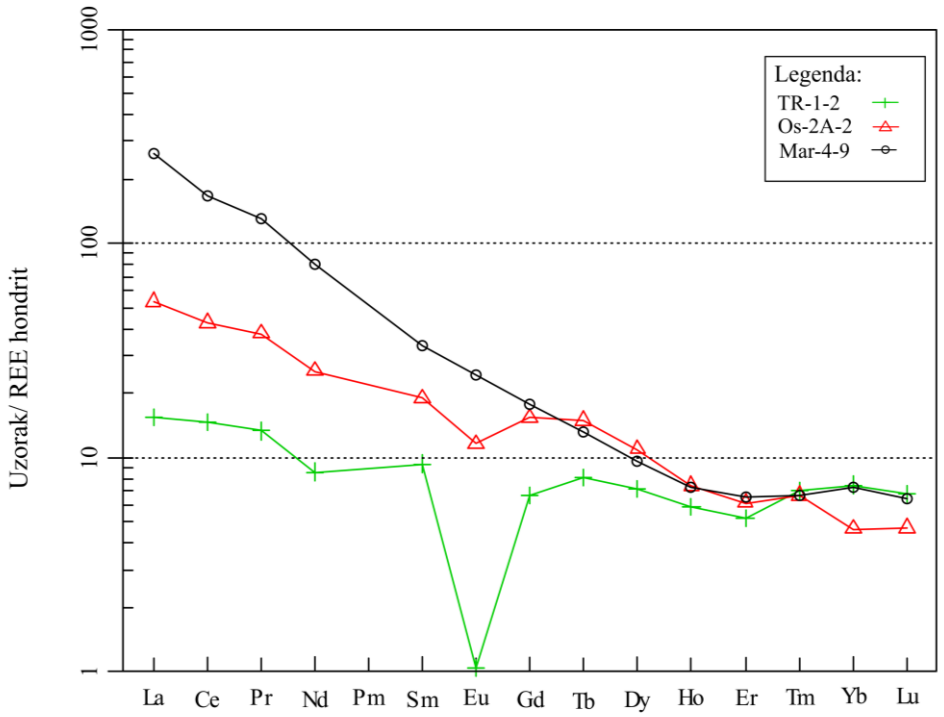
Vrlo sličan oblik krivulje raspodjele koncentracija REE imaju monzodioriti (Ob-34, Ob-34B, Ob-34-22, Lac-1S-4), s generalno slabije izraženim obogaćenjem lakih u odnosu na srednje teške (La_N/Sm_N=2,69-3,33) i teške REE (La_N/Yb_N=5,66-6,81). Uzorci monzodiorita također imaju slabo izraženu negativnu Eu anomaliju (Eu/Eu*=0,87-0,93).

Granodiorit s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9G) ima vrlo sličan oblik krivulje kao i monzodioriti, s obogaćenjem lakih REE u odnosu na srednje teške (La_N/Sm_N=3,05) i teške REE (La_N/Yb_N=5,68). Međutim, ovaj uzorak ima izraženu blagu pozitivnu Eu anomaliju (Eu/Eu*=1,08). Granodiorit (Ob-34-8G) pokazuje izraženije obogaćenje lakih REE u odnosu na srednje teške (La_N/Sm_N=4,33) i teške REE (La_N/YbN=7,87) i izraženiju pozitivnu Eu anomaliju (Eu/Eu*=1,34).

Krivulja raspodjele koncentracija REE za dacit (Lac-1S-8D) ukazuje na viši intenzitet obogaćenja lakih u odnosu na srednje teške (La_N/Sm_N=6,73) i teške REE (La_N/Yb_N=14,28) u odnosu na ostale analizirane magmatske stijene područja Obod. Ovaj uzorak ima izraženu negativnu Eu anomaliju (Eu/Eu*=0,87). Gnajs (Ob-34-22G) je karakteriziran obogaćenjem lakih u odnosu na srednje teške (La_N/Sm_N=3,25) i teške REE (La_N/Yb_N=6,86), s izraženom pozitivnom Eu anomalijom (Eu/Eu*=1,25).

Ostalo

Zbroj koncentracija elemenata rijetkih zemalja za milonitni gnajs (Mar-4-9) je najviši od svih analiziranih uzoraka i iznosi 317,28 ppm, za monzogranit (Os-2A-2) je relativno nizak i iznosi 91,67 ppm, a za leukogranit (TR-1-2) je vrlo nizak i iznosi 34,91 ppm. Na **Slici 10.18** prikazan je dijagram raspodjele koncentracija elemenata rijetkih zemalja normaliziranih na vrijednosti hondrita prema Nakamura (1974).



Slika 10.18 Dijagram raspodjele koncentracija elemenata rijetkih zemalja normaliziranih na vrijednosti hondrita prema Nakamura (1974) za skupinu analiziranih granitoida područja istočne Dravske depresije, izuzevši područje Obod.

Krivulje raspodjele koncentracija elemenata rijetkih zemalja za ostale analizirane uzorke iz Dravske depresije imaju vrlo različite oblike (**Slika 10.18**). Krivulja uzorka milonitnog gnajsa (Mar-4-9) pokazuje izrazito obogaćenje lakih i srednje teških elemenata rijetkih zemalja u odnosu na teške (La_N/Sm_N=7,96; La_N/Yb_N=36,39). Ova stijena nema izraženu Eu anomaliju (Eu/Eu*=1).

Krivulja raspodjela koncentracija elemenata rijetkih zemalja za monzogranit (Os-2A-2) ukazuje na obogaćenje lakih elemenata rijetkih zemalja u odnosu na srednje teške i teške (La_N/Sm_N=2,83; La_N/Yb_N=11,57). Ovaj uzorak ima izraženu negativnu Eu anomaliju (Eu/Eu*=0,68).

Krivulja raspodjele koncentracija elemenata rijetkih zemalja za leukogranit (TR-1-2) ima konkavan oblik, s blagim obogaćenjem lakih elementa rijetkih zemalja u odnosu na srednje teške i teške (La_N/Sm_N=1,65; La_N/Yb_N=2,07). Ova stijena ima izrazitu negativnu Eu anomaliju (Eu/Eu*=0,13).

11. ANALIZA IZOTOPA STRONCIJA

Za analizu omjera izotopa stroncija $^{87}Sr/^{86}Sr$ odabrani su uzorci alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3), monzodiorita (Ob-34B) i leukogranita (TR-1-2) U **Tablici 11.1** prikazani su rezultati.

Tablica 11.1 Rezultati analize izotopa stroncija $^{87}Sr/^{86}Sr$.

Uzorak	Pri-1-3	Ob-34B	TR-1-2
Odredba	AF granit	mnz diorit	lc. granit
$^{87}Sr/^{86}Sr$	0,72018	0,704351	0,93375
+/-2s	0,000003	0,000003	0,000004

AF granit – alkalijsko-feldspatksi granit, mnz diorit – monzodiorit, lc. granit – leukogranit.

Dobiveni omjer izotopa stroncija nije preračunat na inicijalne vrijednosti, jer starost analiziranih stijena nije poznata. Međutim, već na temelju izmjerene vrijednosti $^{87}Sr/^{86}Sr$ mogu se izvući neki općeniti zaključci.

Vrijednost omjera izotopa stroncija iznosi 0,7202, za uzorak **alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3)**, što ukazuje na porijeklo materijala iz kontinentalne kore.

Uzorak **monzodiorita (Ob-34B)** ima vrijednost $^{87}Sr/^{86}Sr$ od 0,7044, što je relativno nisko i ukazuje na utjecaj plaštnog materijala u genezi magme.

Vrijednost omjera izotopa stroncija za **leukogranit (TR-1-2)** je vrlo visok i iznosi 0,9338, što bi moglo ukazivati na visoki inicijalni omjer $^{87}Sr/^{86}Sr$ te na veliku starost u odnosu na prethodna dva uzorka.

12. DISKUSIJA

Poglavlje diskusija podijeljeno je na četiri cjeline. U prvom dijelu prikazan je geotermobarometrijski izračun, i to: temperatura zasićenosti cirkonijem, koja je izračunata na temelju kemijske analize cijele stijene, zatim oksibarometar na temelju kemijskog sastava hornblende te barometar na temelju sadržaja aluminija u hornblendi. Drugi dio diskusije odnosi se na analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije, treći na analizirane stijene područja Obod, a četvrti na analizirane stijene istočnog dijela Dravske depresije izuzevši područje Obod. Navedena potpoglavlja koncipirana su na sličan način: diskutira se kemijski sastav i tip granita, zatim petrogeneza, uvjeti kristalizacije, geotektonski položaj i konačno regionalno-geološke implikacije.

12.1. Geotermobarometrija

Različiti geotermometri i geobarometri koriste se u granitnim sustavima kako bi se odredila temperatura i tlak kristalizacije plutona. Osim temperature i tlaka, važan parametar koji utječe na konačan mineralni sastav jest i fugacitet kisika. Kao geotermometar korištena je temperatura zasićenosti cirkonijem, kao oksibarometar odnos željeza i magnezija u amfibolu, a kao geobarometar udio aluminija u amfibolu.

Iako su sastav magnetita i ilmenita u uzorku alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-5) analizirani unutar zrna koja su u dodiru, nije bilo moguće koristiti magnetit-ilmenit oksibarometar niti geotermometar. Naime, magnetit sadrži vrlo nizak udio ulvospinelne faze, posebice u konatku s ilmenitom, što je posljedica eksolucije Ti-faze iz magnetita (vidjeti poglavlje *8. SEM analize* i poglavlje *9.6. Kemizam minerala. Oksidi*).

12.1.1. Temperatura zasićenosti cirkonijem

Temperatura zasićenosti cirkonijem (T_{Zr}) računa se iz kemijskog sastava cijele stijene, na temelju koncentracije cirkonija u stijeni. Po Watson i Harrison (1983) definirana je termometrom:

$T_{Zr}=12900/[2,95+0,85M+\ln(496000/Zr)]$,

pri čemu M predstavlja kationski omjer (Na+K+2Ca)/(Al*Si). Navedeni termometar po autorima se može koristiti za one stijene koje imaju kationski omjer M u rasponu od 0,9-1,7. Ovaj termometar primjenjuje se za granite nastale parcijalnim taljenjem materijala kore. U

Tablici 12.1 prikazane su dobivene vrijednosti temperatura zasićenosti cirkonijem, za stijene koje zadovoljavaju postavljeni uvjet.

Tablica 12.1 Vrijednosti temperature zasićenosti cirkonijem.

Uzorak	*Stijena*	*M*	*Zr (ppm)*	*T (Zr_{sat}) (°C)*
Pri-1-3	AF granit	1,49	283,5	831
Pri-1-4	AF granit	1,44	320,5	847
Pri-1-5	AF granit	1,42	324,2	850
Pri-2-1	mikro granit	1,09	205,1	832
Tov-2-2	mil. gnajs	1,39	236,5	822
Đt-1-5	mil. gnajs	1,24	246,6	838
Ž-3-2	porf. granit	1,35	175,1	797
Ž -3-2R	riolit	1,10	56,3	721
Lac-1S-8D	dacit	1,48	222,3	809
Ob-34-22G	gnajs	1,32	260,5	836
Mar-4-9	mil. gnajs	1,51	213,3	803
Os-2A-2	mnz granit	1,06	55,5	723
TR-1-2	lc. granit	1,11	48,1	709

AF alkalijsko-feldspatski; mil.gnajs – milonitni gnajs; porf. granit – porfiroidni granit, mil. gnajs – milonitni gnajs; mnz granit – monzogranit; lc. granit – leukogranit, M – kationski omjer (Na+K+2Ca)/(Al*Si).

Uzorci iz područja Slavonsko-srijemske depresije (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5, Pri-2-1, Tov-2-2, Đt-1-5, Ž-3-2) imaju visoke vrijednosti temperature zasićenosti cirkonijem, izuzevši riolit (Ž-3-2R). Visoke vrijednosti (831°C-850°C) dobivene su za alkalijsko-feldspatske granite (Pri-1, Pri-1-4, Pri-1-5), kao i za mikrogranit (Pri-2-1, 832°C). Vrijednosti za milonitne gnajseve također su visoke (822°C za uzorak Tov-2-2 te 838°C za Đt-1-5), a mogu se uzeti kao relevantne uz pretpostavku da prilikom metamorfizma nije došlo do mobilizacije cirkonija. U tom slučaju odražavaju magmatske temperature. Nešto niža vrijednost temperature dobivena je za porfiroidni granit (uzorak Ž-3-2, 797°C), te niska za riolit (uzorak Ž-3-2R, 721°C). Uzorak alkalijsko-feldspatskog sijenita (Đt-48-5) ima previsok kationski omjer M (1,79) pa se nije mogla izračunati temperatura zasićenosti cirkonijem za ovaj uzorak.

Najveći dio uzoraka s područja Obod ima previsok kationski omjer M (1,7-3,22), što ne iznenađuje s obzirom da je termometar zasićenosti cirkonijem razvijen za stijene koje su porijeklom iz kore, dok stijene područja Obod obuhvaćaju bazične stijene porijeklom iz plašta, kao i stijene nastale nastale frakcionacijom iz bazične magme i njenim miješanjem s asimiliranim materijalom iz kore (vidjeti diskusiju u poglavlju *12.3. Diskusija Obod*).

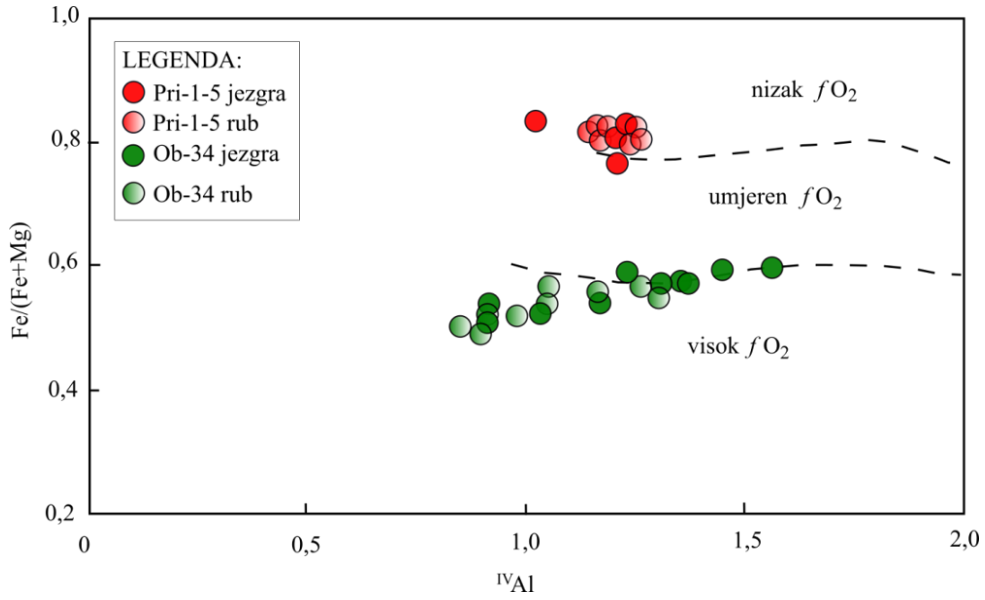
Temperatura zasićenosti cirkonijm za uzorak dacita (Lac-1S-8D) iznosi 809 °C, a za gnajs (Ob-34-22G) iznosi 836°C.

Uzorak milonitnog gnajsa (Mar-4-9) ima visoke vrijednosti temperature zasićenja cirkonijem (803°C).

Izračunata temperatura za uzorak monzogranita (Os-2A-2) je niska (723°C), kao i za uzorak leukogranita (TR-1-2) gdje iznosi 709°C.

12.1.2. Fugacitet kisika

Relativnu vrijednost fugaciteta kisika moguće je odrediti na temelju odnosa željeza i magnezija u amfibolu, zato što generalno vrijedi pravilo da u magmi s nižim fugacitetom kisika amfibol sadrži visok udio dvovalentnog željeza u odnosu na magnezij (Anderson i Smith, 1995). Amfibol koji sadrži veliki udio dvovalentnog željeza u odnosu na magnezij kristalizirao je u magmi s niskim fugacitetom kisika. Na Slici **12.1** prikazan je ^{IV}Al-Fe/(Fe+Mg) dijagram (Anderson i Smith, 1995), na temelju kojeg je moguće odrediti relativne vrijednosti fugaciteta kisika za amfibole iz uzoraka alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-5) i monzodiorita (Ob-34B).



Slika 12.1 Sastav amfibola iz uzoraka alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-5) i monzodiorita (Ob-34) prikazan u dijagramu ^{IV}Al-Fe/(Fe+Mg), koji služi za određivanje uvjeta fugaciteta kisika (Anderson i Smith, 1995).

Amfibol iz uzorka alkalijsko feldspatskog granita (Pri-1-5) nalazi se u polju niskog fugaciteta kisika, na granici s poljem umjerenog fugaciteta kisika (**Slika 12.1**). Ne postoje značajne razlike u pozicioniranju točaka mjerenih u jezgri i na rubu zrna. Nizak fugacitet kisika karakterističan je za magme iz kojih kristaliziraju graniti A-tipa (npr. Dall'Agnol i Oliveira, 2007).

Amfibol iz uzorka monzodiorita (Ob-34B) nalazi se u polju visokog fugaciteta kisika, ali velikim dijelom na granici s umjerenim fugacitetom kisika (**Slika 12.1**). Visok fugacitet kisika karakterističan je za magme kalcijsko-alkalijske serije (npr. Dall'Agnol i Oliveira, 2007).

12.1.3. Al-u-hornblendi barometar

Dubina, odnosno tlak kristalizacije u granitima može se izračunati pomoću Al-u-hornblendi barometra (sažeto u Anderson i dr., 2008).

Hammastrom i Zen (1986) razvili su barometar na hornblendi iz kalcijsko-alkalijskih plutonskih stijena, koje se sastoje od mineralne zajednice plagioklas (andezin-oligoklas)+K-feldspat+kvarc+hornblenda+biotit+titanit+magnetit (ili ilmenit). Hollister i dr. (1987) modificirali su izračun od Hammastrom i Zen (1986) te formulirali barometar za kalcijsko-alkalijske granite koji je pogodan za srednje vrijednosti tlaka (4-6 kbar). Barometar po Johnson i Rutherford (1988) razvijen je na hornblendi iz vulkanskih stijena, gdje je amfibol u ravnoteži s biotitom, plagioklasom, kvarcom, sanidinom, titanitom, ilmenitom ili magnetitom, pri uvjetima umjerenog fugaciteta kisika, (fO_2=-12,4, između Ni-NiO i MnO-Mn_3O_4 pufera kisika) i pri uvjetima temperature oko 760°C. Schmidt (1992) kalibrirao je Al-u-hornblendi barometar za temperaturni raspon od 655 do 700°C i raspon tlaka 2,5 do 13 kbar. Mutch i dr. (2016) razvili su u kalcijsko-alkalijskim granitima barometar za tlakove u rasponu od 0,8 do 10 kbar i temperature blizu granitnog solidusa (725±75°C), za područja rubova zrna hornblende.

Svi navedeni barometri formulirani su za kalcijsko-alkalijske granite, stoga se trebaju pažljivo koristiti. Po Anderson i Smith (1995) Al-u-hornbledi barometar ima ograničenu primjenu kod plitkih intruzija, kao i u slučaju A-tipova granita koji kristaliziraju iz magmi s niskim fugacitetom kisika. Navedeni autori smatraju kako su za ove dvije skupine stijena dobivene vrijednosti tlakova u pravilu više nego što bi realno trebale biti.

Uzorci koji su bili podvrgnuti analizi kemijskog sastava minerala, a sadrže hornblendu, su alkalijsko-feldspatski granit (Pri-1-5) i monzodiorit (Ob-34B). U **Tablici 12.2** prikazan je izračun na temelju nekoliko empirijskih i eksperimentalnih Al-u-hornblendi barometara.

Tablica 12.2 Vrijednosti dobivenih tlakova u kilobarima na temelju različitih empirijskih i eksperimentalnih Al-u-hornblendi barometara.

Uzorak	*Stijena*	*Mineral*	*Zrno*	*Pozicija*	*H&Z (1986)*	*H (1987)*	*J&R (1989)*	*S (1992)*	*M (2016)*
Ob-34B	mnz diorit	fedn	1	jezgra	4,67	3,76	4,56	5,12	3,96
Ob-34B	mnz diorit	fedn	1	jezgra	4,29	3,44	4,15	4,75	3,69
Ob-34B	mnz diorit	fedn	1	rub	2,87	2,25	2,61	3,42	2,76
Ob-34B	mnz diorit	fhbl	1	rub	1,35	0,97	0,96	1,98	1,94
Ob-34B	mnz diorit	fhbl	2	jezgra	2,26	1,74	1,95	2,84	2,41
Ob-34B	mnz diorit	fhbl	3	rub	1,94	1,46	1,6	2,53	2,23
Ob-34B	mnz diorit	fhbl	3	jezgra	2,66	2,07	2,38	3,22	2,64
Ob-34B	mnz diorit	fhbl	4	rub	2,41	1,87	2,12	2,98	2,49
Ob-34B	mnz diorit	fhbl	4	jezgra	1,95	1,48	1,62	2,55	2,24
Ob-34B	mnz diorit	fhbl	5	rub	1,79	1,34	1,43	2,39	2,16
Ob-34B	mnz diorit	fhbl	5	rub	1,7	1,27	1,34	2,31	2,11
Ob-34B	mnz diorit	fhbl	6	rub	1,1	0,76	0,69	1,74	1,82
Ob-34B	mnz diorit	fhbl	6	jezgra	1,06	0,73	0,65	1,7	1,8
Ob-34B	mnz diorit	fhbl	7	rub	1,14	0,79	0,73	1,78	1,84
Ob-34B	mnz diorit	fhbl	7	jezgra	3,81	3,04	3,63	4,31	3,36
Ob-34B	mnz diorit	fhbl	8	rub	0,79	0,5	0,35	1,44	1,68
Ob-34B	mnz diorit	fhbl	8	jezgra	1,27	0,9	0,87	1,9	1,9
Ob-34B	mnz diorit	fhbl	9	rub	1,56	1,15	1,19	2,18	2,04
Pri-1-5	AF granit	fedn	9	jezgra	2,39	1,85	2,09	2,96	2,48
Pri-1-5	AF granit	fedn	10	jezgra	1,53	1,12	1,16	2,15	2,03
Pri-1-5	AF granit	fedn	10	rub	2,71	2,12	2,44	3,26	2,67
Pri-1-5	AF granit	fedn	11	rub	2,76	2,16	2,49	3,31	2,69
Pri-1-5	AF granit	fedn	11	jezgra	2,48	1,93	2,19	3,05	2,53
Pri-1-5	AF granit	fedn	11	rub	2,76	2,16	2,49	3,31	2,7
Pri-1-5	AF granit	fedn	12	rub	2,46	1,9	2,16	3,02	2,52
Pri-1-5	AF granit	fedn	12	jezgra	2,58	2	2,29	3,14	2,59
Pri-1-5	AF granit	fedn	12	rub	2,53	1,96	2,24	3,09	2,56
Pri-1-5	AF granit	fedn	12	rub	2,57	2	2,29	3,13	2,58
Pri-1-5	AF granit	fedn	12	rub	2,82	2,21	2,55	3,37	2,73
Pri-1-5	AF granit	fedn	12	rub	2,24	1,72	1,92	2,82	2,4

Kratice: mnz diorit - monzodiorit, AF granit- alkalijsko-feldspatski granit, fedn – feroedenit, fhbl – ferohornblenda, H&Z(1986) - Hammastrom i Zen (1986), H(1987) - Hollister i dr. (1987), J&R(1988) - Johnson i Rutherford (1988), S(1992) - Schmidt (1992), M(2016) - Mutch i dr. (2016).

Vrijednosti izračunatih tlakova u istraživanim uzorcima značajno se razlikuju ovisno o korištenoj barometrijskoj formulaciji. S obzirom da se u slučaju analiziranih stijena radi o plitkim intruzijama, te da temperatura dobivena iz zasićenosti cirkonijem za alkalijsko-feldspatski granit (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5) ukazuje na visokotemperaturnu kristalizaciju, u daljnjim razmatranjima raspravit će se rezultati dobiveni na temelju formulacije barometara autora Johnson i Rutherford (1989) te Mutch i dr. (2016).

Po Johnson i Rutherford (1989) barometru, feroedenit iz uzorka alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-5) kristalizirao je na tlakovima 1,16-2,55 kbar, s prosječnom vrijednošću od 2,19 kbar. Nisu uočene razlike u dobivenim vrijednostima za jezgre i rubove zrna. Vrijednosti po Mutch i dr. (2016) u rasponu su od 2,03 do 2,73 kbar, u prosjeku 2,54 kbar. Međutim, ovi barometri razvijeni su na amfibolima iz kalcijsko-alkalijskih granita, koji su kristalizirali u magmama s umjerenim ili visokim fugacitetom kisika. Feroedenit iz ovog uzorka kristalizirao je pri niskom fugacitetu kisika, kako je već prikazano u prethodnom poglavlju (**Slika 12.1**). Po Anderson i Smith (1995) tlakovi dobiveni ovim barometrima vjerojatno su precijenjeni, odnosno trebali bi biti niži.

U uzorku monzodiorita (Ob-34B) tlak za analizirani feroedenit u jezgri zrna po izračunu na temelju Johnson i Rutherford (1989) nalazi se u rasponu od 2,61 do 4,56 kbar, u prosjeku 3,74 kbar. Vrijednosti po Mutch i dr. (2016) su u rasponu od 2,76 do 3,96 kbar, u prosjeku 3,44 kbar. Međutim, ova formulacija barometra definirana je samo za rubove mineralnih zrna, ne i za njihove jezgre.

Tlak za analiziranu jezgru ferohornblende nalazi se u rasponu of 0,65 do 2,38 kbar, u prosjeku 1,65 kbar po Johnson i Rutherford (1989), dok bi po Mutch i dr. (2016) tlakovi bili 1,8-2,64 kbar, u prosjeku 2,20 kbar. Za rub ferohornblende dobivene su vrijednosti 0,35 do 2,61 kbar, u prosjeku 2,32 kbar po Johnson i Rutherford (1989), odnosno 1,68-2,76 kbar, u prosjeku 2,32 kbar po Mutch i dr. (2016). Dobivene vrijednosti u skladu su s petrografskim podatcima na temelju kojih je razvidno da je sustav bio u neravnotežnom stanju. Uostalom, velika količina hornblende u stijeni ukazuje na visoki parcijalni tlak vode, koji je zasigurno imao utjecaja i na tlak kristalizacije. S obzirom da ni jedan od citiranih barometrijskihh izračuna nije razvijen za tip stijene s visokim parcijalnim tlakom vode, dobiveni rezultat ne bi se trebao koristiti.

12.2. Slavonsko-srijemska depresija

12.2.1. Kemijski sastav i tipologija granitoida

Alkalijsko-feldspatski graniti (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5) su korištenjem geokemijske klasifikacije po Frost i dr. (2001) determinirani kao željezoviti, alkalijsko-kalcijski, metaluminijski do slabo peraluminijski graniti (**Slika 10.3**). Njihov kemijski sastav nedvojbeno ukazuje na A-tip granita, na način kako su ga definirali Loiselle i Wones (1979), Collins i dr. (1982), Whalen i dr. (1987) i Eby (1990). Proučavane stijene karakterizirane su vrlo visokim omjerom $FeO_t/(MgO+FeO_t)$ (0,91-0,93), visokim sadržajem K_2O (4,58-4,94 mas.%) i Na_2O (3,92-4,5 mas.%), te niskim CaO (0,55-0,84 mas.%), MgO (0,13-0,22 mas.%) i P_2O_5 (0,03-0,05 mas.%). Visoke koncentracije REE^{3+} u istraživanim stijenama (ΣREE^{3+} =220,28-245,12 ppm), kao i Rb (198,5-216,8 ppm), Zr (283,5-324,2 ppm), Nb (43,6-49,2 ppm) i Y (42,5-49,1 ppm), popraćene niskim koncentracijama Ba (192-251 ppm), Sr (36,5-48,4 ppm) i Eu (0,52-0,53 ppm) također su indikativne za A-tip granita. Dodatno, i oblik krivulje raspodjele koncentracija elemenata rijetkih zemalja normaliziranih na hondrit prema vrijednostima Nakamura (1974), a koja je u ovim stijenama karakterizirana izrazitom negativnom Eu anomalijom (0,21-0,27), značajnim LREE obogaćenjem (La/Yb=5,9-7,3) i gotovo ravnim trendom za HREE (**Slika 10.16**), tipičan je za A-tip granita, kako ga opisuju Papoutsa i dr. (2015). U *spider* dijagramu elemenata u tragovima normaliziranih na primitivni plašt prema Sun i MacDonough (1989) osim negativnih anomalija Ba, Sr i Eu, uočljive su i negativne anomalije P, Ti i Nb (**Slika 10.11**).

Alkalijsko-feldspatski sijenit (Đt-48-5) je na temelju geokemijske klasifikacije po Frost i dr. (2001) određen kao željezovita, alkalijska i metaluminijska stijena (**Slika 10.3**). Također je karakteriziran visokim $FeO_t/(MgO+FeO_t)$ (0,81), visokim sadržajem K_2O (6,05 mas.%) i Na_2O (4,6 mas.%) te relativno niskim CaO (2,07 mas.%). Ova stijena pokazuje mnoge sličnosti s alkalijsko-feldspatskim granitima (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5) te su vjerojatno ko-magmatskog porijekla. Sadržaj K_2O i Na_2O u sijenitu viši je nego kod alkalijsko-feldspatskog granita. U *spider* dijagramu (**Slika 10.11**) ovaj uzorak ima izražene pozitivne anomalije K i Zr (koncentracija Zr je visoka u ovoj stijeni i iznosi 630,9 ppm), dok u njegovom REE dijagramu, za razliku od alkalijsko-feldspatskih granita, nije izražena negativna anomalija Eu (**Slika 10.16**). Navedene karakteristike ukazuju na kumulatno porijeklo ove stijene, odnosno na njezin nastanak kumulativnim procesima iz A-tipa magme iz koje su kristalizirali i alkalijsko-feldspatski graniti Privlake. Frakcijska kristalizacija plagioklasa, K-feldspata i cirkona te

njihova kumulacija mogu objasniti odstupanja u odnosu na *spider* dijagrame i REE dijagrame alkalijsko-feldspatskih granita.

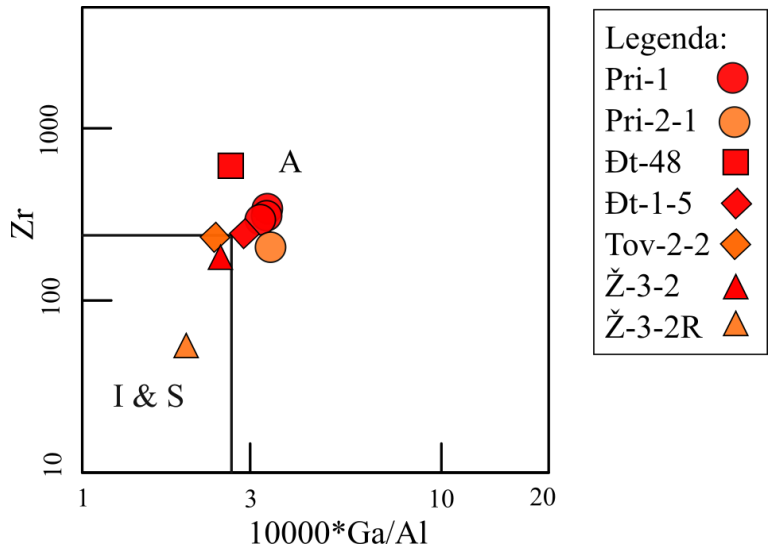
Mikrogranit (Pri-2-1) je po Frost i dr. (2001), klasificiran kao željezoviti, kalcijsko-alkalijski i peraluminijski granit (**Slika 10.3**). Generalno, stijena ima slične geokemijske karakteristike kao alkalijsko-feldspatski graniti (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5). Ključne razlike su nizak sadržaj K_2O (1,41 mas.%), viši sadržaj Na_2O (5,25 mas.%) i Sr (100,6 ppm) te niži sadržaj Rb (66,4 ppm) i Zr (205,1 ppm) ovog uzorka u odnosu na navedene alkalijsko-feldspatske granite. Također treba istaknuti da je mikrogranit (Pri-2-1), uzimajući u obzir mineralni i kemijski sastav, više evoluiran od alkalijsko-feldspatskih granita. Pod pretpostavkom da je njihov odnos ko-magmatski, mikrogranit (Pri-2-1) je mogao nastati separacijom magme u kasnoj fazi nakon kristalizacije alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5). Može se pretpostaviti da je kristalizacija visokotemperaturnog K-feldspata i biotita dovela do osiromašenja preostale taljevine na K_2O i Rb. Posljedično, preostala magma iz koje je kristalizirao mikrogranit obogaćena je Na_2O u odnosu na K_2O i Sr u odnosu na Rb. Niže koncentracije Zr najvjerojatnije su posljedica frakcionacije cirkona. Uzevši u obzir pretpostavku da su navedena odstupanja posljedica evolucije magme pod utjecajem frakcijske kristalizacije, mikrogranit (Pri-2-1) također ima karakteristike A-granita.

Porfiroidni granit (Ž-3-2) i **riolit (Ž-3-2R)** su po Frost i dr. (2001) klasificirani kao magnezijske, alkalijsko-kalcijske i peraluminijske stijene (**Slika 10.3**). U odnosu na alkalijsko-feldspatske granite Privlake (Pri-1-3, Pri-1-4 i Pri-1-5) imaju visoku koncentraciju Ba (595 i 698 ppm) te nisku koncentraciju Zr (175,1 i 56,3 ppm), Nb (16 i 11,1 ppm) i Y (17,7 i 15,6 ppm). Osim toga, od alkalijsko-feldspatskih granita Privlake razlikuju se i po slabije izraženoj negativnoj Eu anomaliji (0,73 i 0,61) te po više izraženom obogaćenju LREE u odnosu na HREE (La/Y=14,46 i 7,08). Navedene karakteristike ukazuju na različito porijeklo i tipologiju porfiroidnog granita (Ž-3-2) i riolita (Ž-3-2R) Županje u odnosu na magmatske stijene područja Privlake. Porfiroidni granit (Ž-3-2) i riolit (Ž-3-2R) nemaju karakteristike A-tipa granita.

Milonitni gnajs oznake **Tov-2-2** je u klasifikaciji po Frost i dr. (2001) smješten na granicu između željezovitih i magnezijskih, odnosno alkalijsko-kalcijskih i kalcijsko-alkalijskih stijena i odgovara peraluminijskim stijenama, dok je **milonitni gnajs Đt-1-5** po istoj klasifikaciji određen kao magnezijska, alkalijsko-kalcijska (blizu granice s kalcijsko-alkalijskim) i peraluminijska stijena (**Slika 10.3**). U odnosu na alkalijsko-feldspatske granite

Privlake (Pri-1-3, Pri-1-4 i Pri-1-5) milonitni gnajsevi imaju niži sadržaj Nb (16,8 i 17,2 ppm). Generalno imaju sličan oblik raspodjele koncentracija elemenata u tragovima u *spider* dijagramu i koncentracija elemenata rijetkih zemalja kao i alkalijsko-feldspatski graniti Privlake (Pri-1-3, Pri-1-4 i Pri-1-5), što je vidljivo na **Slikama 10.11 i 10.16.** Stoga je moguće pretpostaviti da su stijene slične alkalijsko-feldspatskim granitima Privlake bile protolitne stijene navedenih milonitnih gnajseva, a da je selektivna remobilizacija glavnih elemenata tijekom metamorfizma dovela do izvjesnih razlika. Međutim, za izvođenje bilo kakvih zaključaka o protolitu milonitnih gnajseva područja Đeletovaca i Tovarnika, potrebne su dodatne analize.

Kako bi se provjerila karakterizacija dijela analiziranih granitoida Slavonsko-srijemske depresije kao A-tipa granita, korišteni su diskriminacijski dijagrami koje su definirali Whalen i dr. (1987). Prikazan je najčešće korišten dijagram po navedenim autorima: 10000*Ga/Al – Zr (**Slika 12.2**).

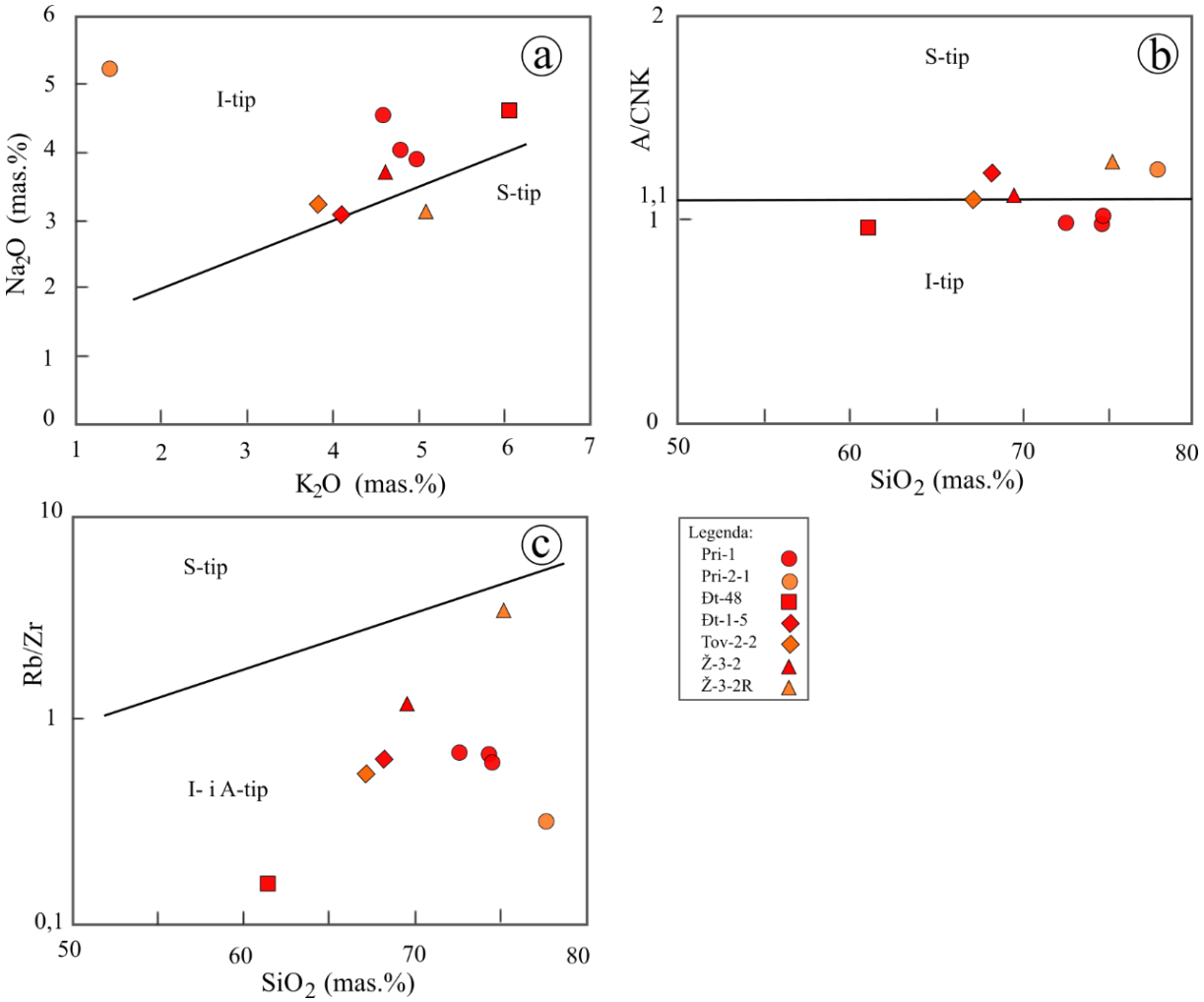


Slika 12.2 Diskriminacijski dijagram 10000*Ga/Al – Zr za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije, koji omogućuje razlikovanje A-tipa granita od I i S-tipova (Whalen i dr., 1987). Pri-1 – skupuna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5).

Iz dijagrama na **Slici 12.2** jasno je vidljivo da su alkalijsko-feldspatski graniti (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5), mikrogranit (Pri-2-1) i alkalijsko-feldspatski sijenit (Đt-48-5) nastali iz magme A-tipa. Milonitni gnajsevi nalaze se na graničnom području, pri čemu je uzorak Đt-1-5 u polju A-tipa granita, a Tov-2-2 na granici između polja A-tipa te zajedničkog polja I i S-tipa. Porfiroidni granit (Ž-3-2) i riolit (Ž-3-2R) nalaze se u zajedničkom polju I i S tipa. Može se

zaključiti da je diskriminacijski dijagram na **Slici 12.2** u skladu sa zaključcima izvedenim iz kemijskog sastava stijene.

Chapell i White (1974) prvi su definirali I i S-tip granita koristeći geokemijske kriterije za razlikovanje ove dvije skupine. Među tim kriterijima je i odnos K_2O i Na_2O (**Slika 12.3a**), kao i odnos SiO_2 i A/CNK (**Slika 12.3b**). Osim toga, za razlikovanje I i S-granita mogu se koristiti i sadržaji mikroelemenata (Harris i dr. 1986), poput odnosa SiO_2 i Rb/Zr (**Slika 12.3c**).



Slika 12.3 Dijagrami za razlikovanje granita I i S-tipa za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije: a) K_2O – Na_2O (Chapell i White, 1974); b) SiO_2 – A/CNK (Chapell i White, 1974); c) SiO_2 – Rb/Zr (Harris i dr. 1986). A/CNK – molarni omjer (Al/Ca+Na+K). Pri-1 – skupuna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5).

U dijagramu K_2O – Na_2O (**Slika 12.3a**), uzorak porfiroidnog granita (Ž-3-2) nalazi su u polju I-granita, a uzorak riolita (Ž-3-2R) u polju S-granita. Ostali uzorci, koji su određeni kao A-tip granitoida, projiciraju se u polje granita I-tipa. U dijagramu SiO_2 – A/CNK (**Slika 12.3b**), uzorak porfiroidnog granita (Ž-3-2) nalazi su u polju S-tipa, blizu granice s I-tipom, dok se riolit nalazi u polju S-granita. Alkalijsko-feldspatski graniti (Pri-1-3, Pri-1-4 i Pri-1-5) i

alkalijsko-feldspatski sijenit (Đt-48-5) nalaze se u polju I-tipa, dok se jedan uzorak milonitnog gnajsa (Tov-2-2) nalazi na granici, a drugi milonitni gnajs (Đt-1-5) i mikrogranit (Pri-2-1) projiciraju u polje S-granita. Ovakva raspodjela vjerojatno je rezultat različitog stupnja frakcionacije magme. U dijagramu SiO_2 – Rb/Zr (**Slika 12.3c**) uzorci porfiroidnog granita i riolita, zajedno s ostalim analiziranim stijenama Slavonsko-srijemske depresije projiciraju se u zajedničko polje I i A-tipa granita.

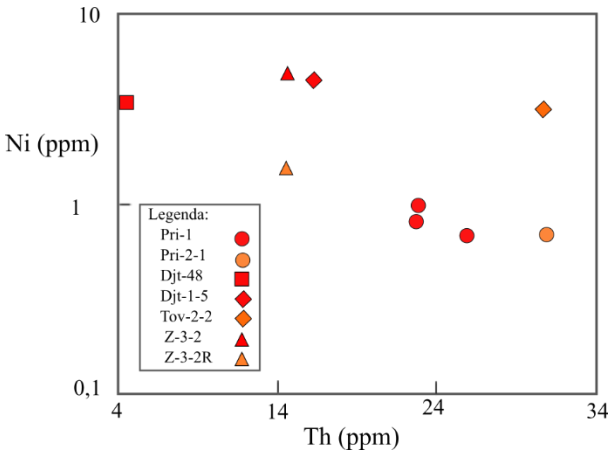
Dakle, tipologija porfiroidnog granita (Ž-3-2) i riolita (Ž-3-2R) ne može se jednoznačno razriješiti na osnovu prikazanih dijagrama.

12.2.2. Petrogeneza

Omjer izotopa stroncija ($^{87}Sr/^{86}Sr$=0,7202) koji je analiziran u uzorku alkalijsko-feldspatskog granita Pri-1-4 ukazuje na porijeklo taljevine iz kontinentalne kore. Blage negativne anomalije Sr, P, Ti i Nb u alkalijsko-feldspatskom sijenitu (Đt-48-5) ukazuju na rezidualni plagioklas, apatit i Fe-Ti oksid u protolitu ili na frakcionaciju ovih minerala tijekom evolucije magme. Obogaćenje LREE u odnosu na MREE i HREE ukazuje na rezidualni amfibol i/ili klinopiroksen ili također na frakcionaciju navedenih minerala (Hanson, 1978).

Porfiroidni granit (Ž-3-2) i riolit (Ž-3-2R) karakterizirani su istim anomalijama u *spider* dijagramu, no u dijagramima raspodjele koncentracija REE normaliziranih na vrijednosti hondrita po Nakamura (1974) za porfiroidni granit je izraženije osiromašenje HREE u odnosu na MREE i LREE (**Slika 10.16**) što ukazuje na mogući rezidualni granat u protolitu. Također, ove stijene su karakterizirane blažim negativnim Eu anomalijama, što ukazuje na manji utjecaj frakcijske kristalizacije plagioklasa. Dakle, rezidualni materijal preostao nakon parcijalnog taljenja mogao bi uključivati plagioklas, apatit, Fe-Ti-oksid, amfibol i/ili klinopiroksen te u slučaju porfiroidnog granita (Ž-3-2), moguće i granat.

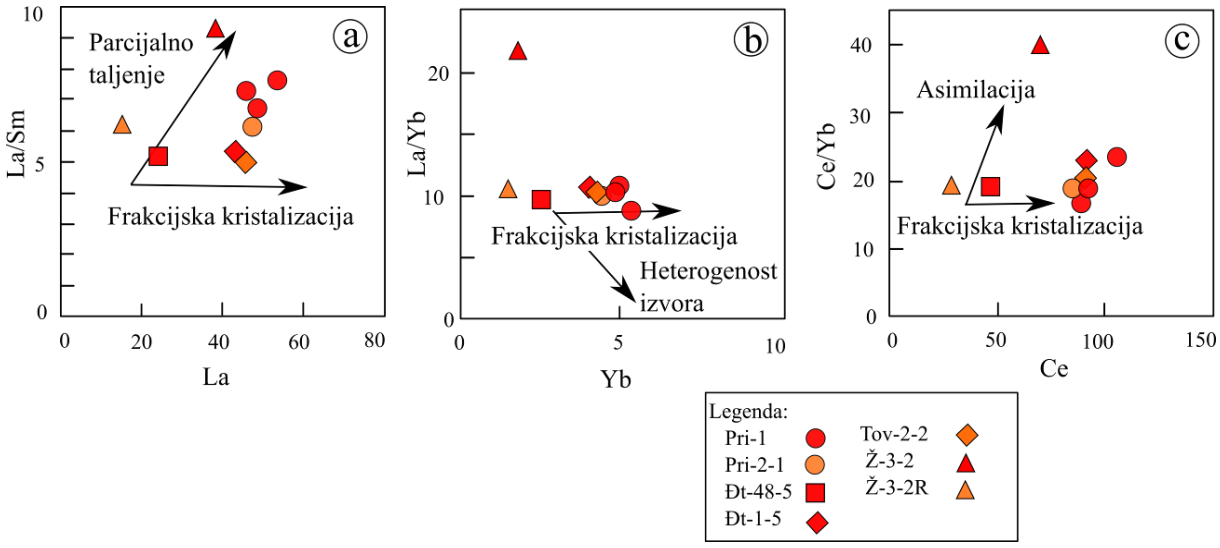
Razlučivanje utjecaja parcijalnog taljenja od frakcijske kristalizacije na razlike unutar pojedinih članova magmatske serije moguće je na temelju dijagrama koji dovode u odnos koncentracije izrazito kompatibilnog i izrazito inkompatibilnog elementa (Hanson, 1978). U ovom slučaju korišten je odnos Th, koji je inkompatibilan i Ni, koji je kompatibilan (**Slika 12.4**).



Slika 12.4 Binarni dijagram Th – Ni za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije. Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5).

Na **Slici 12.4** jasno je vidljiv pad koncentracije Ni uz porast koncentracije Th idući od alkalijsko-feldspatskog sijenita (Đt-48-5), preko alkalijsko-feldspatskih granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5) do mikrogranita (Pri-2-1), što bi moglo ukazivati na utjecaj frakcijske kristalizacije u evoluciji magme, ukoliko je točna pretpostavka da su ovi uzorci ko-magmatski.

Niz dijagrama na **Slici 12.5**, preuzet iz Sarjoughian i dr. (2015), konstruiran je kako bi se razlučio dominantan proces koji je djelovao na evoluciju magme.

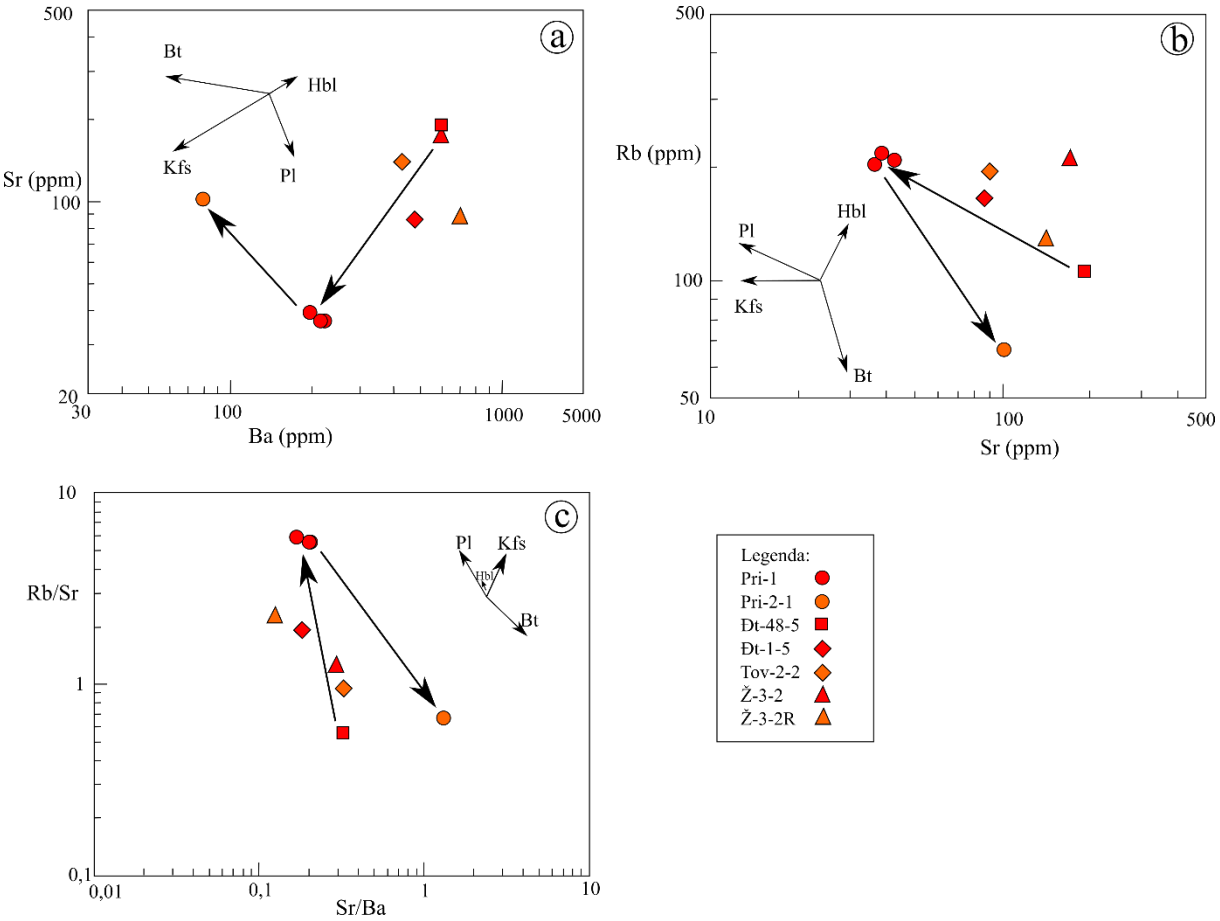


Slika 12.5 Dijagrami za razlikovanje frakcijske kristalizacije od drugih procesa koji su mogli djelovati na evoluciju magme (preuzeto iz Sarjoughian i dr., 2015) za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije. Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5).

U dijagramu La-La/Sm (**Slika 12.5a**) može se uočiti pozitivni prividni trend porasta La popraćenog rastom omjera La/Sm od alkalijsko-feldspatskog sijenita (Đt-48-5) do alkalijsko-feldspatskih granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5), što ukazuje na utjecaj parcijalnog taljenja. S druge strane, rast koncentracije Yb uz konstantan omjer La/Yb (**Slika 12.5b**) te rast koncentracije Ce uz generalno konstantan omjer Ce/Yb (**Slika 12.5c**) ukazuju na presudan utjecaj procesa frakcijske kristalizacije. Uzorak porfiroidnog granita (Ž-3-2) očekivano ima veliko odstupanje omjera La/Yb i Ce/Yb u odnosu na ostale analizirane stijene. Kod uzorka riolita (Ž-3-2R) podudarnost s ostalim analiziranim stijenama je slučajna (posebice uzme li se u obzir visok sadržaj SiO_2 kod ovog uzorka, koji bi u slučaju komagmatskog odnosa morao rezultirati povišenim koncentracijama inkompatibilnih elemenata).

Uzevši u obzir ostale geokemijske indikatore, poput izrazite negativne anomalije Eu, Sr, Ti, koje su više izražene kod felzitnih članova, izvjesniji je utjecaj frakcijske kristalizacije.

Utjecaj pojedinih minerala, odnosno njihove frakcijske kristalizacije na evoluciju magme može se procijeniti pomoću odnosa Rb, Sr i Ba (Hanson, 1978; Dall'Agnol i dr. 1999a). U biotitu su kompatibilni Rb i Ba, a u feldspatima je kompatibilan Sr, stoga se uslijed kristalizacije plagioklasa i u manjoj mjeri K-feldspata omjer Rb/Sr u preostaloj taljevini povećava, dok se uslijed kristalizacije biotita on smanjuje (Hanson, 1978). Omjer Sr/Ba u taljevini smanjuje se kristalizacijom plagioklasa, blago povećava kristalizacijom K-feldspata, a izrazito povećava kristalizacijom biotita (Hanson, 1978). U dijagramima na **Slici 12.6** prikazan je odnos navedenih elemenata i njihovih omjera.



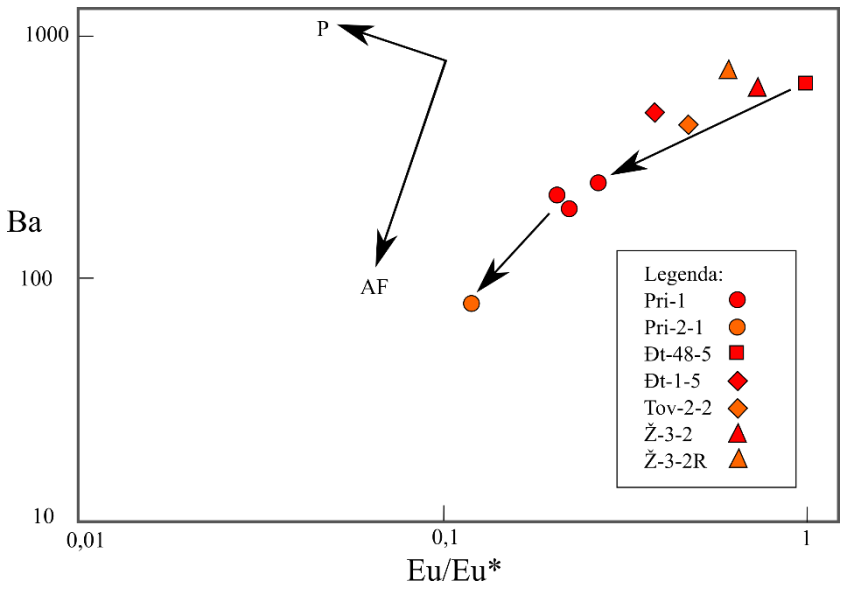
Slika 12.6 Dijagrami a) Ba – Sr; b) Sr – Rb; c) Sr/Ba – Rb/Sr za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije. Vektori prikazuju utjecaj frakcionacije plagioklasa (Pl), K-feldspata (Kfs), hornblende (Hbl) i biotita (Bt) na sastav preostale taljevine i preuzeti su iz Dall'Agnol, i dr. (1999a). Velike strelice označavaju pretpostavljene trendove frakcijske kristalizacije u analiziranim stijenama. Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5).

Kako je već opisano u poglavlju o kemijskom sastavu stijena, koncentracije Ba, Sr i Rb izrazito variraju u uzorcima alkalijsko-feldspatskog sijenita (Đt-48-5), alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5) i mikrogranita (Pri-2-1), za koje je pretpostavljen ko-magmatski odnos. U dijagramu Ba – Sr (**Slika 12.6a**) vidljiv je izrazit pad koncentracije Sr i

Ba od alkalijsko-feldspatskog sijenita do alkalijsko-feldspatskog granita, što ukazuje na značajan utjecaj kristalizacije plagioklasa i dijelom K-feldspata. Iz dijagrama Sr – Rb (**Slika 12.6b**) rast koncentracije Rb i pad koncentracije Sr od alkalijsko-feldspatskog sijenita prema alkalijsko-feldspatskim granitima ukazuje na frakcijsku kristalizaciju plagioklasa. Izrazit rast omjera Rb/Sr i pad Sr/Ba (**Slika 12.6c**) od alkalijsko-feldspatskog sijenita prema alkalijsko-feldspatskim granitima ukazuje na veći utjecaj frakcijske kristalizacije plagioklasa nego K-feldspata.

Sasvim drugi trend izražen je u evoluciji magme od alkalijsko-feldspatskog granita prema mikrogranitu. U dijagramu Ba – Sr (**Slika 12.6a**) može se uočiti pad koncentracije Ba i izrazit rast koncentracije Sr, što je uzrokovano kristalizacijom biotita i hornblende. Oštar pad koncentracije Rb i porast koncentracije Sr (**Slika 12.6b**) također ukazuju na utjecaj kristalizacije biotita i manjim dijelom hornblende. Utjecaj kristalizacije biotita jasno je izražen i na dijagramu Sr/Ba – Rb/Sr (**Slika 12.6c**), gdje je izražen porast omjera Sr/Ba i pad omjera Rb/Sr.

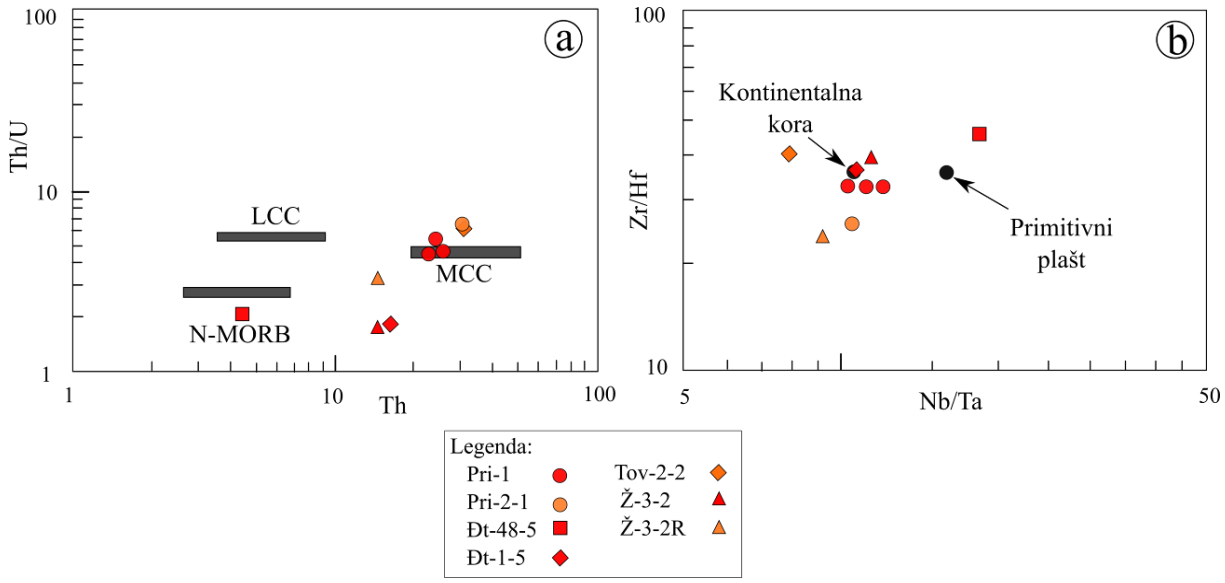
Pomoću dijagrama Eu/Eu* – Ba prema Eby (1990) također se može razlučiti utjecaj frakcionacije plagioklasa od utjecaja frakcionacije K-feldspata na evoluciju magme (**Slika 12.7**). Kristalizacija plagioklasa dovodi do pada vrijednosti omjera Eu/Eu*, odnosno do izraženije negativne anomalije europija u taljevini i porasta koncentracije Ba. Kristalizacija K-feldspata dovodi do blagog pada Eu/Eu* i izraženog pada koncentracije Ba u taljevini.



Slika 12.7 Dijagram Eu/Eu* – Ba za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije. Vektori označavaju frakcionacijske trendove za plagioklas (P) i K-feldspat (AF) i preuzeti su iz Eby (1990). Strelica označava pretpostavljeni frakcionacijski trend od alkalijsko-feldspatskog sijenita (Đt-48-5) do mikrogranita (Pri-2-1).

Iz dijagrama Eu/Eu* – Ba (**Slika 12.7**) jasno je vidljiv trend pada Eu/Eu* popraćen smanjenjem koncentracije Ba. Drugim riječima, evolucija magme od alkalijsko-feldspatskog sijenita do mikrogranita uvjetovana je frakcionacijom i K-feldspata i plagioklasa. Prvi dio evolucije od alkalijsko-feldspatskog sijenita do alkalijsko-feldspatskog granita ima više izražen pad Eu/Eu* i slabije izražen pad koncentracije Ba te je bio pod podjednakim utjecajem frakcionacije plagioklasa i K-feldspata. Drugi dio obilježen je izraženijim padom koncentracije Ba i slabijim padom Eu/Eu* što ukazuje na veći utjecaj frakcionacije K-feldspata.

Pomoću dijagrama Th – Th/U i Nb/Ta – Zr/Hf može se razlučiti izvorište magme (**Slika 12.8**, preuzeto iz Sarjoughian i dr., 2015) jer se pretpostavlja da omjeri pojedinih elemenata ostaju nepromijenjeni tijekom frakcijske kristalizacije.



Slika 12.8 Dijagrami za razlikovanje različitih izvorišta magme za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije: a) Th – Th/U; b) Nb/Ta – Zr/Hf (Yang et al., 2008). Sastav donje (LCC) i srednje kontinentalne kore (MCC) prema Rudnick i Gao (2003); sastav normalnog tipa srednjoceanskog hrpta (N-MORB) prema Sun i dr. (2008); sastav primitivnog plašta prema McDonough i Sun (1995) te sastav kontinentalne kore prema Taylor i McLennan (1985). Preuzeto iz Sarjoughian i dr., (2015).

Dijagrami na **Slici 12.8** impliciraju različito izvorište za alkalijsko-feldspatski sijenit (Đt-48-5) i alkalijsko-feldspatske granite (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5), što je s obzirom na sličnosti u geokemijskim i petrografskim karakteristikama, malo izvjesno. Vrlo je vjerojatno da su procesi frakcijske kristalizacije popraćeni kumulacijom pojedinih minerala utjecali i na omjere navedenih elemenata. Stoga se, na temelju omjera izotopa $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,7202) analiziranog u uzorku alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3) može zaključiti da je izvorište magme bila kontinentalna kora, uz mogući doprinos materijala iz plašta.

12.2.3. Uvjeti kristalizacije

Petrografske karakteristike **alkalijsko-feldspatskih granita Privlake (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5)** ukazuju na visokotemperaturnu kristalizaciju, i to u plitkom nivou Zemljine kore. Ovakvi zaključci u skladu su s rezultatima geotermobarometrijskog izračuna, kojim je dobivena temperatura u rasponu 830-850°C, koja se odnosi na početnu temperaturu taljevine i tlak manji od 2,5 kbar, što bi odgovaralo dubini od oko 8 km. Radi se o hipersolvusnim granitima, u kojima je zastupljen visokotemperaturni K-feldspat, koji je hlađenjem u subsolvusnim uvjetima formirao pertit.

Na visokotemperaturnu kristalizaciju ukazuju i eksolucijske lamele ilmenita u magnetitu. Iako je albit prisutan kao samostalno zrno, uglavnom je asociran s nakupinama mafitnih minerala, koji predstavljaju ranu fazu kristalizacije stijene. Ovaj albit ima svježi rub i alteriranu jezgru sa sitnim listićima klorita i zrnima epidota. Ovakva struktura ukazuje na promjenu uvjeta kristalizacije, koja je mogla biti uzrokovana promjenom tlaka, odnosno dubine kristalizacije. Albit koji je asociran s nakupinama hornblende i podređeno biotita, kristalizirao je u dubljem nivou u odnosu na konačni smještaj magme. Iz toga proizlazi da magma u trenutku konačnog smještaja nije bila u potpuno rastaljenom stanju. U tom slučaju, dubina dobivena geobarometrijskim izračunom na temelju Al-u-hornblendi veća je od dubine magmatske komore u kojoj je magma konačno kristalizirala.

Kasna kristalizacija biotita u intersticijskom prostoru, uočena u ovim stijenama, tipična je za A-tip granita, s manjom količinom vode u magmi. Primarna hornblenda ukazuje na minimalnu koncentraciju vode u taljevini od 4 mas.% (Dall'Agnol i dr., 1999b).

Na reduktivno stanje magme ukazuje visok sadržaj željeza u hornblendi (27,74-30,06 mas.% FeO_t) i biotitu (27,42-36,75 mas.% FeO_t). Primarni titano-magnetit kao glavni oksid željeza, inače je tipičan za kisele magme s višim, dok je za magme s nižim fugacitetom kisika tipičan ilmenit. Kristalizacija titano-magnetita umjesto ilmenita može biti posljedica niskog sadržaja TiO_2 u stijeni (0,2 mas.% u uzorku Pri-1-5) te preferirane ugradnje dvovalentnog željeza u feromagnezijske silikate.

U intersticijskom prostoru, ali i unutar pukotina u alkalijsko-feldspatskom granitu Privlake (posebice uzorak Pri-1-5), mjestimično su prisutni fluorit, allanit, epidot i titanit, čiji je nastanak vezan za djelovanje hidrotermalnog fluida bogatog kalcijem u subsolidus fazi. Ostali

prisutni sekundarni minerali su stilpnomelan, klorit, hematit, sericit i minerali glina. Prisutnost fluorita ukazuje na činjenicu da je hidroterma bila obogaćena fluorom.

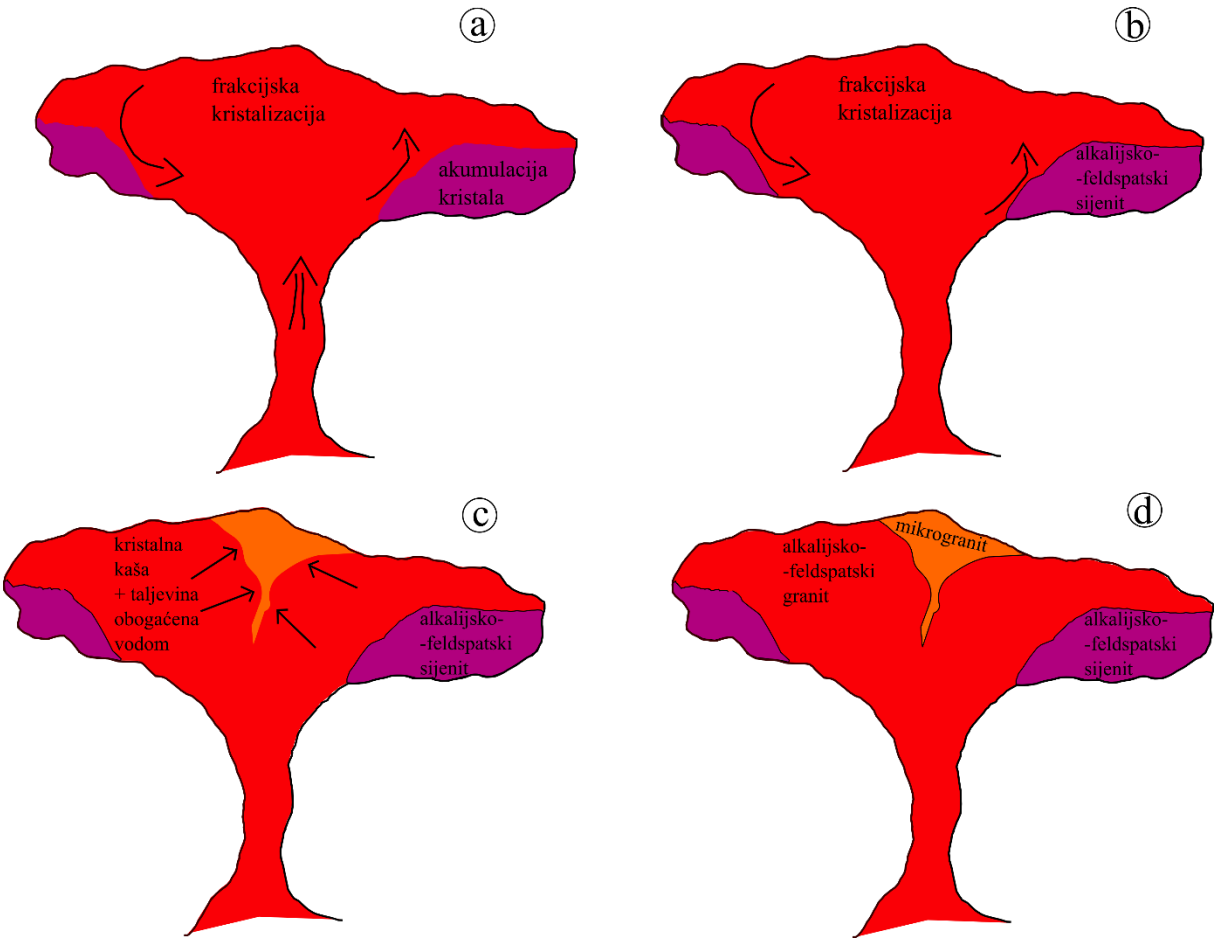
Alkalijsko-feldspatski sijenit (Đt-48-5) velikim dijelom ima primarnu strukturu prekrivenu kasnijim procesima kataklaziranja. Biotit je prisutan uglavnom u intersticijskom prostoru kao kasna faza kristalizacije, što je također karakteristično za magme A-tipa koje sadrže vrlo male količine vode. Hornblenda je daleko manje zastupljena nego u alkalijsko-feldspatskom granitu. Manja zastupljenost hornblende mogla bi biti posljedica niže koncentracije vode u taljevini u odnosu na alkalijsko-feldspatski granit. Tamo gdje je očuvana primarna struktura stijene, vidljiv je krupni prizmatični K-feldspat i nešto sitniji plagioklas te intersticijski anhedralni kvarc. S obzirom na slabo očuvanu primarnu teksturu i strukturu teško je naći nedvojbene dokaze koji upućuju na proces kumulacije kristala. Međutim, kako je već navedeno, rezultati kemijskih analiza upućuju na kumulatno porijeklo ove stijene. Mehanička akumulacija kristala unutar magmatske komore u kojoj se nalazi kisela magma može se odvijati mehanizmom koji uključuje odvajanje nakupina kristala po rubovima magmatske komore uslijed konvekcijskih strujanja koja mogu biti uzrokovana različitim događajima, poput seizmičkih događaja, injekcije nove magme u komoru, itd. (Vernon i Paterson, 2008).

Alkalijsko-feldpatski mikrogranit (Pri-2-1) nastao je kristalizacijom u plitkom nivou Zemljine kore, što proizlazi iz strukturnih karakteristika stijene. Karakteriziran je istovremenim postojanjem pertita i antipertita, što ukazuje na visok $p(H_2O)$ u sustavu. Također su izražena granofirska proraštanja kvarca i antipertita ili pertita na rubovima većih zrna istovrsnog feldspata. Ovakve karakteristike upućuju na kristalizaciju kasne faze magme bogate fluidnom fazom. Temperatura magme slična je temperaturi dobivenoj za alkalijsko-feldspatske granite i iznosi 832°C.

Porfiroidni granit Županje (Ž-3-2) je kataklaziran i hidrotermalno izmijenjen, ali pojedini dijelovi stijene imaju sačuvanu primarnu strukturu. Primarna porfiroidna struktura ukazuje na dvije faze kristalizacije koje su uvjetovane promjenom uvjeta kristalizacije. Temperatura magme je visoka i iznosi 797°C.

Riolit (Ž-3-2R) je karakteriziran sferulitnom teksturom s rijetkim mikrofenokristalima kvarca, feldspata i muskovita. Dobivena je niža temperatura magme, 721°C. Struktura stijene ukazuje na izdizanje magme u gotovo rastaljenom stanju na površinu Zemlje.

Na **Slici 12.9** prikazan je mogući razvoj i diferencijacija magme iz koje su nastali alkalijsko-feldspatski granit, alkalijsko-feldspatski sijenit i mikrogranit.



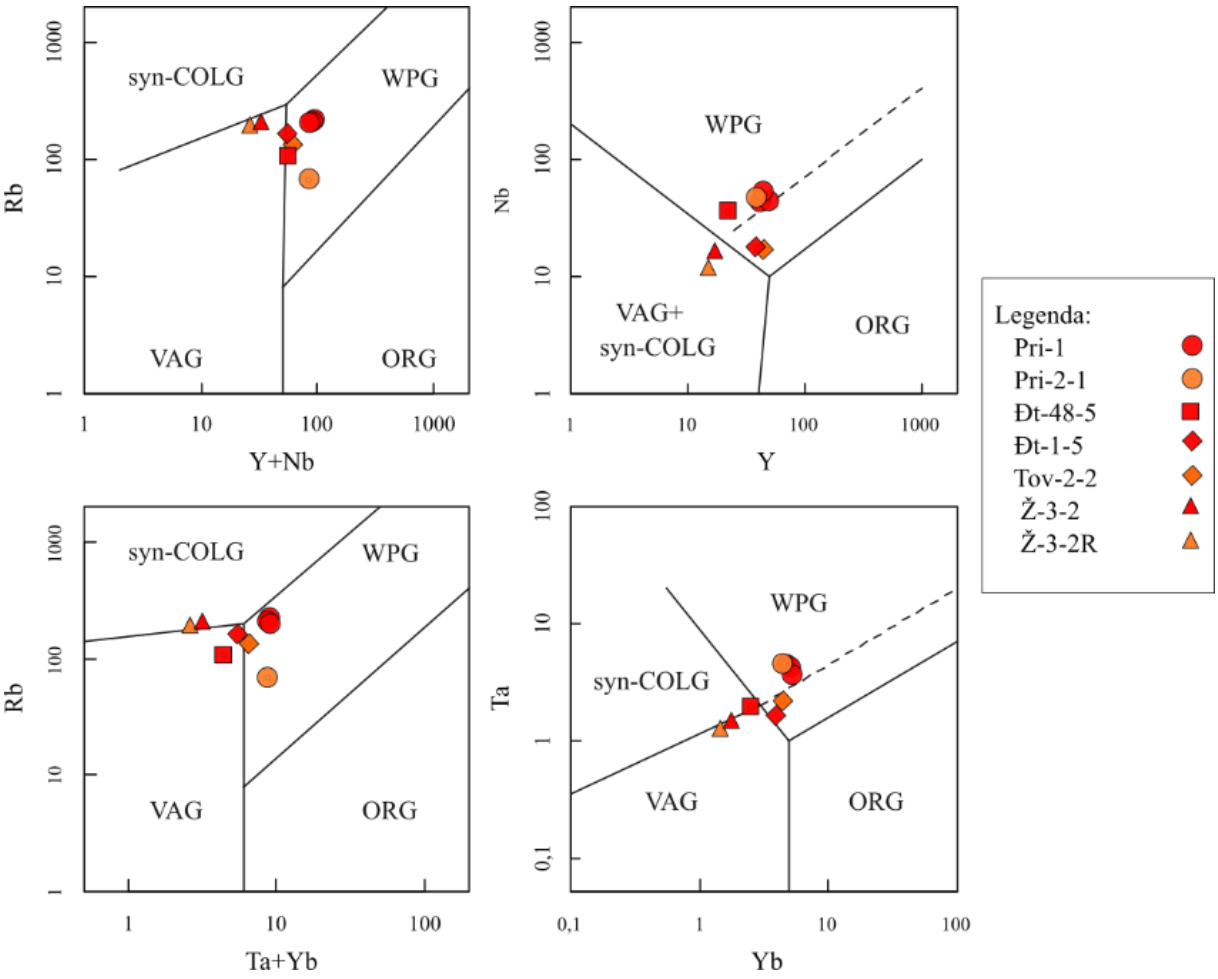
Slika 12.9 Prikaz moguće evolucije magme iz koje su nastali alkalijsko-feldspatski granit, alkalijsko-feldspatski sijenit i mikrogranit: a) rana faza frakcijske kristalizacije, kumulacija kristala koja je mogla biti uzrokovana injekcijom nove magme; b) kristalizacija alkalijsko-feldpatskog sijenita, daljnja frakcijska kristalizacija; c) separacija taljevine obogaćene vodom od kristalne kaše; d) konačna kristalizacija alkalijsko-feldspatskog granita i mikrogranita.

Magma, čije je porijeklo vjerojatno iz donje kontinentalne kore, smještena je u gornju koru, na dubini od oko 8 km. Unutar magmatske komore u prvom stadiju odvija se kristalizacija K-feldspata i albita te Fe-Ti oksida, apatita i cirkona. Uslijed dolaska nove magme, dolazi do konvekcije i kumulacije kristala na rubovima magmatske komore (**Slika 12.9a**). Nova magma mogla je imati viši parcijalni tlak vode, što bi objasnilo veći sadržaj i raniju kristalizaciju hornblende u alkalijsko-feldspatskom granitu u odnosu na sijenit. Nakon kristalizacije alkalijsko-feldspatskog sijenita, nastavlja se frakcijska kristalizacija u alkalijsko-feldspatskom granitu (**Slika 12.9b**). Dominantnu ulogu u ovoj fazi imaju frakcijska kristalizacija K-feldspata i biotita. S vremenom nastaje kristalna kaša i taljevina obogaćena vodom. Mjestimična prisutnost porfiroidne strukture u alkalijsko-feldspatskom granitu uz istovremenu pojavu

granofirske strukture po rubovima većih zrna ukazuje na promjenu uvjeta kristalizacije, moguće uzrokovanih gubitkom vode iz pojedinih dijelova sustava u kasnom stadiju kristalizacije. Kasna taljevina obogaćena vodom istisnuta je iz kristalne kaše pa je došlo do separacije frakcionirane taljevine, vjerojatno u gornjim dijelovima magmatskog tijela (**Slika 12.9c**). Hlađenjem separirane taljevine nastaje mikrogranit (**Slika 12.9d**).

12.2.4. Geotektonski položaj

Pearce i dr. (1984) razvili su diskriminacijske dijagrame pomoću kojih se na temelju sadržaja mikroelemenata može odrediti geotektonsko porijeklo magme (**Slika 12.10**). Autor upozorava na veliki utjecaj protolita na sadržaj mikroelemenata te na činjenicu da ovaj dijagram vrlo često ukazuje na tektonsko porijeklo protolita, stoga ga treba koristiti s rezervom.



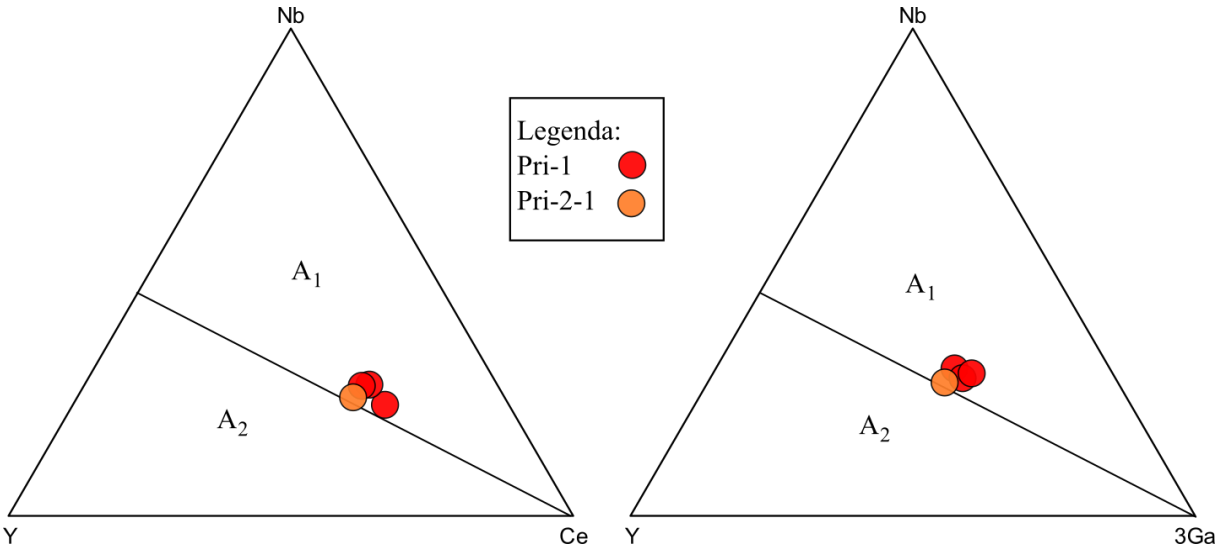
Slika 12.10 Diskriminacijski dijagrami za razlikovanje tektonskog porijekla granita (Pearce i dr, 1984) za analizirane stijene Slavonsko-srijemske depresije: WPG – graniti unutar ploče (eng. *within plate granite*), syn-COLG – sinkolizijski graniti (eng. *syncollisional granite*), VAG – graniti vulkanskog luka (*eng. volcanic arc granite*); ORG – graniti oceanskog hrpta (eng. *ocean ridge granite*). Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5).

U navedenim dijagramima (**Slika 12.10**) alkalijsko-feldspatski graniti (Pri-1-3, Pri-1-1-4, Pri-1-5) i mikrogranit (Pri-2-1) nalaze se u polju granita unutar ploče (eng. *within plate granite*). Alkalijsko-feldspatski sijenit (Đt-48-5) u dijagramima Y+Nb – Rb i Y – Nb nalazi se u polju granita unutar ploče, u dijagramu Ta+Yb – Rb u polju granita vulkanskog luka, a u Yb – Ta dijagramu u polju sinkolizijskih granita. No, treba uzeti u obzir da je riječ o neutralnoj stijeni, a korišteni dijagrami su konstruirani za granite. Milonitni gnajs Tov-2-2 se u svim

dijagramima na **Slici 12.10** nalazi u polju granita unutar ploče, dok se milonitni gnajs Đt-1-5 u dijagramima Y+Nb – Rb, Y – Nb i Ta – Yb nalazi u polju granita unutar ploče, a u dijagramu Ta+Yb – Rb u polju granita vulkanskog luka.

Porfiroidni granit (Ž-3-2) i riolit (Ž-3-2R) u dijagramima Y+Nb – Rb i Yb – Ta nalaze se u polju granita vulkanskog luka, u dijagramu Ta+Nb – Rb u polju sinkolizijskih granita, a u Y – Nb u zajedničkom polju sinkolizijskih granita i granita vulkanskog luka.

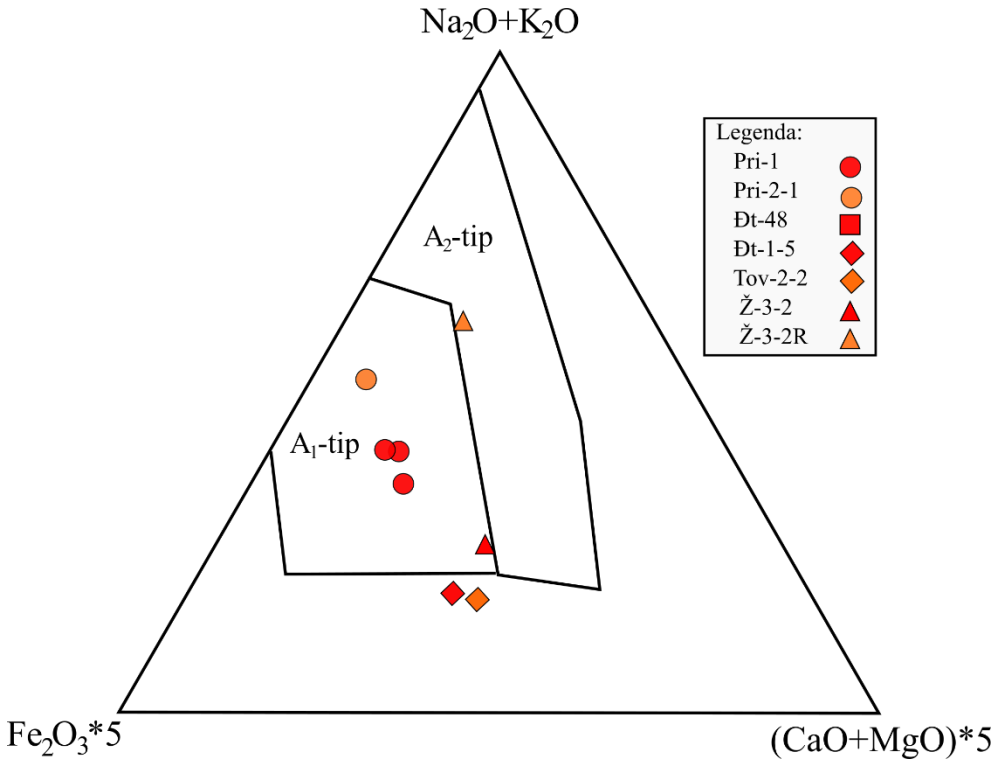
Eby (1990) razdvaja dva tipa A-granita: A-graniti s omjerom Y/Nb < 1,2 za koje smatra da su nastali iz izvora kemijski sličnog bazaltu otočnog luka (OIB, eng. *ocean island basalt*), dok za A-granite s omjerom Y/Nb > 1,2 smatra da su nastali iz izvora koji je kemijski sličan bazaltima otočnog luka ili kontinentalnog ruba. Eby (1992) prvu skupinu naziva A_1 skupinom, i pripisuje joj tektonsku poziciju unutar intrakontinentalnog rifta ili je veže općenito uz magmatizam unutar ploče; drugu skupinu naziva A_2 skupinom, za koju smatra da je nastala taljenjem kontinentalne kore, koja je prošla ciklus kontinent-kontinent kolizije ili magmatizam otočnog luka. Ove dvije skupine razdvaja niz dijagrama, od kojih su u ovom radu korišteni trokomponentni dijagrami Y–Nb–Ce i Y–Nb–3 Ga. Autor izričito navodi da se navedeni dijagrami mogu koristiti za stijene koje se po Pearce i dr. (1984) nalaze u polju granita unutar ploče, a po Whalen i dr. (1987) u polju A-granita. Iz tog razloga, u navedene dijagrame (**Slika 12.11**) projicirani su samo alkalijsko-feldspatski graniti (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5) i mikrogranit (Pri-2-1).



Slika 12.11 Diskriminacijski dijagrami za razdvajanje A_1 i A_2 tipa granita (Eby, 1992). Pri-1 – skupna oznaka za uzorke alkalijsko-feldspatskog granita (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5).

U dijagramima na **Slici 12.11** alkalijsko-feldspatski graniti (Pri-1-3, Pri-1-4 i Pri-1-5) i mikrogranit (Pri-2-1) projiciraju se u polje A_1 tipa granita, što bi impliciralo plaštno porijeklo magme. S obzirom da ukupni kemizam stijene i omjer izotopa stroncija upućuju na porijeklo magme iz kore, ovaj podatak bi mogao ukazati na mogućnost miješanja magme plaštnog porijekla s materijalom iz kore.

Grebennikov (2014) predstavlja dijagram koji razdvaja A_1 i A_2 tipove od ostalih tipova granita na temelju sadržaja glavnih elemenata (**Slika 12.12**), za stijene s SiO_2>67 mas.%. Navedeni autor smatra da su razlike u sastavu između A_1 i A_2 tipa granita posljedica razlike u plastičnosti kore: A_1 tip granita vezan je za hladnu koru i dominantno krti tip deformacija pa je interakcija između plaštne magme i materijala iz kore minimalna; A_2 tip granita nastaje u toplijoj kori koja je pod utjecajem plastičnih deformacija pa je mogućnost za interakciju s materijalom iz kore puno veća.



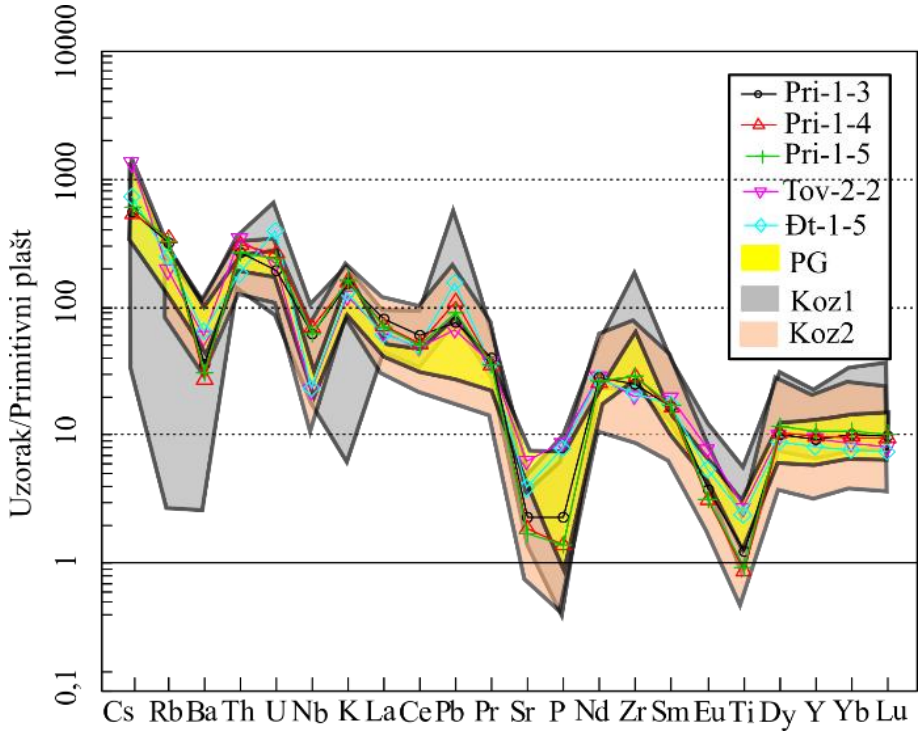
Slika 12.12 Trokomponentni Fe_2O_3*5 – Na_2O+K_2O – (CaO+MgO)*5 za razdvajanje A_1 i A_2-tipa granita po Grebennikov (2014).

Alkalijsko-feldspatski granit (Pri-1-3, Pri-1-4, Pri-1-5), kao i mikrogranit (Pri-2-1) i u ovom dijagramu se projicira u polje A_1-tipa granita. S obzirom da su A_1-graniti definirani kao A-graniti plaštnog porijekla, pitanje uloge plaštnih taljevina u genezi A-granita područja Privlake ostaje otvorenim.

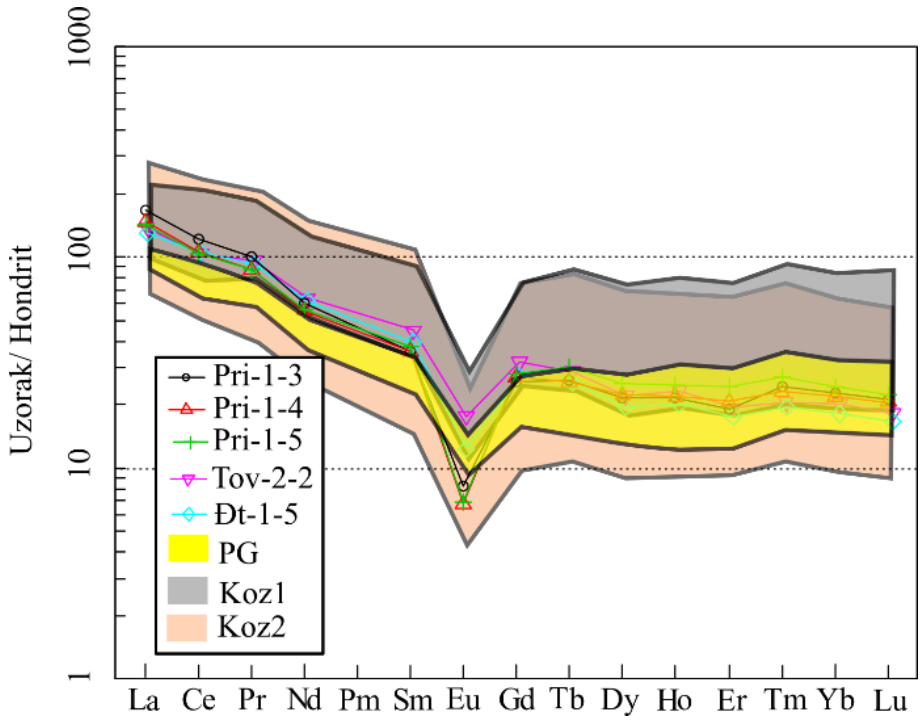
12.2.5. Regionalno-geološke implikacije

Područje Slavonsko-srijemske depresije u potpunosti je prekriveno kvartarnim naslagama, što je vidljivo na listovima OGK SFRJ 1:100 000 list Vinkovci (Brkić i dr., 1989) i list Bačka Palanka (Čičulić-Trifunović i Galović, 1984). Površinski izdanci predneogenskih naslaga koji su prostorno najbliži istraživanom području nalaze se na Fruškoj gori, gdje nisu utvrđeni površinski izdanci granita niti efuzivnih ekvivalenata (npr. Toljić i dr., 2012). Površinski izdanci granita koji su najbliži istraživanom području, nalaze se na Papuku, Psunju i Požeškoj gori u Hrvatskoj, Motajici u BiH te Ceru u Srbiji.

Po petrografskim i geokemijskim karakteristikama, prije svega raspodjeli koncentracije mikroelemenata, alkalijsko-feldspatski graniti Privlake zajedno s gnajsevima područja Đeletovaca i Tovarnika, pokazuju podudarne karakteristike s alkalijsko-feldspatskim granitima Požeške gore (Pamić, 1987; Schneider, 2017). Napravljena je usporedba i s kiselim stijenama Kozare u BiH (Ustaszewski i dr., 2008; Cvetković i dr., 2014), s kojima analizirani graniti također pokazuju sličnost, što je vidljivo iz usporedbe oblika krivulja u spider dijagramu (**Slika 12.13**) i dijagramu raspodjele koncentracija REE normaliziranih na hondrit (**Slika 12.14**).



Slika 12.13 Usporedba kemizma elemenata u tragovima, analiziranih AF granita i s njima asociranih gnajseva s literaturnim podatcima za Požešku goru (PG iz Schneider, 2017) i Kozaru (Koz1 iz Cvetković i dr, 2014; Koz2 iz Ustaszewski i dr., 2008). Normalizacija po (Sun i McDonough, 1986)



Slika 12.14 Usporedba raspodjele koncentracija REE analiziranih AF granita i s njima asociranih gnajseva s literaturnim podatcima za Požešku goru (PG iz Schneider, 2017) i Kozaru (Koz1 iz Cvetković i dr, 2014; Koz2 iz Ustaszewski i dr., 2008). Normalizacija po Nakamura (1974)

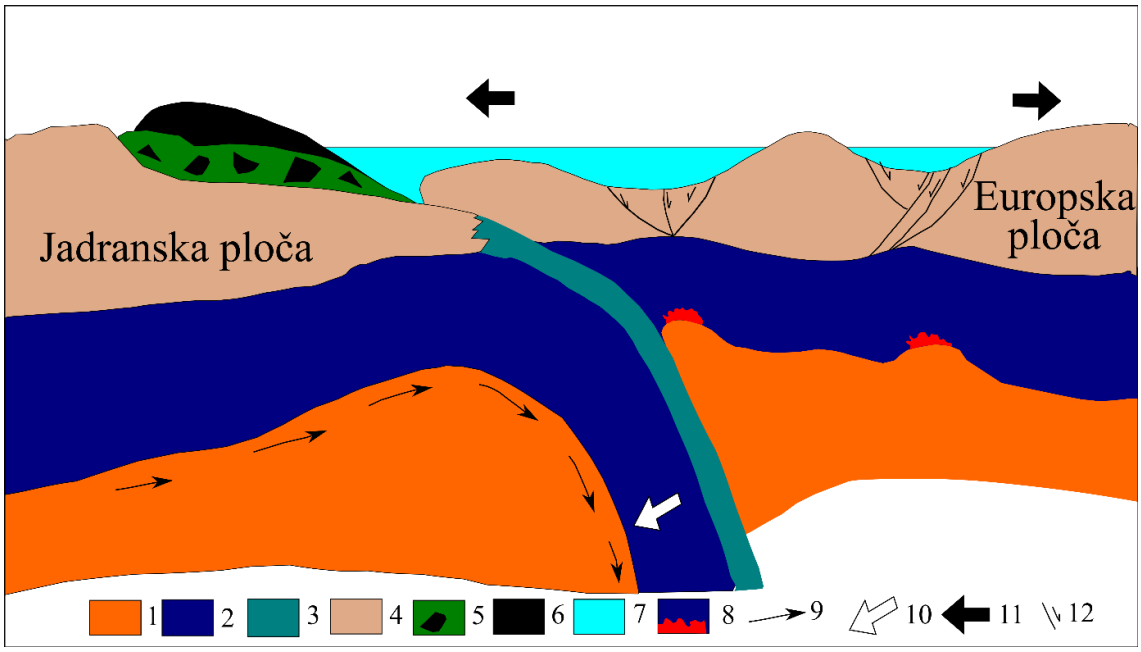
U regionalno-geološkom smislu ovi graniti dio su Savske zone (npr. Ustaszewski i dr, 2010), kojoj po dostupnim podatcima o dubinskoj geologiji pripada i dio područja Slavonsko-srijemske depresije. Granitoidi A-tipa iz Slavonsko-srijemske depresije vjerojatno su vezani prostorno i vremenski za sličan tektono-magmatski događaj kakav se dogodio na Požeškoj gori prije 85–87 Ma (Balen i dr. 2017a, b, c), Prosari prije 83 Ma (Ustaszewski i dr., 2008) te Kozari prije 81,5 Ma (Ustaszewski i dr., 2008). Riječ je o bimodalnom magmatizmu, koji se uglavnom manifestirao bazičnim i kiselim vulkanizmom, uz manje pojave intruzivnih tijela gabra i granita (Pamić i dr., 2000; Pamić, 2002b; Ustaszewski i dr. 2008; Ustaszewski i dr., 2010). Na području Privlake i Đeletovaca, osim analiziranog alkalijsko-feldspatskog granita, mikrogranita i alkalijsko-feldspatskog sijenita, prisutni su gabro i dijabaz, koji bi mogli odgovarati mafitnim članovima bimodalne asocijacije.

Bimodalni magmatizam Savske zone u tektonskom smislu uglavnom je povezivan s magmatizmom unutar zalučnog bazena (eng. *back-arc basin*), što se posebice odnosi na bazične članove (Pamić, 2002; Ustaszewski i dr., 2008). Međutim, ove stijene su u geokemijskom smislu obogaćene u odnosu na normalne bazalte srednjooceanskog hrpta (N-MORB, eng. *normal mid-oceanic ridge basalt*) i njihove su karakteristike višeznačne, odnosno mogu se interpretirati i kao magmatizam anomalnog hrpta tipa Islanda (Cvetković i dr., 2014) ili kontinentalnog riftinga/pseudoriftinga (Belak i dr., 1998). Prelević i dr. (2017) određuju kampanske (~81 Ma) bazične stijene s lokaliteta Klepa u Makedoniji, koji također pripada Savskoj zoni, kao produkt parcijalnog taljenja subkontinentalnog litosfernog plašta. Autori smatraju da su ovakve stijene mogle nastati u gornjoj (Europskoj) ploči ekstenzijom unutar pred-lučnog bazena (eng. *fore arc basin*) ili intrakontinentalnim vulkanizmom uzrokovanim transtenzijskom tektonikom (Prelević, i dr. 2017). S obzirom da su po svojem kemizmu bazične stijene Kozare i Požeške gore slične bazaltima Klepe, mogu se interpretirati kao produkt magmatizma unutar kontinentalne kore.

Porijeklo kiselih stijena također je višeznačno interpretirano. Cvetković i dr. (2014) za kisele stijene Kozare smatraju da su nastale parcijalnim taljenjem bazičnih stijena oceanske kore. Pamić i dr. (2000b) za kisele stijene Požeške gore smatraju da su nastale frakcionacijom bazične taljevine uz kontaminaciju materijalom iz kontinentalne kore. Balen i dr. (2017a, b, c) te Schneider (2017) ukazuju na ishodišnu magmu porijeklom iz kontinentalne kore za A-granit Požeške gore, uz mogućnost doprinosa magme plaštnog porijekla.

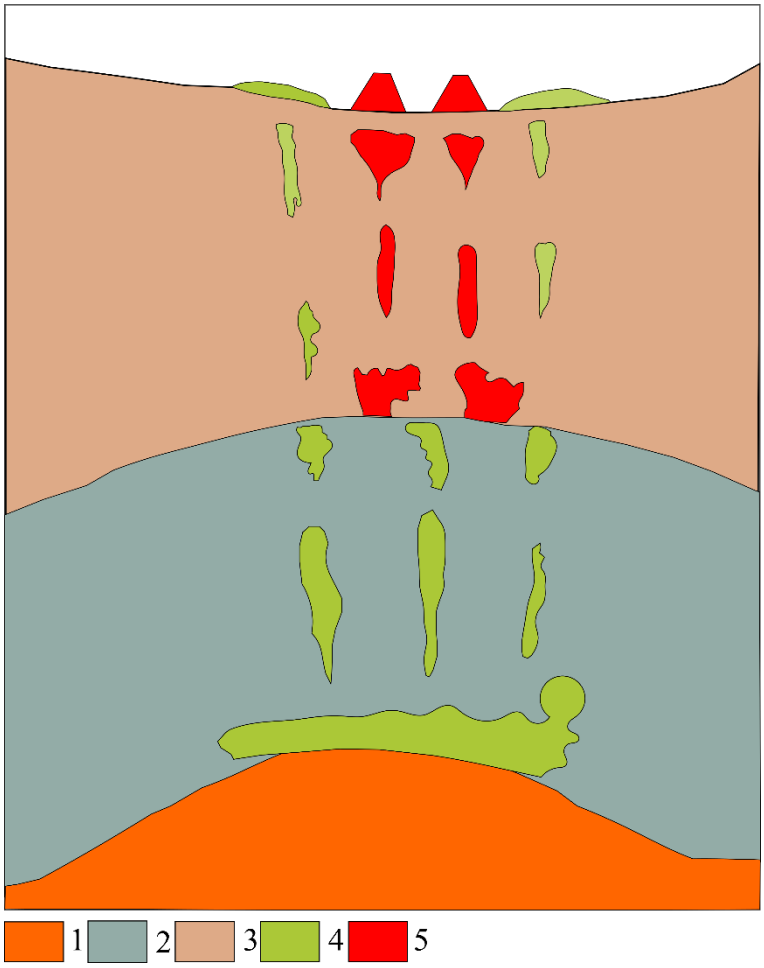
Dakle, bimodalni magmatizam Savske zone vezan je za parcijalno taljenje kontinentalne kore. Izgledno je da je riječ o kontinentalnoj kori gornje (Europske) ploče, a s obzirom da je riječ o magmatizmu vezanom za ekstenzijske uvjete, ukazuje na ekstenzijski događaj u razdoblju prije 87-81 Ma (Ustaszewski i dr., 2008; Balen i dr., 2017a, b i c). Ovakav događaj Toljić i dr. (2018) interpretirali su kao ekstenziju u pred-lučnom (eng. *fore arc*) bazenu, za vrijeme subdukcije tzv. Savskog oceana. Navedeni autori u svojoj interpretaciji ostavljaju mogućnost, ali kao manje izvjesnu, subdukcije stanjenog nekadašnjeg pasivnog kontinentalnog ruba Jadranske ploče.

Ukoliko se uzme u obzir činjenica da je gornjokredni bimodalni magmatizam Savske zone vezan za kontinentalnu koru, da još uvijek nisu pronađene stijene oceanske litosfere koje bi nedvojbeno bile vezane za Savski ocean, te da na području kontakta Tise i Jadranske ploče ne postoje stijene koje bi ukazivale na prisutnost magmatskog luka, postojanje Savskog oceana, posebice u smislu zalučnog bazena ostaje upitno. Stoga je u tektonskom modelu nastanka bimodalnog magmatizma (**Slika 12.15**) u okviru ove disertacije predloženo podvlačenje Jadranske kontinentalne ploče pod Europsku, koje je nastupilo nakon zatvaranja i obdukcije Vardarskog oceana tijekom gornje jure (Borojević-Šoštarić i dr., 2014, i reference).



Slika 12.15 Predloženi tektonski model nastanka bimodalnog magmatizma u pred-lučnom bazenu na šavu između Jadranske i Europske ploče, tijekom razdoblja prije 87-81 Ma. Povlačenje subducirajuće ploče (*slab roll-back*) uzrokuje izdizanje astenosfere i parcijalno taljenje litosfernog plašta. Legenda: 1-astenosfera; 2-litosferni plašt; 3-oceanska kora; 4-kontinentalna kora; 5-ofiolitni melanž; 6-ofiolitni kompleks; 7-more; 8-parcijalno taljenje litosfernog plašta; 9-konvekcija u astenosferi; 10-smjer povlačenja subducirajuće ploče; 11-ekstenzija; 12-normalni rasjed. Modificirano po Toljić i dr. (2018).

U navedenom modelu, koji je uz manje modifikacije preuzet od Toljić i dr. (2018), povlačenje subducirajuće ploče (eng. *slab roll-back*) dovodi do izdizanja astenosfere i ekstenzije u gornjoj ploči (**Slika 12.16**). Posljedično dolazi do parcijalnog taljenja litosfernog plašta i nastanaka bazične magme (**Slika 12.15** i **12.16**).



Slika 12.16 Predloženi model nastanka bimodalnog magmatizma u Savskoj zoni. Legenda: 1-astenosfera; 2-litosferni plašt; 3-kontinentalna kora; 4-bazična magma; 5-kisela magma.

Ovaj događaj uzrokuje termalnu anomaliju koja dovodi do parcijalnog taljenja kontinentalne kore. Pod djelovanjem aktivne ekstenzijske tektonike dolazi do brzog uzdizanja magmi, koje se manifestira vulkanizmom i plitkim plutonizmom (**Slika 12.15**).

12.3. Istočni dio Dravske depresije – područje Obod

Na području Oboda analizirane su bazične, neutralne i kisele stijene, koje su dijelom i prostorno asocirane. Terenski odnosi hornblenda dijabaza (Ob-34-9D), monzodiorita (Ob-34B, Ob-34-22, Ob-34), granodiorita s mafitnim mikrogranularnim enklavama (Ob-34-9G) i granodiorita (Ob-34-8G) unutar bušotine Obod-34 ukazuju na prostornu i vremensku povezanost ovih magmi (poglavlje *Lokalna geologija*, **Slika 6.18**). Bazaltni andezit (Ob-34-2B) i gnajs (Ob-34-22G) analizirani su jer se nalaze u kontaktu sa monzodioritom. Monzodiorit iz bušotine Lacić-1Sjever (Lac-1S-4) po svojim petrografskim i geokemijskim karakteristikama pokazuje sličnosti s ostalim monzodioritima te vjerojatno predstavlja produkt istog magmatizma. Osim toga su, za usporedbu analizirani i metadijabaz (Lac-1A-3), bazaltni andezit (Ob-34-2B) i dacit (Lac-1S-8D), koje se nalaze unutar spomenutih bušotina.

Prisutnost hornblende kao glavnog feromagnezijskog minerala u hornblenda dijabazu te kao jednog od glavnih minerala u monzodioritu dopušta da se ove stijene okarakteriziraju kao apiniti ili barem kao stijene slične apinitima. Apiniti su grupa istovremenih plutonskih i /ili hipabisalnih stijena, po sastavu raspona od ultrabazičnih do kiselih, u kojima je hornblenda dominantan mafitni mineral i obično je prisutna i u vidu krupnih prizmatičnih fenokristala i unutar sitnozrnatog matriksa (Murphy, 2013). Ovakve stijene nastaju kristalizacijom iz magme koja je izrazito obogaćena vodom (npr. Pitcher, 1997), a uglavnom su povezane sa subdukcijom i ranim stadijem kolizije, ali i postkolizijskim geotektonskim okolišima (Murphy, 2013).

12.3.1. Kemijski sastav stijena, karakter magmatske serije i tip granita

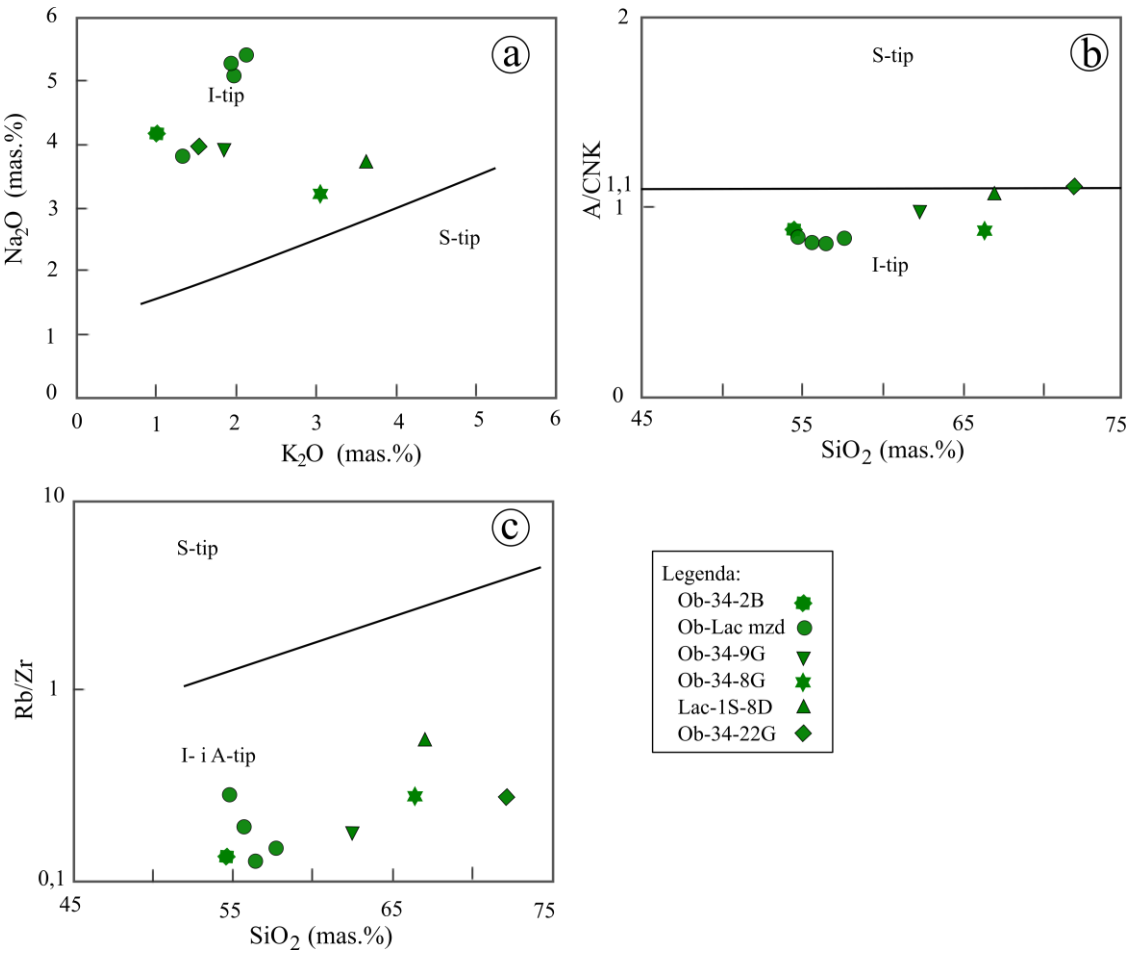
Analizirane bazične stijene područja Obod su metadijabaz (Lac-1A-3) i hornblenda dijabaz (Ob-34-9D). Metadijabaz (Lac-1A-3) pripada šošonitnoj, a hornblenda dijabaz (Ob-34-9D) kalcijsko-alkalijskoj seriji (**Slika 10.4**). Sveukupni kemizam ovih stijena, posebice koncentracije elemenata u tragovima, ukazuju na obogaćenje LILE u odnosu na (**Slika 10.13**) te LREE u odnosu na MREE i HREE (**Slika 10.17**).

Neutralne stijene su bazaltni andezit (OB-34-2B) i monzodiorit (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B i Lac-1S-4), a po ukupnom kemizmu pripada im i granodiorit s mafitnim mikrogranularnim enklavama (Ob-34-9D). Monzodiorit s najmanjim sadržajem SiO_2 (Ob-34) i kvarcni monzodiorit (Ob-34-9G) po Frost i dr. (2001) klasificirani su kao magnezijske, kalcijsko-alkalijske i metaluminijske stijene, dok su tri uzorka monzodiorita (Ob-34-22, Ob-34B i Lac-

1S-4) klasificirana kao željezovite, alkalijsko-kalcijske, metaluminijske stijene (**Slika 10.6**). Autori klasifikacije kao značajnu skupinu koja pripada magnezijskim, kalcijsko-alkalijskim i metaluminijskim stijenama navode batolite Kordiljera koji pripadaju granitoidima kontinentalnog luka. Uzrok različitosti u Fe* i MALI indeksima kod dijela monzodiorita može biti frakcionacija ili heterogenost izvora, kao i utjecaj taljevina iz kore (Frost i dr., 2001). Posljedično, jedan uzorak monzodiorita (Ob-34) i granodiorit s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9G) prema klasifikaciji Pecerillo i Taylor (1976) pripadaju kalcijsko-alkalijskoj seriji, a ostali monzodioriti (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B i Lac-1S-4) visoko-K kalcijsko-alkalijskoj seriji (**Slika 10.4**). Bazaltni andezit (Ob-34-2B) pripada kalcijsko-alkalijskoj seriji.

Kisele stijene su granodiorit (Ob-34-8G) i dacit (Lac-1S-8D). Prema klasifikaciji Frost i dr. (2001) određene su kao magnezijske kalcijsko-alkalijske stijene, pri čemu je granodiorit metaluminijski, a dacit peraluminijski (**Slika 10.6**). Pripadaju visoko-K kalcijsko-alkalijskoj seriji (**Slika 10.4**). Uzevši u obzir petrografske karakteristike, trendove u Harkerovim dijagramima te geokemiju elemenata u tragovima i REE, izvjesno je da je granodiorit ko-magmatski s navedenim neutralnim stijenama, što nije slučaj s dacitom, koji pokazuje bitna odstupanja (visok Ba, Rb, niži Zr, izraženije obogaćenje LREE u odnosu na MREE i HREE).

Za određivanje tipa granita korišten je odnos K_2O i Na_2O (**Slika 12.17a**), odnos SiO_2 i A/CNK (**Slika 12.17b**) te SiO_2 i Rb/Zr (**Slika 12.17c**).



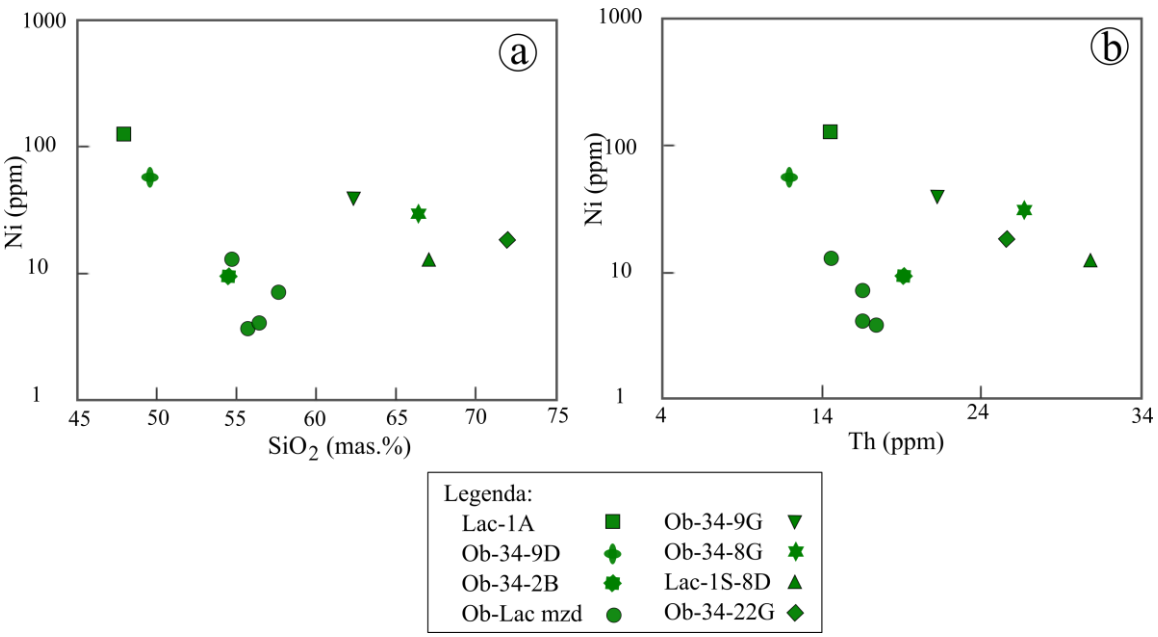
Slika 12.17 Dijagrami za razlikovanje granita I i S-tpa za analizirane stijene područja Obod: a) K_2O – Na_2O (Chapell i White, 1974); b) SiO_2 – A/CNK (Chapell i White, 1974); c) SiO_2 – Rb/Zr (Harris i dr. 1986). Ob-Lac mzd – skupna oznaka za uzorke monzodiorita (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B i Lac-1S-4).

U svim navedenim dijagramima (**Slika 12.17**), analizirane stijene područja Obod nalaze se u polju granitoida I-tipa, što je i očekivano s obzirom na njihovu asocijaciju s mafitnim stijenama.

12.3.2. Petrogeneza

Relativno nizak omjer izotopa stroncija ($^{87}Sr/^{86}Sr$=0,704) u uzorku monzodiorita (Ob-34B) ukazuje na dominantno plaštno porijeklo čak i evoluiranih članova magmatske serije Oboda.

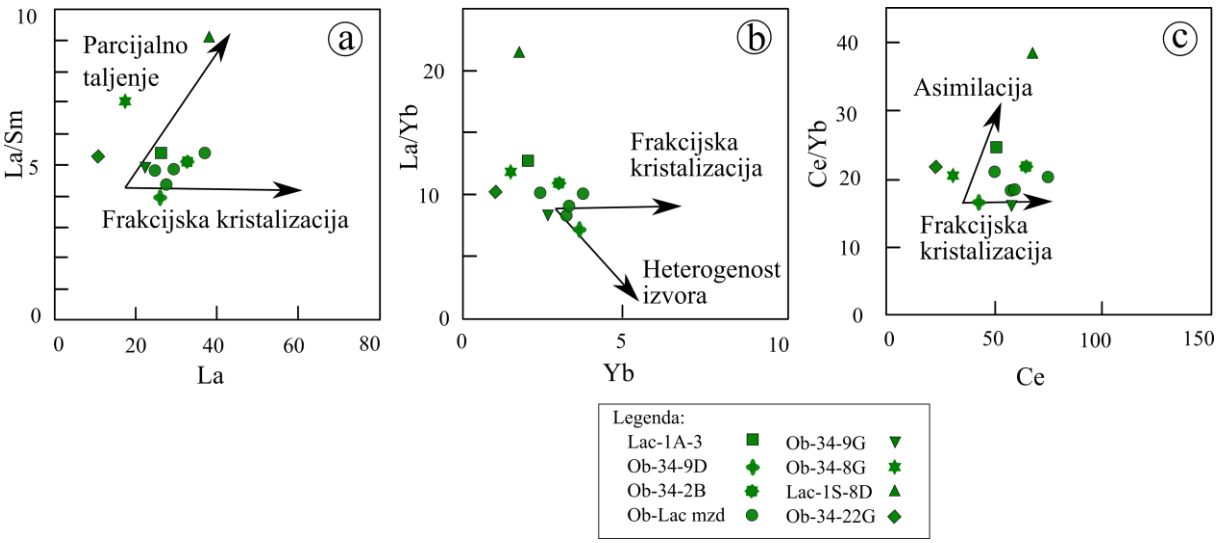
Kako bi se razlučio utjecaj procesa parcijalnog taljenja od frakcijske kristalizacije na evoluciju magme, prikazani su binarni varijacijski dijagrami ovisnosti koncentracije Ni o sadržaju SiO_2 (**Slika 12.18a**) i o koncentraciji Th (**Slika 12.18b**).



Slika 12.18 Binarni dijagrami a) SiO_2-Ni i b) Th-Ni za analizirane stijene područja Obod. Ob-Lac mzd – skupna oznaka za uzorke monzodiorita (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B i Lac-1S-4).

Binarni dijagrami na **Slici 12.18** ukazuju na pad koncentracije Ni s porastom SiO_2 (**Slika 12.18a**) i Th (**Slika 12.18b)** od bazičnih stijena prema neutralnima, što bi u slučaju komagmatskog odnosa ukazivalo na dominantan utjecaj frakcijske kristalizacije. Također je uočljiv porast koncentracije Ni od neutralnih stijena prema kiselima.

Niz dijagrama na **Slici 12.19**, preuzet iz Sarjoughian i dr. (2015), konstruiran je kako bi se razlučio dominantan proces koji je djelovao na evoluciju magme. Tijekom procesa frakcijske kristalizacije omjeri La/Sm, La/Yb i Ce/Yb trebali bi generalno ostati konstantni.



Slika 12.19 Dijagrami: a) La-La/Sm; b) Yb-La/Yb; c) Ce-Ce/Yb (preuzeto iz Sarjoughian i dr., 2015) za analizirane stijene područja Obod. Ob-Lac mzd – skupna oznaka za uzorke monzodiorita (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B i Lac-1S-4).

Pomoću dijagrama na **Slici 12.19** nije moguće dobiti neki jasan trend, pri čemu su velika odstupanja posebice vidljiva za analizirane kisele stijene, granodiorit (Ob-34-8G) i dacit (Lac-1S-8D).

U Harkerovim dijagramima (**Slika 10.4**) su vidljivi prividni trendovi koji ukazuju na frakcionaciju hornblende (pad sadržaja MgO, FeO_t, CaO), Fe-Ti oksida (pad TiO_2) i apatita (pad P_2O_5). Na frakcionaciju hornblende ukazuje i pad koncentracije Y (**Slika 10.12**). Plagioklas nije imao značajnu ulogu u ranoj fazi evolucije magme, od bazičnih prema neutralnim članovima (rast koncentracije Sr), no moguće je da je imao ulogu u kasnijoj fazi, od neutralnih prema kiselim članovima (pad koncentracije Sr). K-feldspat nije imao utjecaj na evoluciju magme, kao ni biotit (rast koncentracije Ba i Rb), što je i očekivano s obzirom na nizak modalni udio ovog minerala u bazičnijim članovima.

Blaga negativna Eu anomalija u dijagamu raspodjele koncentracija REE kod bazičnih uzoraka (**Slika 10.17**) ukazuje na činjenicu da su bazične stijene djelomično frakcionirane, odnosno da ne predstavljaju primitivne taljevine. Negativne Sr, P i Ti anomalije kod hornblenda dijabaza (Ob-34-9D) mogu ukazivati na frakcionaciju plagioklasa, apatita i Fe-Ti oksida ili na činjenicu da su ovi minerali rezidualni u protolitu magme **(Slika 10.13)**. Uzorak metadijabaza (Lac-1A-3) ima izraženu negativnu P anomaliju koja ukazuje na rezidualni apatit ili na frakcionaciju apatita. Oblik krivulje raspodjele REE kod uzoraka bazičnih stijena ukazuje na rezidualnu hornblendu i/ili klinopiroksen, dok metadijabaz (Lac-1A-3) ima izraženije osiromašenje HREE koje ukazuje i na rezidualni granat (**Slika 10.17**).

Negativne Sr, P i Ti anomalije (**Slika 10.13**) kod bazaltnog andezita (Ob-34-2B) ukazuju na frakcionaciju plagioklasa, apatita i Fe-Ti oksida ili na činjenicu da su ovi minerali rezidualni u protolitu magme, dok blaga negativna Eu anomalija ukazuje na frakcionaciju plagioklasa. Na rezidualnu hornblendu i/ili klinopiroksen ukazuje oblik krivulje raspodjele REE (**Slika 10.13**).

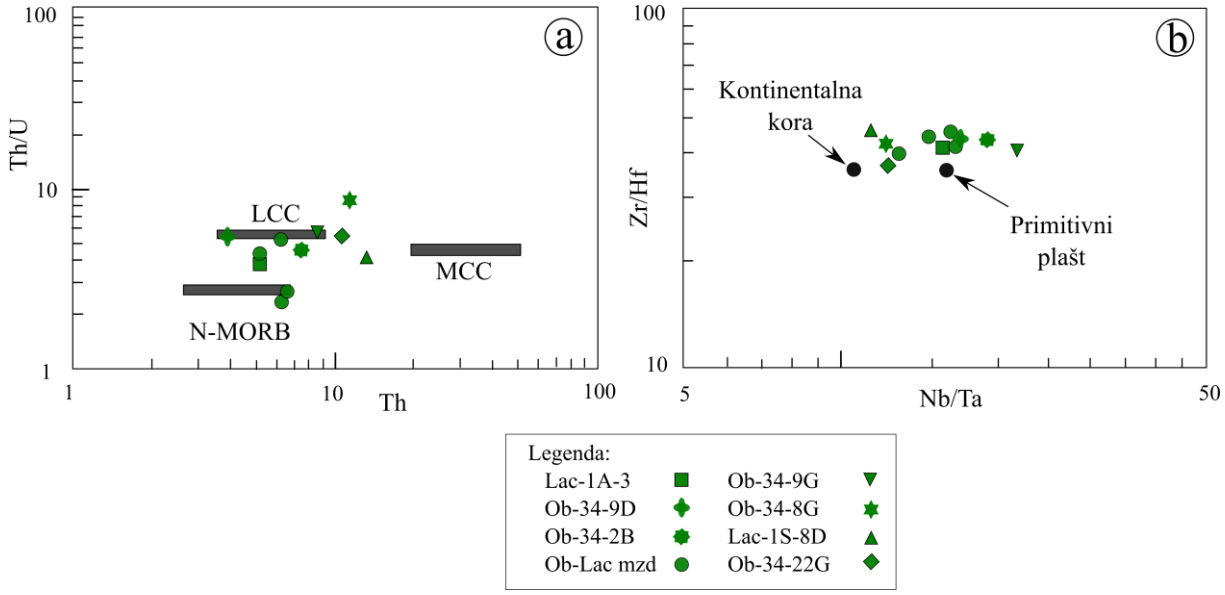
Iako postoje manja odstupanja, monzodioriti imaju vrlo slične oblike krivulja raspodjele koncentracije elemenata u tragovima u *spider* dijagramu i krivulja raspodjele koncentracija REE kao i bazične stijene. Moguća kontaminacija materijalom iz kore vidljiva je kod uzoraka Ob-34-22 (pozitivna U anomalija), Ob-34 (pozitivne U, Pb, Zr anomalije) i Lac-1S-4 (pozitivna Zr anomalija). Vrijednost negativne Eu anomalije (0,87-0,93) slična je onima za bazične stijene (0,88-0,97) te još jednom potvrđuje činjenicu da frakcionacija plagioklasa nije imala značajniju ulogu u evoluciji magme.

Pozitivne anomalije Th, K, Pb i Zr u *spider* dijagramu granodiorita s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9G) i granodiorita (Ob-34-8G) ukazuju na utjecaj kontaminacije materijalom iz kore u kasnoj fazi evolucije magme (**Slika 10.13**). Blaga pozitivna Eu anomalija kod granodiorita s mikrogranularnim mafitnim enklavama (Ob-34-9D) i izražena pozitivna Eu anomalija kod granodiorita (Ob-34-8G) isključuju mogućnost frakcionacije plagioklasa u ovoj fazi. Pozitivna Eu anomalija posljedica je frakcionacije hornblende (Hanson, 1979), kao i izraženijeg obogaćenja LREE u granodioritu (Ob-34-8G).

Uzorak dacita (Lac-1S-8D) očito je porijeklom iz kore, a sličnosti u spider dijagramu s gnajsom (Ob-34-22G) ukazuju na moguće porijeklo parcijalnim taljenjem sličnog materijala (**Slika 10.13**) Uzorak dacita razlikuje se i po krivulji raspodjele koncentracija REE (**Slika 10.13**). Razlike u kemijskim karakteristikama dacita (Lac-1S-8D) i granodiorita (Ob-34-8G) koji imaju sličnu koncentraciju SiO_2, ukazuju da dacit nije ko-magmatski niti ko-genetski s bazičnim i neutralnim magmatskim stijenama područja Obod.

Generalno, na temelju terenskog odnosa te petrografskih i geokemijskih karakteristika može se izvesti pretpostavka da je granodiorit nastao frakcionacijom magme koja po sastavu odgovara hornblenda dijabazu uz asimilaciju okolnog materijala kore. Miješanjem roditeljske bazične magme i novonastale kisele magme dolazi do nastanka hibridnih litologija – monzodiorita.

Pomoću Th–Th/U i Nb/Ta–Zr/Hf dijagrama može se razlučiti izvorište magme (**Slika 12.20**, preuzeto iz Sarjoughian i dr., 2015), uz pretpostavku da omjeri pojedinih elemenata ostaju nepromijenjeni tijekom frakcijske kristalizacije.



Slika 12.20 Dijagrami za razlikovanje različitih izvorišta magme za analizirane stijene područja Obod: a) Th – Th/U; b) (B) Nb/Ta – Zr/Hf (Yang et al., 2008). Sastav donje i srednje kontinentalne kore iz Rudnick i Gao (2003); N-MORB-a iz Sun i dr. (2008); primitivnog plašta iz McDonough i Sun (1995) te kontinentalne kore iz Taylor i McLennan (1985). Preuzeto iz Sarjoughian i dr. (2015). LCC – donja kontinentalna kora (eng. *lower continental crust*); MCC – srednja kontinentalna kore (eng. *middle continental crust*); N-MORB – normalni bazalt srednjooceanskog hrpta (eng. *normal mid-oceanic ridge basalt*). Ob-Lac mzd – skupna oznaka za uzorke monzodiorita (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B i Lac-1S-4).

S obzirom da je mehanizam evolucije magmatskih stijena područja Obod bio vrlo složen, ne iznenađuje činjenica da se analizirani uzorci u dijagramima na **Slici 12.20** projiciraju u različita područja. Tako Th-Th/U dijagram (**Slika 12.20a**) ukazuje na izvorište uobičajeno za N-MORB tip bazalta (eng. *normal mid-oceanic ridge basalt*, normalni bazalt srednjooceanskog hrpta) do izvorišta koje odgovara donjoj kontinentalnoj kori (eng. LCC-*lower continental crust*), dok se u Nb/Ta-Zr/Hf dijagramu (**Slika 12.20b**) uzorci ne grupiraju ni u području karakterističnom za kontinentalnu koru, niti za plašt.

Na osnovu sadržaja elemenata u tragovima, koje karakterizira obogaćenje LILE u odnosu na HFSE te LREE u odnosu na MREE i HREE, zatim visokog sadržaja vode u magmi koja je za posljedicu imala kristalizaciju hornblende kao dominantne feromagnezijske faze, kao i niskog

omjera izotopa stroncija u analiziranom monzodioritu Ob-34B ($^{87}Sr/^{86}Sr$=0,704) može se zaključiti da je izvorište magme bio metasomatizirani plašt.

12.3.3. Uvjeti kristalizacije

Već na temelju makroskopskog pregleda uzoraka očito važnu ulogu u genezi monzodiorita imalo je miješanje magme granodioritnog tipa s bazičnom magmom.

Interakcija dviju magmi različitog sastava, a samim time i različitih fizikalnih svojstava može rezultirati dvama krajnjim slučajevima. Prvi slučaj je potpuno miješanje magmi – kemijsko miješanje koje dovodi do nastaka nove, hibridne litologije. Za ovaj proces u engleskom jeziku koristi se termin *magma mixing* (npr. Pitcher, 1997). Miješanje magmi visoke viskoznosti ili magmi koje imaju velike razlike u viskoznosti dugotrajan je proces koji se odvija samo ako je brzina hlađenja mala ili ako vladaju uvjeti koji pospješuju proces difuzije (Frost i Mahood, 1987). Drugi slučaj je interakcija magmi – mehaničko miješanje uz očuvanje prepoznatljivosti i vlastitog identiteta. Za ovaj proces u engleskom jeziku koristi se izraz *magma mingling* (npr. Pitcher, 1997). Prepoznatljiv je po prisutnosti mikrogranularnih mafitnih enklava i sinmagmatskih mafitnih dajkova unutar felzitne magme. U bušotini Obod-34 uočeno je miješanje magmi, s prepoznatljiva dva krajnja člana: granodiorita i hornblenda dijabaza, pri čemu su uočene različite faze – od tzv. mehaničkog miješanja (eng. *mingling*) u plićim dijelovima bušotine do tzv. kemijskog miješanja i homogenizacije (eng. *mixing*) u dubljim dijelovima.

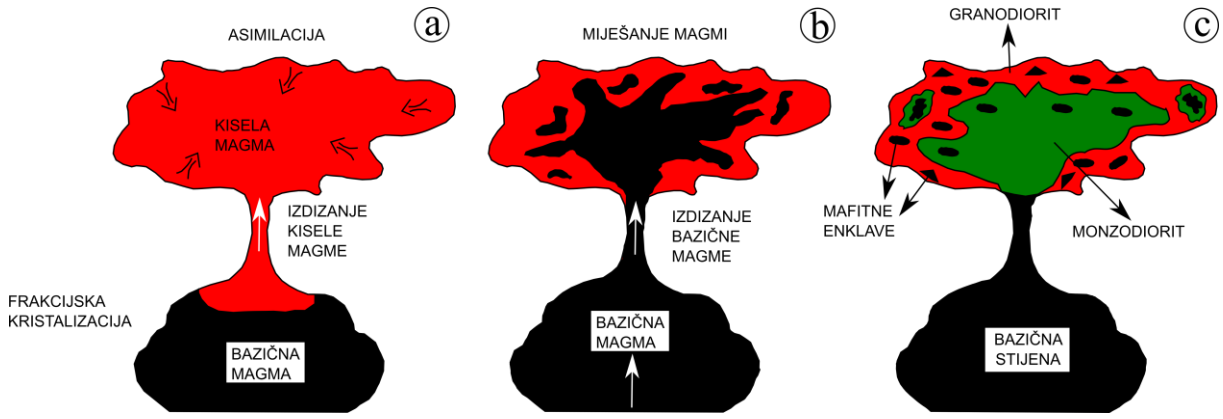
Mehaničko miješanje unutar plićih dijelova plutona nabušenog bušotinom Obod-34 prepoznatljivo je po pojavi mikrogranularnih mafitnih enklava hornblenda dijabaza (Ob-34-9D) unutar granodiorita (Ob-34-8G), dimenzija ~1-10 cm. Uočene enklave pokazuju različitost u obliku, kao i oštrini granice sa stijenom domaćinom. Ova pojava posljedica je varijabilnosti u temperaturnom gradijentu i viskoznosti između dva krajnja člana, kao i u stupnju kristalizacije mafitne magme. Prepoznata su tri tipa mikrogranularnih mafitnih enklava: nepravilne enklave s ameboidnim i nejasnim granicama, zaobljene enklave s oštrim granicama te uglate enklave s oštrim granicama (**Slika 7.2-7.4**). Prisutnost nepravilnih enklava s ameboidnim granicama ukazuje na početak hibridizacije i miješanja dviju magmi, što je posljedica manjeg temperaturnog gradijenta između dviju krajnjih magmi (Perugini et al., 2005). Zbog toga su i granice između ovih enklava i stijene domaćina difuzne i obilježene pojavom hibridne litologije. Smanjenje temperaturnog gradijenta vjerojatno je dijelom prouzrokovano i termalnim poremećajem izazvanim dolaskom mafitne magme u magmatsku

komoru. Prisutnost zaobljenih enklava s oštrim rubovima ukazuje na kristalizaciju mafitne magme koja je u vrijeme intruzije bila u tekućem stanju (npr. Pitcher, 1997). S druge strane, prisutnost uglatih enklava s oštrim rubovima ukazuje na intruziju mafitne magme u uznapredovalom stadiju kristalizacije, kada je magma dovoljno čvrsta da bi pucala na oštre fragmente (npr. Pitcher, 1997). Mjestimično su mafitne enklave s oštrim rubovima okružene leukokratnom aureolom. Ovakva pojava posljedica je nukleacije feromagnezijskih minerala poput biotita u samoj enklavi, pri čemu se crpe željezo i magnezij iz stijene domaćina (Johnston i Wyllie, 1988). Pojava različitih vrsta enklava ukazuje na kompleksni međuodnos dviju magmi i na dugotrajnost procesa intruzije mafitne magme u felzitnu.

Da bi došlo do miješanja magmi koje za krajnji rezultat ima nastanak hibridne litologije poput nastanka monzodiorita u dubljim dijelovima bušotine Obod-34, potrebni su posebni uvjeti. Tako u procesu miješanja i interakcije različitih magmi vrlo važan učinak ima parcijalni tlak vode (Frost i Mahood, 1987). Relativno povišen sadržaj vode u mafitnoj magmi, poput magme iz koje je kristalizirao hornblenda dijabaz (Ob-34-9D), snižava likvidus te na taj način smanjuje vjerojatnost kristalizacije neposredno nakon injekcije u hladniju felzitnu magmu. Isto tako, ukoliko felzitna magma ima visok sadržaj vode, smanjena joj je viskoznost pa je povećana mogućnost za hibridizaciju. Nadalje, da bi se tijekom evolucije granodioritnog plutona dogodila ikakava značajnija hibridizacija, potrebne su velike količine bazične magme injektirane u komoru. Na taj način u sustav dolazi dodatna toplinska energija koja je potrebna za miješanje magmi. Posljedično, procesom hibridizacije ne mogu nastati kisele magme, nego samo magme koje sadrže do 63% SiO_2 (Frost i Mahood, 1987), što je slučaj kod analiziranih hibridnih litologija – monzodiorita (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B i Lac-1S-4).

Zonalnost i kompleksnost hornblende čiji je kemijski sastav analiziran u uzorku Ob-34B ukazuje na činjenicu da je kristalizacija bila vrlo kompleksna i odvijala se na različitim razinama na putu do konačne magmatske komore u kojoj je došlo do potpune kristalizacije. Tlak dobiven iz geobarometra Al-u-hornblendi (Johnson i Rutherford, 1989), izračunat iz sastava na rubovima zrna nalazi se u rasponu od 0,35 do 2,61 kbar, u prosjeku 2,32 kbar što je veliki raspon i dovodi u pitanje korisnost ove metode u izrazito kompleksnom sustavu s velikim parcijalnim tlakom H_2O (kao što je naglasio Pitcher, 1997). U svakom slučaju, prosječni dobiveni tlak odgovara dubini od oko 8-9 km.

Na **Slici 12.21** nalazi se shematski prikaz kristalizacije kompleksnog magmatskog tijela iz bušotine Obod-34.



Slika 12.21 Shematski prikaz nastanka kompleksnog magmatskog tijela iz bušotine Obod-34: a) frakcijska kristalizacija, izdizanje kisele magme u plitku magmatsku komoru i asimilacija okolnog materijala; b) izdizanje bazične magme i miješanje magmi u plićoj komori; c) konačna kristalizacija s novonastalom hibridnom litologijom.

U prvoj fazi (**Slika 12.21a**) dolazi do frakcijske kristalizacije kojom dominira kristalizacija hornblende, koja uzrokuje stvaranje dviju magmi krajnjeg sastava – mafitne bogate vodom i kisele. Kisela magma je lakša i izdiže se u pliću magmatsku komoru, gdje dolazi do djelomične asimilacije okolnog materijala. U sljedećoj fazi (**Slika 12.21b**) dolazi do izdizanja bazične magme, moguće zbog dolaska nove bazične magme u duboku komoru, što uzrokuje miješanje magmi u plitkoj komori. Velika količina bazične magme injektirane u plitku magmatsku komoru uzrokuje termalnu anomaliju koja omogućuje miješanje dviju magmi različitih fizikalnih karakteristika. Ovaj proces pospješen je činjenicom da je bazična magma izuzetno bogata vodom. U završnoj fazi (**Slika 12.21c**) nastaje hibridna litologija – monzodiorit, koji se nalazi u središnjem dijelu komore. Na rubnim dijelovima miješanje je bilo nepotpuno i rezultiralo je kristalizacijom granodiorita s mafitnim enklavama i tek mjestimičnim razvojem hibridne litologije. Mafitne enklave po sastavu odgovaraju sitnozrnatoj litologiji – hornblenda dijabazu, jer su posljedica brze kristalizacije unutar hladnije kisele magme.

Bazaltni andezit (Ob-34-2B) očigledno je produkt mlađeg vulkanizma, kada se intruzivni kompleks hornblenda dijabaza-monzodiorita-granodiorita nalazio u plićem nivou Zemljine kore.

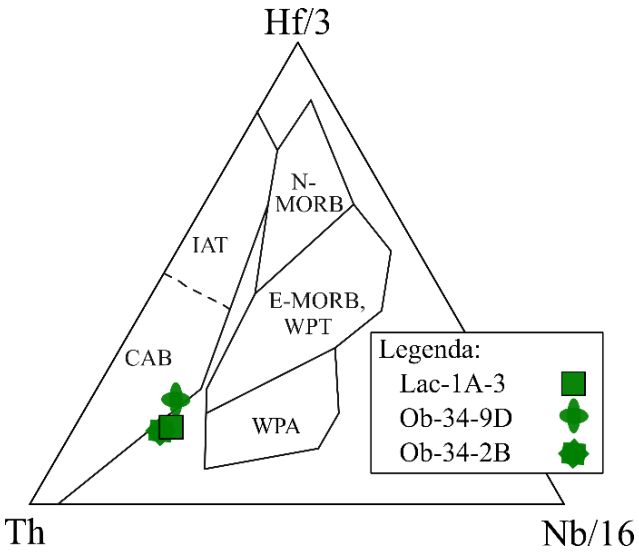
Holokristalni dacit (Lac-1S-8D) također je produkt kasnijeg magmatizma. Na temelju holokristalne strukture može se pretpostaviti da je riječ o stijeni kristaliziranoj u subvulkanskom nivou. Ova stijena pretrpjela je deformacije još za vrijeme kristalizacije, iz čega proizlazi da je riječ o sin-tektonskom magmatizmu. Na sin-tektonski magmatizam ukazuje kristalizacija granofira (kvarc i K-feldspat) i biotita u mikropukotinama unutar

plagioklasa, zatim preferirano slaganje biotita u osnovnoj masi, kao i postojanje višestrukih jezgri fenokristala plagioklasa.

12.3.4. Geotektonski položaj

Geotektonski položaj formiranja magme ne može se jednoznačno odrediti na temelju geokemijskih karakteristika stijena, međutim, kao korisna indikacija mogu poslužiti različiti diskriminacijski dijagrami.

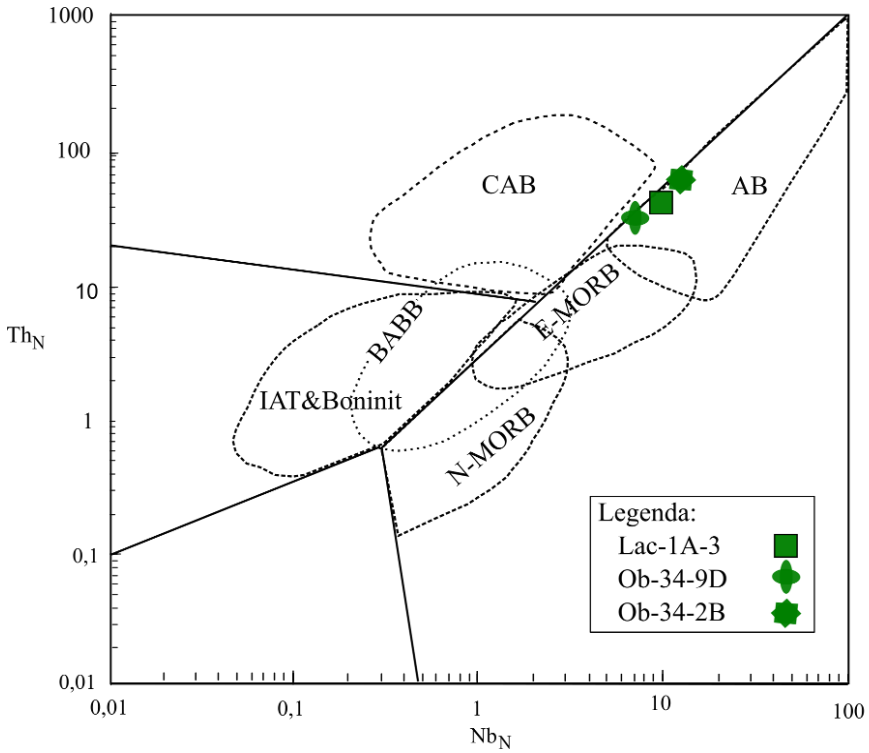
Za određivanje geotektonskog porijekla bazičnih stijena, vrlo često se koristi Th-Nb/16-Hf/3 dijagram (Wood, 1980) prikazan na **Slici 12.22**.



Slika 12.22 Diskriminacijski Th-Nb/16-Hf/3 dijagram (Wood, 1980). N-MORB–normalni bazalt srednjooceanskog hrpta; E-MORB–obogaćeni bazalt srednjooceanskog hrpta; WPT–toleiitni bazalt unutar ploče; WPA–alkalijski bazalt unutar ploče; IAT–toleiit otočnog luka; CAB–kalcijsko-alkalijski bazalt.

U diskriminacijskom Th-Nb/16-Hf/3 dijagramu (**Slika 12.22**) uzorak hornblenda dijabaza (Ob-34-9D) projicira se u polje kalcijsko-alkalijskog bazalta, dok se uzorci metadijabaza (Lac-1A-3) i bazalta (Ob-34-2B) projiciraju izvan polja kalcijsko-alkalijskog bazalta.

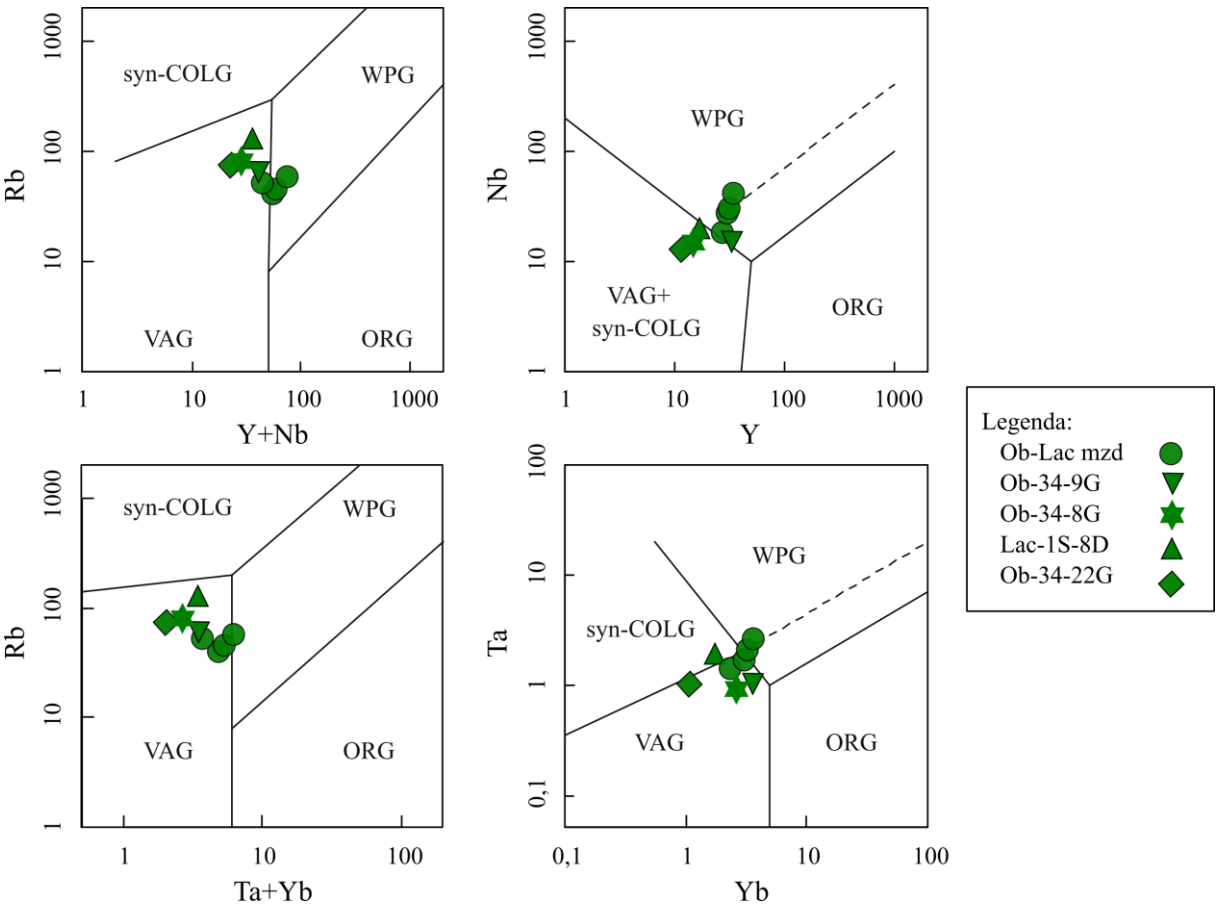
Saccani (2015) je konstruirao dijagram za izdvajanje bazalta različitog geotektonskog porijekla na temelju odnosa koncentracija Nb i Th normaliziranih na vrijednosti N-MORB, po Sun i McDonough (1989). Navedeni dijagram prikazan je na **Slici 12.23**.



Slika 12.23 Dijagram Nb_N – Th_N (Saccani, 2015). Koncentracije Nb i Th normalizirane su na vrijednosti N-MORB, po Sun i McDonough (1989). IAT – toleiiti otočnog luka (eng. island arc tholeiite); BABB – bazalti zalučnog bazena (eng. back-arc basin basalt); CAB – kalcijsko-alkalijski bazalti (eng. calc-alkaline basalt); AB – alkalijski bazalti (eng. alkali bazalt); E-MORB – obogaćeni bazalti srednjooceanskog hrpta (eng. enriched mid-oceanic ridge basalt); N-MORB – normalni bazalti srednjooceanskog hrpta (eng. normal mid-oceanic ridge basalt).

U Nb_N – Th_N dijagramu (**Slika 12.23**) analizirani uzorci projicirani su u polju alkalijskog bazalta. Ovakva situacija ukazuje na mogućnost da je osim subkontinentalnog litosfernog plašta modificiranog subdukcijskim procesima, u generiranju mafitnih magmi ulogu mogao djelomično imati i materijal iz obogaćenog astenosfernog plašta.

Za kisele i neutralne stijene korišten je niz diskriminacijskih dijagrama po Pearce i dr. (1984), prikazan na **Slici 12.24**.



Slika 12.24 Diskriminacijski dijagrami za razlikovanje tektonskog porijekla granita (Pearce i dr., 1984) za analizirane stijene područja Obod. WPG – graniti unutar ploče (eng. *within plate granite*), syn-COLG – sinkolizijski graniti (eng. *syn-collisional granite*), VAG – graniti vulkanskog luka (eng. *volcanic arc granite*); ORG – graniti oceanskog hrpta (eng. *ocean ridge granite*). Ob-Lac mzd – skupna oznaka za uzorke monzodiorita (Ob-34, Ob-34-22, Ob-34B i Lac-1S-4).

Najveći dio uzoraka u svim dijagramima na **Slici 12.24** projicira se u polje granita vulkanskog luka, iako postoje određene iznimke. U dijagramu Y+Nb – Rb dio se monzodiorita (Ob-34, Ob-34-22, Lac-1S-4) projicira u polje granita unutar ploče. U dijagramu Y-Nb svi monzodioriti (Ob-34B, Ob-34, Ob-34-22, Lac-1S-4) i kvarcni monzodiorit (Ob-34-9D) nalaze se u polju granita unutar ploče. U dijagramu Y+Nb – Rb jedan uzorak monzodiorita (Lac-1S-4) projicira se u polje granita unutar ploče, ali u blizini granice s granitom vulkanskog luka. U dijagramu Yb – Ta dio monzodiorita (Ob-34-22 i Lac-1S-4) projicira se u polje granita unutar ploče, dok se dacit (Lac-1S-8D) projicira u polje sinkolizijskih granita.

Na temelju diskriminacijskih dijagrama i općenito geokemijskih karakteristika analiziranih stijena, može se zaključiti da su u širem smislu povezane sa subdukcijskim tektonskim okolišem, međutim bez poznavanja radiometrijske starosti, ne može ih se sa sigurnošću smjestiti u odgovarajući geotektonski kontekst. Naime, odnosi elemenata u tragovima mogu biti i naslijeđeni iz samog izvorišta magme (Pearce i dr., 1984).

12.3.5. Regionalno-geološke implikacije

Magmatske stijene područja Obod po svojem mineralnom sastavu, strukturno-teksturnim značajkama i načinu pojavljivanja bitno se razlikuju od paleozojskih granitoida obližnjih slavonskih planina Psunja, Papuka i Krndije (Pamić i dr., 1996; Horvat, 2004). S obzirom da ove stijene imaju dobro sačuvane magmatske strukture i relativno očuvanu primarnu mineralnu zajednicu, razumno je pretpostaviti da su mlađe od paleozoika. Imajući u vidu regionalno-geološku situaciju, ove stijene mogle biti biti gornjokredne, paleogenske ili neogenske starosti.

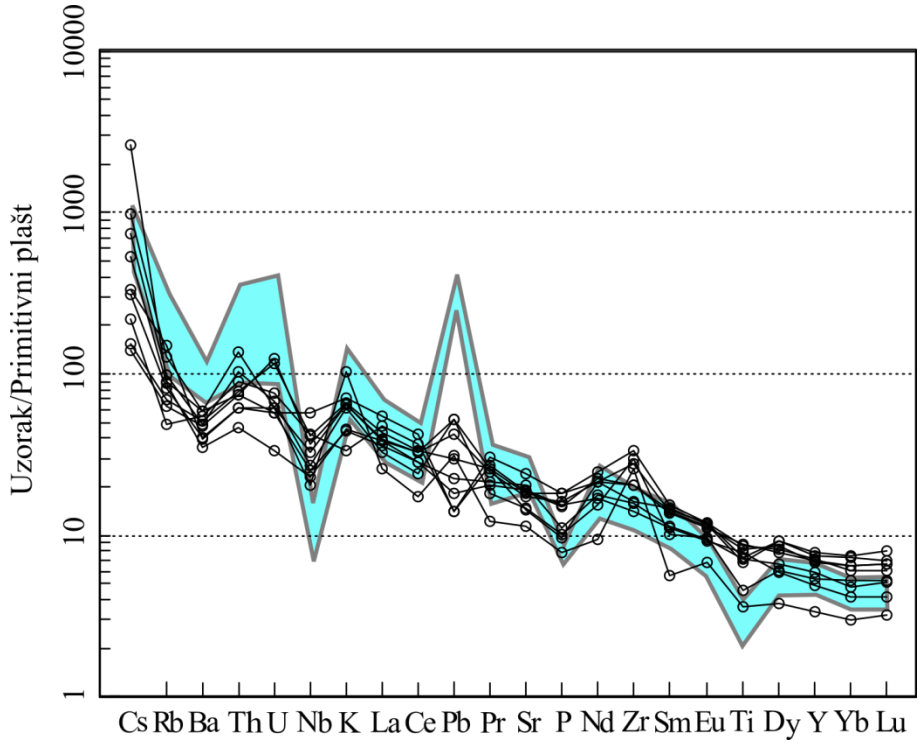
Pamić (1993) interpretira dio stijena ovoga područja (hornblenda dijabaz i hornblenda-kvarc diorit-porfirit iz bušotine Lacić-1 i biotitni alkalijsko-feldspatski granit porfir i/ili holokristalino-porfirni riolit iz bušotina Obod-14 i Obod-31) kao dio gornjokredne bimodalne asocijacije te ih povezuje s vulkanskom masom Požeške gore i Voćina na Papuku. Međutim, s obzirom da se stijene na području Obod pojavljuju u čitavom rasponu sadržaja SiO_2, od mafitnih preko neutralnih do kiselih, ovakva asocijacija ne može se smatrati bimodalnom. Osim toga, po svojim petrografskim i geokemijskim karakteristikama značajno se razlikuju od alkalijsko-feldspatskih granita Privlake i Požeške gore.

Osim bimodalne asocijacije Savske zone i središnjeg granita Moslavačke gore (od kojeg se analizirane stijene područja Obod značajno razlikuju) nisu opisane druge magmatske stijene gornje krede u široj regiji. S obzirom da u neposrednoj okolici nisu pronađene kalcijsko-alkalijske stijene ovog tipa, najsličnije stijene s kojima se može napraviti usporedba su paleogenski i donjomiocenski I-graniti u Sloveniji, Mađarskoj i Srbiji.

Za usporedbu su kao geografski najbliža područja s granitima I-tipa koji pokazuju slične karakteristike uzete intruzivne stijene Kopaonika u Srbiji (Zelić i dr., 2010) i Pohorja u Sloveniji (Altherr i dr., 1995) te podloge neogena u Zala bazenu u Mađarskoj (Benedek i dr., 2004).

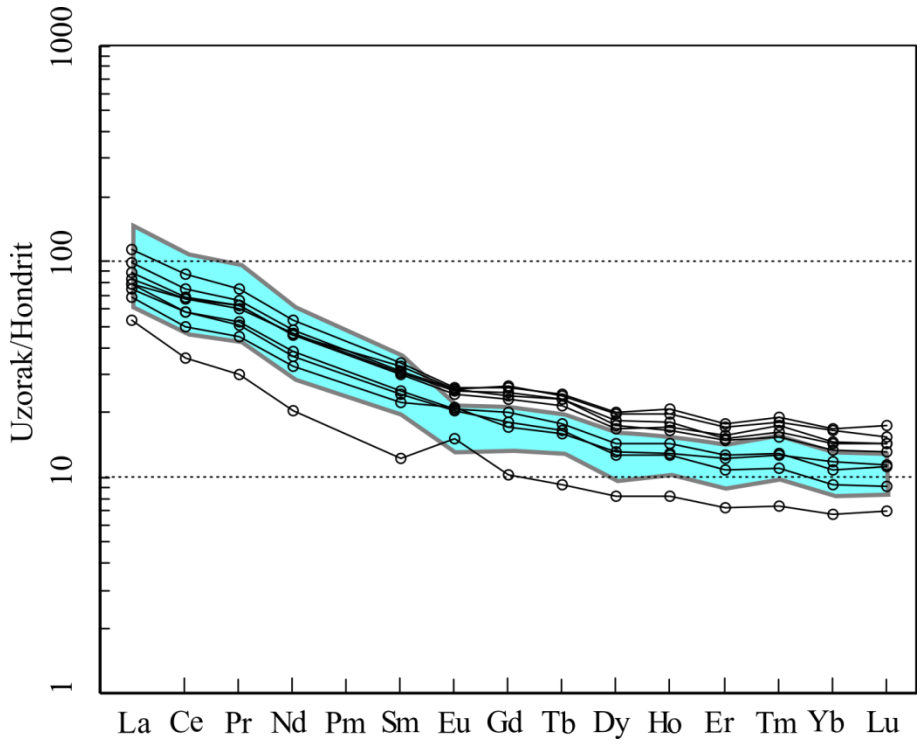
Intruzivni kompleks Kopaonika, čija je starost na temelju $^{206}Pb/^{238}U$ metode na cirkonima datirana na 30,94-30,7 Ma (Schefer i dr., 2011) sastoji se od kvarcnih diorita do granodiorita i kvarcnih monzonita I-tipa, visoko-K kalcijsko-alkalijske serije (Zelić i dr., 2010). Zelić i dr. (2010) smatraju da je dominantan proces u evoluciji ovog magmatskog kompleksa bila frakcijska kristalizacija u zatvorenom sustavu. Autori magmatizam Kopanika povezuju sa subdukcijom oceanske litosfere Neotethysa pod Euroazijsku kontinentalnu ploču. Na **Slici**

12.25 prikazana je usporedba *spider* dijagrama, a na **Slici 12.26** dijagrama raspodjele koncentracija REE intruzivnih stijena područja Obod s intruzivnim kompleksom Kopaonika.



Slika 12.25 Usporedba spider dijagrama intruzivnih stijena područja Obod (crni prazni kružići) s intruzivnim kompleksom Kopaonika u Srbiji (svijetloplavo polje; Zelić i dr. 2011). Normalizacija po primitivnom plaštu (Sun i McDonough, 1989).

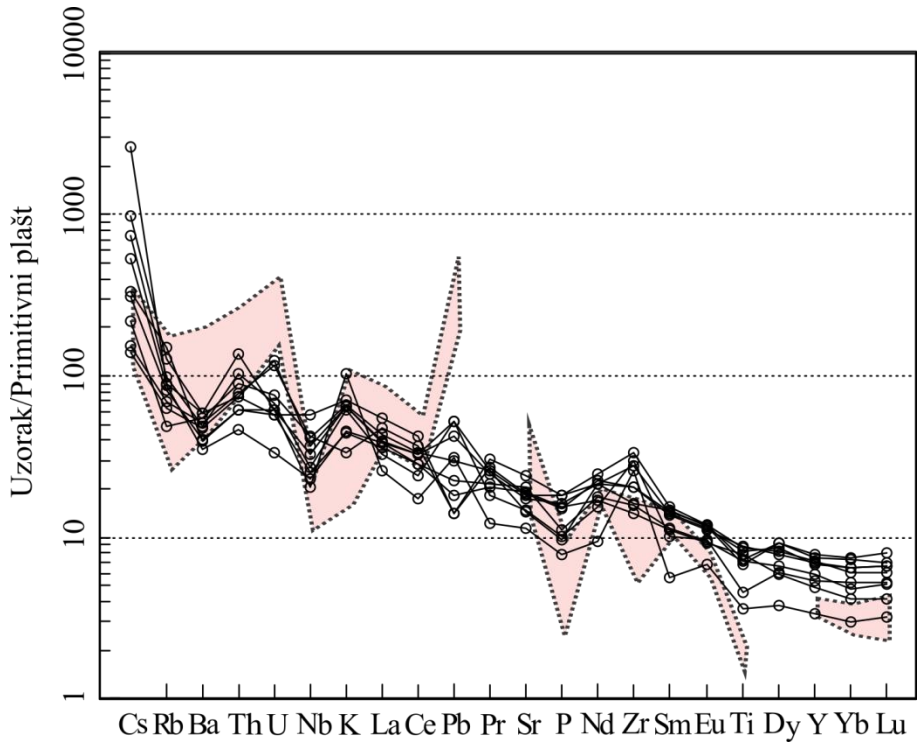
Na **Slici 12.25** jasno je vidljivo da postoje izvjesne sličnosti između intruzivnog kompleksa područja Obod i intruzivnog kompleksa Kopaonika u vidu obogaćenja inkompatibilnim elementima u odnosu na kompatibilne, no vidljive su i značajne razlike koje ukazuju na puno veći utjecaj materijala iz kore u genezi intruziva Kopaonika, a to su obogaćenje Th, U i Pb te izraženije osiromašenje Ba, Nb, P i Ti u odnosu na intruzivne stijene Oboda.



Slika 12.26 Usporedba dijagrama raspodjele koncentracija REE intruzivnih stijena područja Obod (crni prazni kružići) s intruzivnim kompleksom Kopaonika u Srbiji (svijetloplavo polje; Zelić i dr. 2011). Normalizacija po hondritu (Nakamura, 1974).

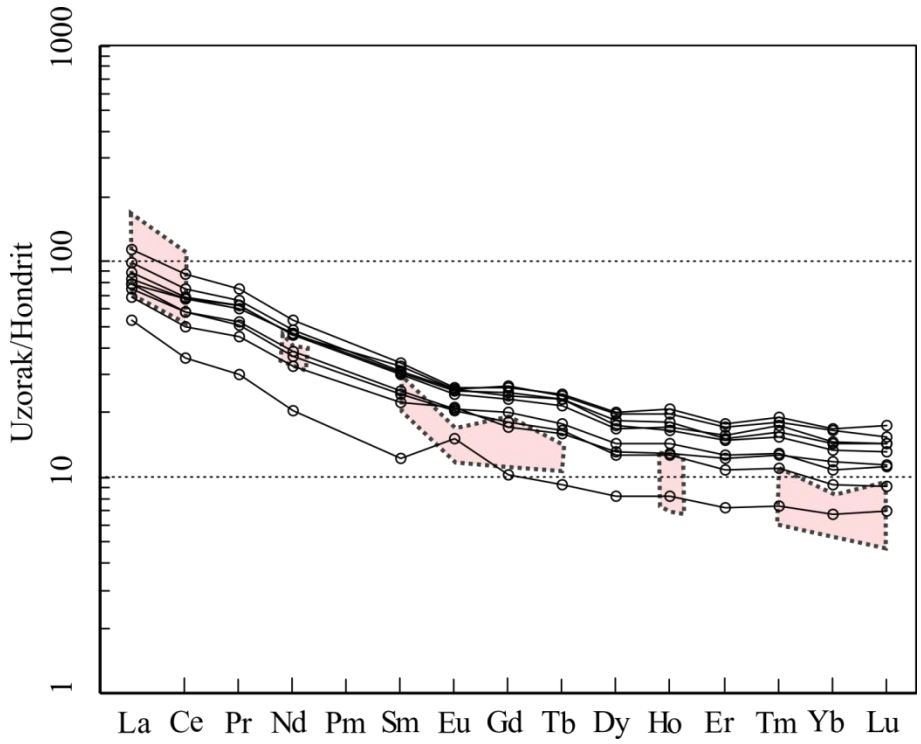
Na **Slici 12.26** jasno je vidljivo da su intruzivne stijene obaju područja karakterizirane obogaćenjem LREE u odnosu na MREE i HREE, no ovo obogaćenje ipak je izraženije kod intruzivnih stijena Kopaonika. Osim toga, stijene Kopaonika u pravilu su karakterizirane izraženijom negativnom anomalijom europija.

Intruzivni kompleks Pohorja čija je starost na temelju U-Pb metode na cirkonima datirana na 18,64 Ma (Fodor i dr., 2008), sastoji se dominantno od granodiorita te manjim dijelom od tonalita (npr. Trajanova i dr. 2008). Unutar tonalita su mjestimično prisutne leće hornblenda diorita koji predstavlja kumulatnu fazu (Altherr i dr., 1995). Magmatizam je povezan s postkolizijskim geotektonskim okolišem, a magma je nastala parcijalnim taljenjem plašta metasomatiziranog subdukcijskim procesima, s utjecajem kontaminacije materijalom iz kore (Alterr i dr., 1995). Na **Slici 12.27** prikazana je usporedba *spider* dijagrama, a na **Slici 12.28** dijagrama raspodjele koncentracija REE intruzivnih stijena područja Obod s intruzivnim kompleksom Pohorja.



Slika 12.27 Usporedba spider dijagrama intruzivnih stijena područja Obod (crni prazni kružići) s intruzivnim kompleksom Pohorja u Sloveniji (svijetloružičasto polje; Altherr i dr., 1995). Normalizacija po primitivnom plaštu (Sun i McDonough, 1989).

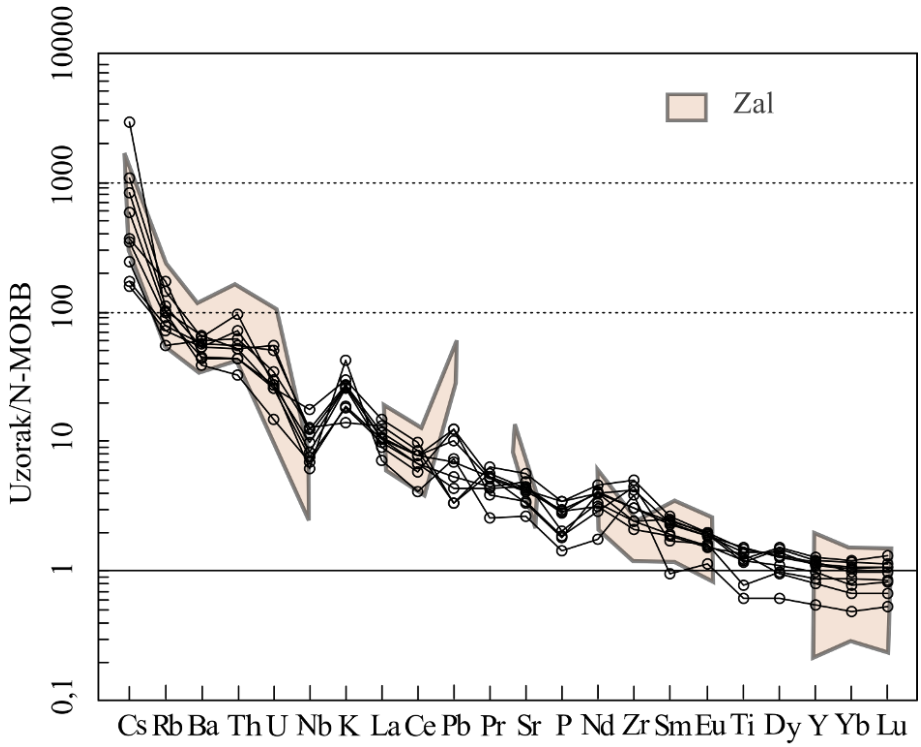
Na **Slici 12.27** vidljivo je da unatoč sličnostima u generalnom trendu obogaćenja inkompatibilnih u odnosu na kompatibilne elemente u tragovima, postoje bitne razlike između intruzivnog kompleksa Pohorja i Oboda. Prije svega, intruzivni kompleks Pohorja ne pokazuje negativnu Ba anomaliju, ima izraženiju pozitivnu Th, U i Pb anomaliju te negativnu Nb, P i Ti anomaliju. Ove karakteristike, izuzevši izostanak negativne anomalije Ba, ukazuju na značajniji utjecaj naslijeđene subdukcijske komponente.



Slika 12.28 Usporedba dijagrama raspodjele koncentracija REE intruzivnih stijena područja Obod (crni prazni kružići) s intruzivnim kompleksom Pohorja u Sloveniji (svijetloružičasto polje; Altherr i dr., 1995). Normalizacija po hondritu (Nakamura, 1974).

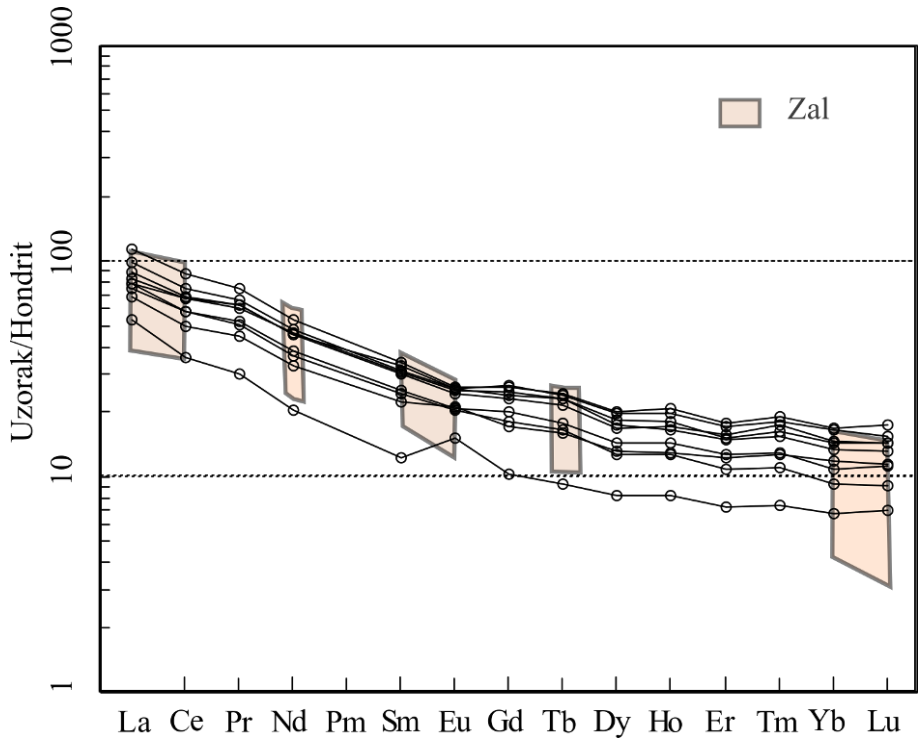
Na **Slici 12.28** jasno je vidljivo da unatoč sličnostima u općenitom trendu, kao i u slučaju Kopaonika, intruzivne stijene Pohorja imaju više izraženo obogaćenje LREE u odnosu na MREE i HREE te izraženiju negativnu anomaliju europija.

Intruzivi iz Zala bazena u Mađarskoj, čija je starost na temelju K/Ar metode određena na raspon 27,9-33,9 Ma, predstavljaju manja tijela, koja se sastoje od tonalita i granodiorita (Benedek i dr, 2004). Benedek i dr. (2004) smatraju ove intruzive produžetkom paleogenskog magmatizma Perijadranskog lineamenta. Na **Slici 12.29** prikazana je usporedba *spider* dijagrama, a na **Slici 12.30** dijagrama raspodjele koncentracija REE intruzivnih stijena područja Obod s intruzivima Zale.



Slika 12.29 Usporedba spider dijagrama intruzivnih stijena područja Obod (crni prazni kružići) s intruzivnim stijenama podloge neogena u Zala bazenu u Mađarskoj (svijetloružičasto polje; Benedek i dr., 2004). Normalizacija po N-MORB (Sun i McDonough, 1989).

Na **Slici 12.29** može se uočiti da postoje izvjesne sličnosti u obliku *spider* dijagrama intruzivnih stijena iz Zala bazena (Benedek i dr., 2004) i analiziranih intruziva s područja Obod, iako ne postoje podatci za velik dio elemenata i tragovima. Osim sličnosti u generalnom trendu, kao zajedničke karakteristike treba istaknuti vrlo sličan intenzitet obogaćenja Cs te blagu negativnu Ba anomaliju.



Slika 12.30 Usporedba dijagrama raspodjele koncentracija REE intruzivnih stijena područja Obod (crni prazni kružići) s intruzivnim stijenama podloge neogena u Zala Bazenu u Mađarskoj (svijetloružičasto polje; Benedek i dr., 2004). Normalizacija po hondritu (Nakamura, 1974).

Iako nisu dostupni podatci za sve REE iz intruzivnih stijena podloge neogena u Zala bazenu (Benedek i dr, 2004), iz **Slike 12.30** može se zaključiti da pokazuju vrlo sličan intenzitet obogaćenja LREE u odnosu na MREE i HREE, iako podatci za elemente rijetkih zemalja analiziranih stijena iz Zala bazena nisu potpuni.

Dakle, intruzivne stijene područja Obod po sadržaju elemenata u tragovima i REE pokazuju najveću sličnost s paleogenskim intruzivima Srednjomađarske rasjedne zone (podloga Zala bazena) za koje se smatra da predstavljaju nastavak Perijadranskih intruzija (Benedek i dr. 2004).

12.4. Istočni dio Dravske depresije –ostali uzorci

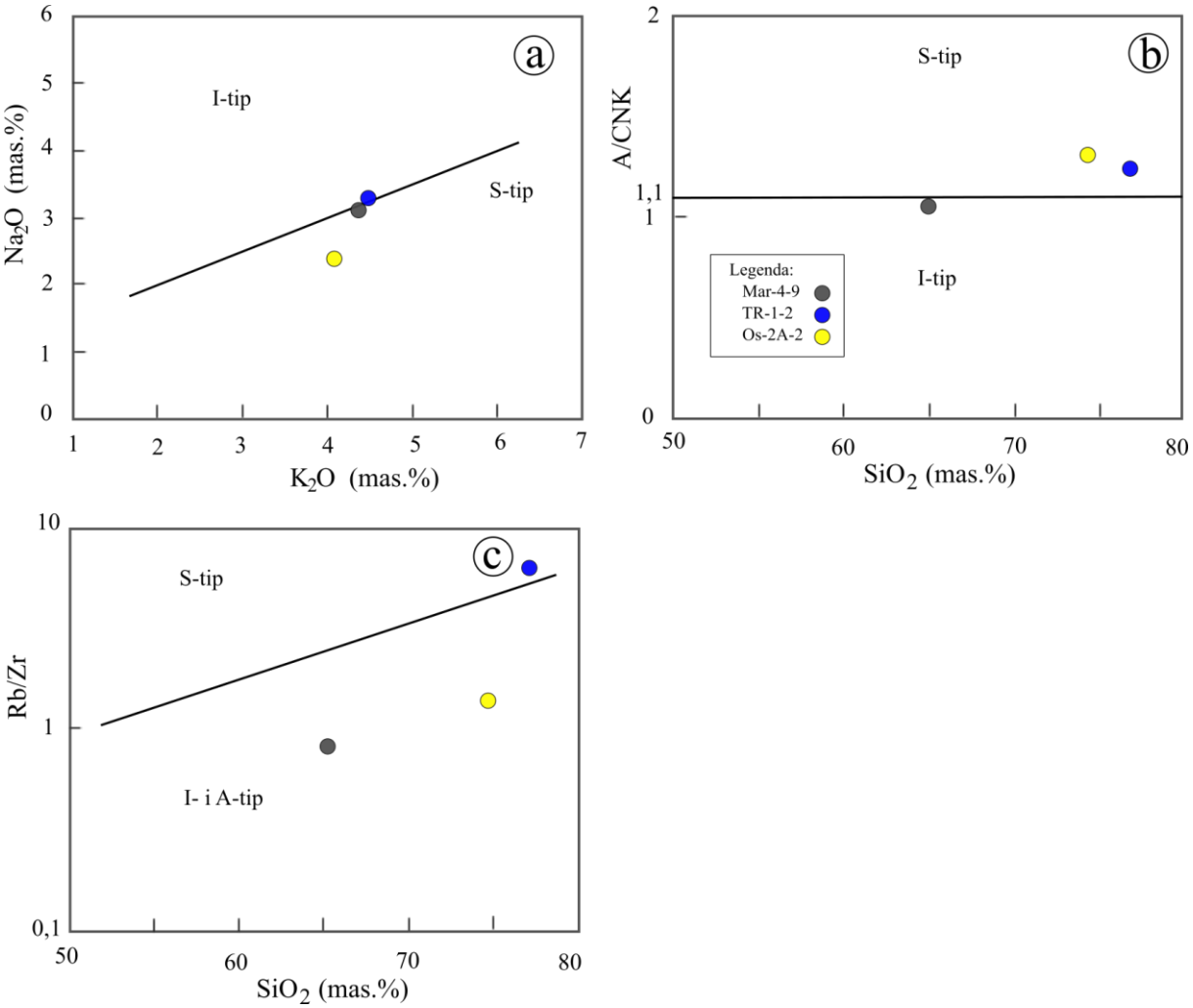
12.4.1. Kemijski sastav stijena, karakter magmatske serije i petrogeneza

Milonitni gnajs (Mar-4-9) po klasifikaciji prema Frost i dr. (2001) predstavlja magnezijski, alkalijsko-kalcijski i peraluminijski granitoid (**Slika 10.9**). Nizak sadržaj HREE i Y ukazuju na rezidualni granat, dok negativne Nb i Ti anomalije upućuju na frakcionaciju ili rezidualni Fe-Ti-oksid. Unatoč relativno visokom sadržaju P_2O_5 izražena je i negativna P anomalija, koja ukazuje na rezidualni apatit ili na frakcionaciju apatita. Izostanak negativnih Sr i Eu anomalija ukazuje na činjenicu da frakcionacija plagioklasa nije imala nikakvu ulogu u evoluciji magme iz koje je nastala ova stijena. Iz istog razloga može se zaključiti da nakon parcijalnog taljenja ove magme u izvorištu nije zaostao rezidualni plagioklas. Obogaćenje Ba i Sr može biti i sekundarno, s obzirom na pojavu Ba-Sr sulfata u složenom intersticijskom zrnu zajedno s anhidritom (*Poglavlje 8. SEM analize*), iako generalno ne odstupa od trendova u *spider* dijagramu.

Monzogranit (Os-2A-2) po klasifikaciji prema Frost i dr. (2001) predstavlja magnezijski kalcijski do kalcijsko-alkalijski i peraluminijski granitoid (**Slika 10.9**). Karakteriziran je visokim sadržajem K_2O i P_2O_5, visokom koncentracijom Ba, U i Pb te negativnim Nb i Ti anomalijama. Blage negativne Eu i Sr anomalije ukazuju na utjecaj frakcionacije plagioklasa ili na prisutnost plagioklasa kao rezidualne faze, dok negativne Nb i Ti anomalije upućuju na frakcionaciju ili rezidualni Fe-Ti oksid.

Leukogranit (TR-1-2) po klasifikaciji prema Frost i dr. (2001) predstavlja magnezijski, kalcijsko-alkalijski i peraluminijski granitoid (**Slika 10.9**). Karakteriziran je visokim sadržajem SiO_2, K_2O, P_2O_5, niskim CaO, TiO_2, FeO_t, MgO te generalno vrlo niskim koncentracijama elemenata u tragovima, osim Cs, Rb, U i Pb, kao i općenito niskim koncentracijama REE s izrazitom negativnom Eu anomalijom u dijagramu raspodjele koncentracija REE u odnosu na hondrit (Nakamura, 1974). Ovakve geokemijske karakteristike ukazuju na magmu nastalu malim stupnjem parcijalnog taljenja iz metasedimentnog izvora, odnosno taljenjem uslijed dehidracije muskovita (sažeto u Kemp i Hawkesworth, 2003). Nakon parcijalnog taljenja u izvoru je zaostao rezidualni plagioklas (nizak CaO, Ba, Sr, Eu/Eu*), Fe-Ti oksid ili biotit (negativna anomalija Nb i Ti). Visoka koncentracija K i Rb te visok omjer Rb/Ba i Rb/Sr ukazuje na izvor bogat K-feldspatom.

Niske koncentracije REE i elemenata u tragovima poput Zr, ukazuju na činjenicu da je došlo do separacije parcijalne taljevine prije taljenja refraktornih minerala poput cirkona. Iz relativno visoke koncentracije P vidljivo je da je u taljevinu ušao apatit, bilo taljenjem u ishodišnoj stijeni ili kao refraktorni mineral. Izrazito visok omjer izotopa stroncija, ($^{87}Sr/^{86}Sr$=0,934) također ukazuje na nastanak magme malim stupnjem parcijalnog taljenja višestruko recikliranog materijala iz kontinentalne kore.



Slika 12.31 Dijagrami za razlikovanje granita I i S-tipa za analizirane stijene istočnog dijela Dravske depresije izuzevši područje Obod: a) K_2O – Na_2O (Chapell i White, 1974); b) SiO_2 – A/CNK (Chapell i White, 1974); c) SiO_2 – Rb/Zr (Harris i dr. 1986).

Dijagram K_2O-Na_2O pokazao se neprimjerenim za analizirane uzorke (**Slika 12.31**). Naime, uzorak leukogranita (TR-1-2) projicira se u polje I-tipa granita, doduše na granici s S-tipom, dok se milonitni gnajs (Mar-4-9) i monzogranit (Os-2A-2) projiciraju u polje S-tipa granita. Po odnosu SiO_2 i A/CNK uzorci leukogranita (TR-1) i monzogranita (Os-2A-2) projiciraju se u polje S-tipa granita, a milonitni gnajs (Mar-4-9) u polje I-tipa granita (**Slika 12.31b**).

Konačno, na temelju dijagrama SiO_2 – Rb/Zr, leukogranit (TR-1) projicira se u polje S-tipa granita, a milonitni gnajs (Mar-4-9) i monzogranit (Os-2A-2) u zajedničko polje I i A-tipa granita (**Slika 12.31b**).

12.4.2. Uvjeti kristalizacije i subsolidus procesi

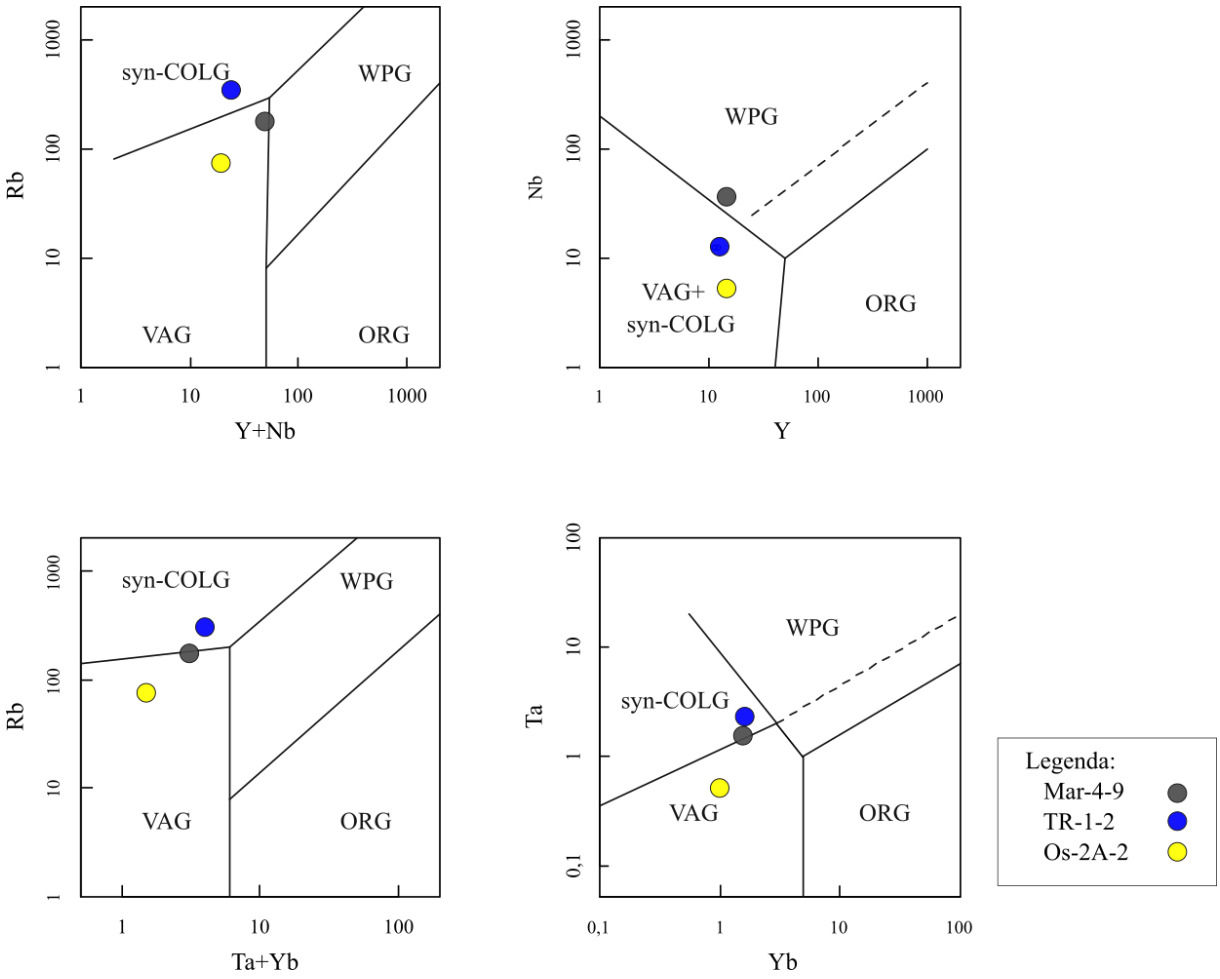
Milonitni gnajs (Mar-4-9) predstavlja ortognajs, odnosno gnajs nastao rekristalizacijom iz granitoidne stijene, što je vidljivo po strukturno-teksturnim karakteristikama poput zonalne građe plagioklasa i allanita. Prisutnost normalno zonalnih plagioklasa (Poglavlje *9.Kemijski sastav minerala*) ukazuje na relativno brzu kristalizaciju. Magmatski allanit, koji je dokazan u ovoj stijeni, ukazuje na visoku temperaturu kristalizacije – iznad 800 °C (Giere i Sorensen, 2004). Dobivena temperatura zasićenosti cirkonijem koja iznosi 803°C u skladu je s prethodnim zaključkom (**Tablica 12.1**). Stijena je pretrpjela dinamičku rekristalizaciju, što je posebice izraženo u polikristalnim agregatima kvarca te deformaciji listića biotita. Tijekom ove faze vjeorjatno je došlo i do kristalizacije metamorfnih minerala, poput epidot-allanita oko euhedralnih kristala magmatskog alanita i unutar pukotina, te monacita koji je uočen tijekom SEM analize.

Monzogranit (Os-2A-2) je po temperaturi zasićenosti cirkonijem kristalizirao pri relativno niskoj temperaturi, 723°C (**Tablica 12.1**). Stijena je pretrpjela rekristalizaciju pod utjecajem tlaka što je vidljivo iz pojave mirmekitnog proraštanja plagioklasa i kvarca (Vernon, 2004) te distorzije lamela plagioklasa. Pojava simplektita kvarca i muskovita na rubovima zrna K-feldspata ukazuje također na rekristalizaciju u subsolidus uvjetima. Magmatski muskovit ukazuje na velike dubine kristalizacije (generalno veće od 11 km) (Miller i dr., 1981), što je u skladu s dobivenom temperaturom kristalizacije.

Leukogranit (TR-1-2) je kristalizirao pri relativno niskoj temperaturi (T_{Zr}=709°C; **Tablica 12.1**), a prisutnost magmatskog muskovita ukazuje na dubinu kristalizacije generalno veću od 11 km. Strukturne karakteristike stijene poput sitnozrnatog obruba oko primarnih zrna, ukazuju na naknadnu rekristalizaciju stijene koja je uslijedila nakon deformacijskog događaja.

12.4.3. Geotektonski položaj

Pearce i dr. (1984) razvili su diskriminacijske dijagrame pomoću kojih se na temelju sadržaja mikroelemenata može odrediti geotektonsko porijeklo magme (**Slika 12.32**).



Slika 12.32 Diskriminacijski dijagrami za razlikovanje tektonskog porijekla granita (Pearce i dr., 1984) za analizirane stijene istočnog dijela Dravske depresije izuzevši područje Obod. WPG- graniti unutar ploče (eng. *within plate granite*), syn-COLG sinkolizijski graniti (eng. *syncollisional granite*), VAG-graniti vulkanskog luka (eng. *volcanic arc granite*); ORG-graniti oceanskog hrpta (eng. *ocean ridge granite*).

Milonitni gnajs (Mar-4-9) projicira se u različita područja (**Slika 12.32**). U Y+Nb – Rb dijagramu nalazi se u polju granita vulkanskog luka (VAG), ali uz granicu s granitima unutar ploče (WPG). U Y–Nb dijagramu nalazi se u području granita unutar ploče (WPG), a u Ta+Yb – Rb i Yb – Ta dijagramima na samoj granici granita vulkanskog luka (VAG) i sinkolizijskih granita (syn-COLG).

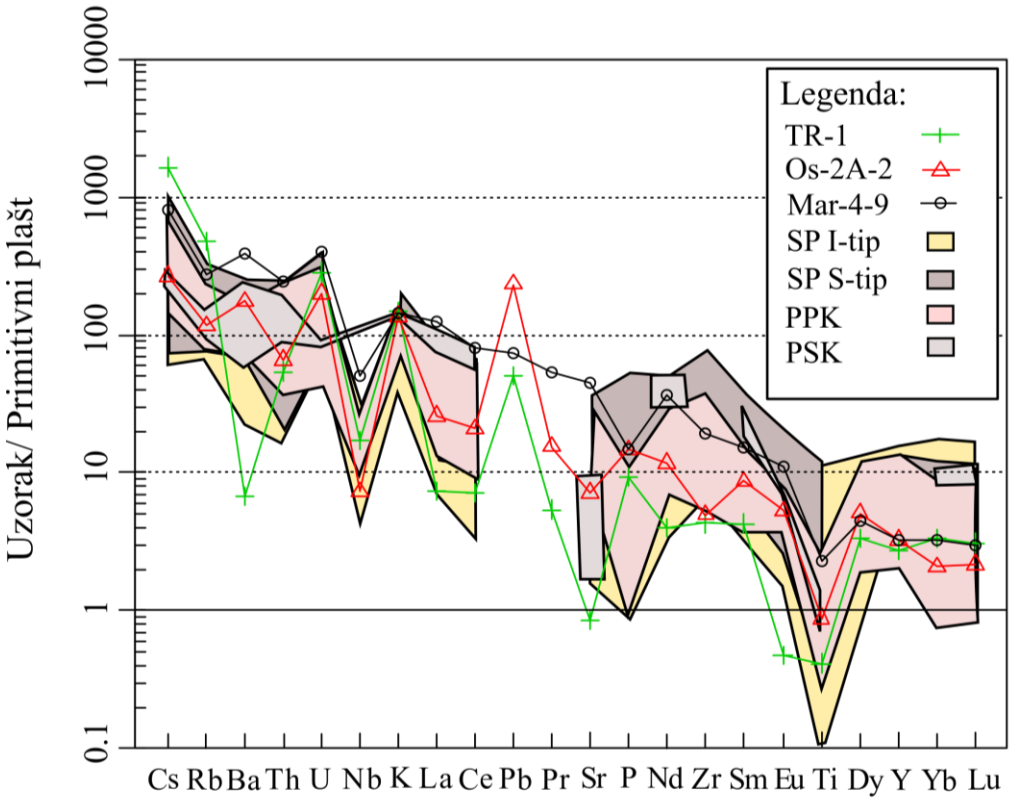
Monzogranit (Os-2A-2) se na **Slici 12.32** projicira u područje granita vulkanskog luka (VAG), odnosno u odgovarajuće zajedničko polje granita vulkanskog luka i sinkolizijskih granita (VAG+syn-COLG).

Leukogranit (TR-1-2) na **Slici 12.32** se nalazi u području sinkolizijskih granita (syn-COLG), odnosno u odgovarajućem zajedničkom polju granita vulkanskog luka i sinkolizijskih granita (VAG+syn-COLG).

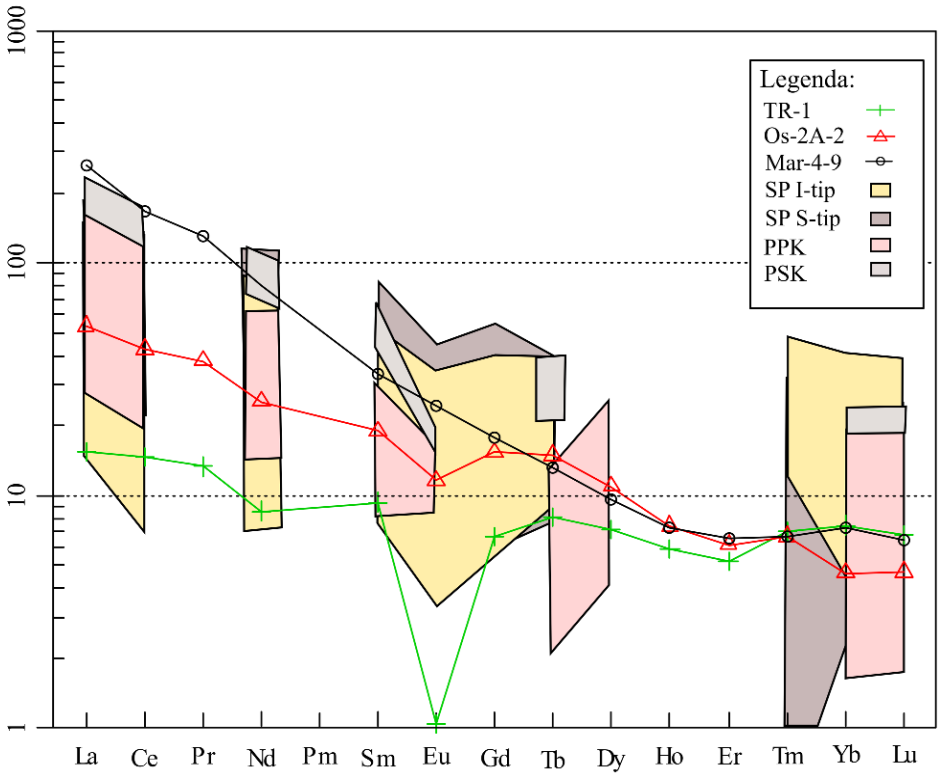
12.4.4. Regionalno-geološka korelacija

Strukturno-teksturne karakteristike stijena, poput rekristalizacije u statičkim (TR-1-2 i Os-2A-2) ili dinamičkim uvjetima (Mar-4-9), kao i geokemijske karakteristike stijena, ali i lokalna geologija i način pojavljivanja, ukazuju na činjenicu da ove stijene vrlo vjerojatno ne pripadaju post-paleozojskim magmatskim stijenama vezanim uz alpsku orogenetsku fazu ili procese otvaranja Panonskog bazena. Može se pretpostaviti da ove stijene pripadaju paloezojskim (i pretpaleozojskim?) kompleksima Slavonskih planina.

Stoga je napravljena usporedba analiziranih uzoraka iz istočnog dijela Dravske depresije, izuzevši područje Obod, s granitoidima Slavonskih planina na temelju dostupnih podataka (Pamić i Lanphere, 1991; Horvat, 2004), koja je prikazana na **Slikama 12.33** i **12.34**.



Slika 12.33 Usporedba *spider* dijagrama analiziranih stijena istočnog dijela Dravske depresije s literaturnim podatcima za Slavonske planine: SP I-tip – Slavonske planine I-tip (Pamić i Lanphere, 1991); SP S-tip – Slavonske planine S-tip (Pamić i Lanphere, 1991); PPK – Papučki kompleks (Horvat, 2004), PSK – Psunjski kompleks (Horvat, 2004). Normalizacija po primitivnom plaštu (Sun i McDonough, 1989)



Slika 12.34 Usporedba REE dijagrama analiziranih stijena istočnog dijela Dravske depresije s literaturnim podatcima za Slavonske planine: SP I-tip – Slavonske planine I-tip (Pamić i Lanphere, 1991); SP S-tip – Slavonske planine S-tip (Pamić i Lanphere, 1991); PPK – Papučki kompleks (Horvat, 2004), PSK – Psunjski kompleks (Horvat, 2004). Normalizacija po hondritu (Nakamura, 1974).

Na **Slikama 12.33** i **12.34** vidi se određeni stupanj podudarnosti između granitoida S-tipa koje su definirali Pamić i Laphere (1991) te Pamić i dr. (1996), odnosno stijena Papučkog kompleksa po podatcima Horvat i Buda (2004) i Horvat (2004) sa uzorkom monzogranita (Os-2A-2). Milonitni gnajs (Mar-4-9) i leukogranit (TR-1-2) ne pokazuju sličnosti sa stijenama iz literature čija su polja projicirana u navedenim dijagramima.

Međutim, pregledom literaturnih podataka jasno je da granitoidi Slavonskih planina, iako su po Pamić i Lanphere (1991) i Pamić i dr. (1996) izdvojeni u dvije skupine: granitoide I-tipa i granitoide S-tipa, predstavljaju stijene koje su geokemijski vrlo raznolike, posebice uzevši u obzir kemijski sastav elemenata u tragovima i REE (Pamić i Lanphere, 1991; Pamić i dr. 1996; Horvat i Buda, 2004; Horvat, 2004). Već postojeći podatci, kao i podatci prikazani u sklopu ove doktorske disertacije ukazuju na činjenicu da su granitoidne stijene Tise po svojim karakteristikama i načinu pojavljivanja vrlo kompleksne.

13. ZAKLJUČAK

U podlozi neogena na području istočne Hrvatske, koje obuhvaća Slavonsko-srijemsku depresiju i istočni dio Dravske depresije, istraženi su različiti tipovi granitoida i s njima asociranih stijena. Detaljnim petrografskim analizama istraživane stijene izdvojene su u različite skupine.

U Slavonsko-srijemskoj depresiji na području Privlake opisani su alkalijsko-feldspatski graniti i sijenit A-tipa, na području Đeletovaca (uključujući i bušotinu Tovarnik-2) milonitni gnajsevi, a u bušotini Županja-3 porfiroidni granit i riolit. Navedene litologije na području Privlake i Đeletovaca nalaze se u vrhu podloge neogena te ih prekrivaju krupni klastiti donjeg i srednjeg miocena ili uglavnom pelitne naslage gornjeg miocena, a podina im nije nabušena. U bušotini Županja-3 porfiroidni granit prekriven je pelitnim naslagama gornjeg miocena, a u podini se nalazi izmjena pješčenjaka i šejla, koja vjerojatno predstavlja kredno paleogenski fliš.

Alkalijsko-feldspatski graniti, mikrogranit i alkalijsko-feldspatski sijenit područja Privlake i Đeletovaca imaju sličan mineralni sastav. Alkalijsko-feldspatski graniti sastoje se od pertita, kvarca, albita, biotita i amfibola, mikrogranit sadrži antipertit, pertit, kvarc i albit, dok se alkalijsko-feldspatski sijenit sastoji od pertita, albita, kvarca i amfibola. Akcesorni minerali su magnetit, ilmenit, cirkon i apatit, a u alkalijsko-feldspatskom granitu dodatno su dokazani i titanit, torit te neidentificirane Nb-Th i Y mineralne faze Temperatura zasićenosti cirkonijem u rasponu 830-850°C dobivena u alkalijsko-feldspatskom granitu, mikrogranitu i alkalijsko-feldspatskom sijenitu, te Al-u-hornblendi tlak s vrijednošću <2,5 kbar (dobiven u uzorku alkalijsko-feldspatskog granita) ukazuju na visokotemperaturnu kristalizaciju u magmatskoj komori koja se nalazila na dubini od oko 8 km. Ovakav rezultat geotermobarometrijskog proračuna potvrđuju i petrografske karakteristike poput pojave hipersolvus granita, granofirskih proraštanja i eksolucije ilmenita iz zrna magnetita. Visok sadržaj željeza u amfibolu i biotitu iz alkalijsko-feldspatskog granita, posebice u odnosu na magnezij, ukazuje na reduktivno stanje magme, dok prisutnost hornblende upućuje na minimalno 4% koncentracije vode u taljevini iz koje je kristalizirao alkalijsko-feldspatski granit.

Geokemijske karakteristike alkalijsko-feldspatskog granita, poput visokog sadržaja $FeO_t/(MgO+FeO_t)$, K_2O, i Na_2O, visoke koncentracije REE^{3+}, Rb, Zr, Nb i Y, popraćenih niskim sadržajem CaO, MgO i P_2O_5, niskim koncentracijama Ba, Sr i Eu ukazuju na A-tip granita. Ova činjenica dodatno je potvrđena kemizmom mineralnih faza, posebice željezom

bogatog biotita – annita, koji pokazuje jasan alkalijski afinitet te željezom bogatog amfibola – feroedenita. Alkalijsko-feldspatski sijenit geokemijski je također vrlo sličan alkalijsko-feldspatskom granitu, ali ne sadrži Eu anomaliju u dijagramu raspodjele koncentracija REE normaliziranih na hondrit, te sadrži K i Zr pozitivne anomalije u dijagramu raspodjele elemenata u tragovima normaliziranom na primitivni plašt. Navedene karakteristike mogu se objasniti hipotezom da je magma iz koje je kristalizirao alkalijsko-feldspatski sijenit nastala kumulacijom iz magme tipa opisanog alkalijsko-feldspatskog granita. Pojava krupnijih zrna feldspata i kvarca kao intergranularne faze, u skladu je s prethodno iznesenom pretpostavkom. Mikrogranit je također geokemijski vrlo sličan alkalijsko-feldspatskom granitu, ali se razlikuje po niskom sadržaju K_2O i Rb popraćenom niskim sadržajem Na_2O i Sr. Ovakve razlike mogu se objasniti separacijom magme u kasnom stadiju evolucije koja je bila dominantno kontrolirana kristalizacijom K-feldspata. Navedena objašnjenja važeća su uz pretpostavku da su alkalijsko-feldspatski granit, mikrogranit i sijenit u ko-magmatskom odnosu. Evolucija primarne magme iz koje su nastali A-graniti Privlake kontrolirana je procesom frakcijske kristalizacije, prije svega K-feldspata, plagioklasa te biotita. Geokemija elemenata u tragovima milonitnih gnajseva Đeletovaca ukazuje na protolit tipa alkalijsko-feldspatskog granita Privlake.

Sukladno s afinitetom A-tipa, analizirane stijene područja Privlaka i Đeletovci u geotektonskim klasifikacijama pripadaju tipu granita unutar ploče (WPG). Osim toga, alkalijsko-feldspatski graniti i mikrogranit klasificiraju se kao A_1-tip, koji nastaje iz magmi plaštnog tipa. Stoga, unatoč dokazanom porijeklu iz kontinentalne kore, ne treba odbaciti mogućnost utjecaja magme iz plašta na genezu navedenih stijena. Usporedba s literaturnim podatcima ukazuje na činjenicu da su magmatske stijene A-tipa područja Privlake i Đeletovaca vrlo slične gornjokrednim alkalijsko-feldspatskim granitima Požeške gore i kiselim žilnim stijenama sjeverne Kozare, pa se može zaključiti da u regionalno-geološkom smislu pripadaju Savskoj zoni. Magmatizam A-tipa povezan je s ekstenzijskom tektonikom i ukazuje na činjenicu da je tijekom mlađe krede došlo do ekstenzije velikih razmjera unutar kontinentalne kore, a vjerojatno i plašta. Kao geodinamički okoliš u kojem se ovaj proces odvijao predložen je pred-lučni bazen unutar gornje, Europske ploče.

Porfiroidni granit Županje sastoji se od ortoklasa, albita, kvarca, akcesornog cirkona, apatita i opakih minerala, a riolit od kvarca, feldspata i muskovita. Dobivena je visoka temperatura saturacije cirkonijem za porfiroidni granit (797°C) te nešto niža za riolit (721°C). Petrografske karakteristike riolita poput sferulitne teksture i vrlo malog udjela fenokristala

koji su sitni, ukazuju na izdizanje magme u gotovo potpuno rastaljenom stanju. Geokemijske karakteristike ovih stijena, poput visoke koncentracije Ba, niske koncentracije Zr, Nb i Y te slabo izražene negativne Eu anomalije, kao i izraženije obogaćenje LREE u odnosu na HREE, ukazuju na različit tip magme u odnosu na granitoide Privlake i Đeletovaca. Porfiroidni granit i riolit karakterizirani su sličnim oblicima krivulja raspodjele elemenata u tragovima i REE, normaliziranim na primitivni plašt odnosno hondrit, a koje ukazuju na rezidualni plagioklas, apatit, Fe-Ti-oksid, amfibol i/ili klinopiroksen. Porfiroidni granit ima više izraženo osiromašenje HREE koje ukazuje na rezidualni granat u protolitu. Geotektonski položaj na temelju mikroelemenata također nije jednoznačno određen jer se navedene stijene projiciraju u polja granita vulkanskog luka ali i sinkolizijskih granita.

U podlozi neogena istočnog dijela Dravske depresije u sklopu ovog rada opisani su monzodioriti, granodioriti, hornblenda dijabaz, bazaltni andezit, dacit, gnajs i metadijabaz područja Obod, milonitni gnajs iz istražne bušotine Marjanci-4, monzogranit iz istražne bušotine Osijek-2A te leukogranit iz istražne bušotine Torjanski Rid-1. U području Obod analizirane magmatske stijene prekrivene su krupnoklastičnim naslagama donjeg-srednjeg miocena ili konglomeratima, pješčenjacima i pelitima badenske starosti. U bušotini Marjanci-4 milonitni gnajs prekriven je pješčenjacima i krupnim klastitima donjeg-srednjeg miocena, a u bušotini Osijek-2A krupnim klastitima pretpostavljenog istog stratigrafskog raspona. Leukogranit iz bušotine Torjanski Rid-1 prekriven je pelitnim naslagama gornjeg miocena.

Na području Oboda, monzodioriti i granodioriti s mikrogranularnim mafitnim enklavama hornblenda dijabaza čine kompleksnu plitku intruziju. Mineralni sastav monzodiorita i hornblenda dijabaza, gdje je jedan od glavnih minerala u stijeni hornblenda, ukazuje na neuobičajeno visok sadržaj vode u magmi. Ovakve stijene mogu se klasificirati kao apiniti. Hornblenda dijabaz sastoji se od plagioklasa i hornblende, a uz kontakt s granodioritom i manje količine biotita i kvarca. Monzodiorit se sastoji od plagioklasa, hornblende, ortoklasa, kvarca i biotita, a granodiorit od plagioklasa, kvarca i ortoklasa, a uz kontakt s mafitnim enklavama i hornblende. Akcesorni minerali u svim litologijama su opaki mineral, apatit i cirkon. Enklave hornblenda dijabaza unutar granodiorita, veličine 1-10 cm imaju različit oblik i različit kontakt s granodioritom: od uglatih i elipsoidnih enklava s oštrim kontaktima do ameboidnih enklava s difuznim i nejasnim kontaktom sa stijenom domaćinom. Pojava različitih tipova enklava ukazuje na kompleksan međuodnos dviju magmi krajnjeg sastava. Monzodiorit predstavlja hibridnu litologiju nastalu miješanjem bazične i kisele magme.

Stijene hornblenda dijabaz – monzodiorit – granodioritnog kompleksa pripadaju kalcijsko-alkalijskoj do visoko-K kalcijsko-alkalijskoj seriji. Krivulje raspodjele koncentracija elemenata u tragovima normaliziranih na primitivni plašt pokazuju pozitivnu Cs anomaliju i negativnu Ba anomaliju koja je zajednička svim uzorcima. Krivulje raspodjele koncentracija REE normaliziranih na hondrit karakterizirane su obogaćenjem LREE u odnosu na HREE i MREE, blagom negativnom Eu anomalijom kod bazičnih i neutralnih, a pozitivnom Eu anomalijom kod kiselih stijena. Ove karakteristike ukazuju na činjenicu da na frakcionaciju magme utjecaj nije imala kristalizacija plagioklasa, nego hornblende. Osim toga, navedene geokemijske karakteristike, zajedno s niskim omjerom izotopa stroncija, ukazuju na porijeklo magme iz metasomatiziranog litosfernog plašta. Kisela magma iz koje je nastao granodiorit predstavlja produkt frakcionacije iz bazične magme tipa hornblenda dijabaza. Frakcionirana kisela magma je nakon uzdizanja u plitku magmatsku komoru djelomično kontaminirana asimilacijom materijala iz gornje kore. Asimilirani materijal po sadržaju elemenata u tragovima i REE, mogao bi odgovarati analiziranom gnajsu (Ob-34-22G), koji pokazuje vrlo sličan oblik krivulje raspodjele koncentracija elemenata u tragovima kao i granodiorit, a karakteriziran je i pozitivnom Eu anomalijom.

U geotektonskim diskriminacijskim dijagramima hornblenda dijabaz, monzodiorit i granodiorit projiciraju se u polja granita vulkanskog luka i granita unutar ploče. Po svojim mineraloškim, petrološkim i geokemijskim karakteristikama ove stijene značajno se razlikuju od paleozojskih stijena Slavonskih planina. Usporedba s literaturnim podatcima za površinske izdanke ukazuje na činjenicu da su ove stijene po petrološkim i geokemijskim karakteristikama najsličnije paleogenskim intruzivima iz podloge Zala bazena u Mađarskoj, koji predstavljaju sjeveroistočni nastavak perijadranskih intruzija. Međutim, potrebni su dodatni podatci, prije svega o starosti analiziranih stijena, da bi se definirala točna regionalno-geološka pripadnost kao i tektonski okvir unutar kojeg su nastale.

Dacit se sastoji od plagioklasa, kvarca, K-feldspata i biotita te akcesornog opakog minerala, apatita i cirkona. Stijena je kristalizirala u subvulkanskom nivou, pod utjecajem sin-magmatske tektonike. Geokemijske karakteristike dacita ukazuju na porijeklo materijala iz kontinentalne kore. Terenski odnosi ukazuju na činjenicu da se vulkanizam odvijao nakon izdizanja hornblenda dijabaz – monzodiorit – granodioritnog plutona u plići nivo. Isti zaključak o relativnoj starosti može se izvesti i za vulkanizam čiji je produkt analizirani bazaltni andezit. Geokemijske karakteristike bazaltnog andezita ukazuju na porijeklo iz metasomatiziranog litosfernog plašta. Metadijabaz se sastoji od plagioklasa, hornblende,

biotita, kvarca i ortoklasa, pri čemu je hornblenda sekundarni mineral nastao alteracijom primarnog klinopiroksena. Ova stijena također ima geokemijske karakteristike koje ukazuju na porijeklo iz metasomatiziranog litosfernog plašta.

Milontini gnajs se sastoji od plagioklasa, kvarca, K-feldspata, biotita, allanita, akcesornih apatita, cirkona, magnetita i monacita. Ova stijena predstavlja ortognajs, odnosno gnajs nastao dinamičkom rekristalizacijom iz granitoidne stijene. Na primarnu kristalizaciju iz visokotemperaturne magme ukazuje dobivena vrijednost temperature zasićenja cirkonijem od 803,2°C, što je u skladu s prisutnošću magmatskog allanita. Zonalna građa plagioklasa ukazuje na relativno brzu kristalizaciju. Magma je nastala parcijalnim taljenjem protolita u kojem je zaostao rezidualni granat. Na temelju mikroelemenata nije bilo moguće odrediti geotektonski položaj ove stijene.

Monzogranit sadrži kvarc, zonalni plagioklas, K-feldspat, muskovit, biotit te akcesorni apatit i cirkon. Prisutnost magmatskog muskovita ukazuje na veliku dubinu kristalizacije, što je u skladu s dobivenom niskom temperaturom zasićenja cirkonijem (723°C). Na temelju geokemijskih karakteristika nije moguće razlučiti pripada li analizirani monzogranit S ili I-tipu granita. Vjerojatno je nastao parcijalnim taljenjem protolita u kojem je zaostao rezidualni plagioklas i Fe-Ti oksid. Sadržaj mikroelemenata ukazuje na povezanost s tektonskim okolišem vulkanskog luka. Korelacija s literaturnim podatcima ukazuje na sličnost monzogranita s S-granitima Papučkog kompleksa.

Leukogranit se sastoji od kvarca, albita, pertita, muskovita i akcesornih apatita i cirkona. Temperatura zasićenosti cirkonijem od 709°C u skladu je s pojavom magmatskog muskovita koji ukazuje na veliku dubinu kristalizacije. Magma iz koje je kristalizirao leukogranit nastala je iz metasedimentnog izvora, malim stupnjem parcijalnog taljenja uzrokovanog dehidracijom muskovita. Nakon parcijalnog taljenja K-feldspatom bogatog protolita, zaostao je rezidualni plagioklas, Fe-Ti oksid ili biotit te cirkon. Geotektonski dijagrami temeljeni na mikroelementima ukazuju na sinkolizijsko porijeklo leukogranita.

14. POPIS LITERATURE

Abdel-Rahman, A.-F.M. (1994): Nature of Biotites from Alkaline, Calc-alkaline, and Peraluminous Magmas. Journal of Petrology, 35, 525-541.

Altherr, R., Lugović, B, Meyer, H.-P., Majer, V. (1995): Early Miocene post-collisional calc-alkaline magmatism along the easternmost segment of the Periadriatic fault system (Slovenia and Croatia). Mineralogy and Petrology, 54, 225-247.

Anderson, J.L., Barth, A.P., Wooden, J.L., Mazdab, F. (2008): Thermometers and Thermobarometers in Granitic Systems. Revews in Mineralogy and Geochemistry 69, 121-142.

Anderson, J.L., Smith, D.R. (1995): The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer. American Mineralogist , 80, 549-559.

Bailey, S:W: (1988): Chlorites: Structures and Crystal Chemistry. – U: Bailey, S.W. (urednik): Hydrous Phyllosilicates.- Reviews in Mineralogy, 19, 347-403.

Bailey, S.W. (1980): Summary of recommendations of APIEA Nomenclature Commitee. Clay Minerals, 15, 85-93.

Balen D., Schneider P., Massonne H.-J., Opitz J., Petrinec Z. (2017a): A Cretaceous A-type granite from the Europe-Adria collisional zone: a marker of geodynamic changes. Goldschmidt 2017 Abstract

Balen D., Schneider P., Massonne H.-J., Opitz J., Putiš, M., Luptáková, J., Petrinec, Z. (2017b): Zircon grains in A-type granite and their inclusions as recorder of upper mantle conditions in the Croatian segment of the Late Cretaceous collisional zone between Europe and Adria. CAM-2017 Book of abstracts, 15-18.

Balen D., Schneider P., Massonne H.-J., Opitz J., Petrinec Z. (2017c): From Compression to Extension: Cretaceous A-type Granite as Indicator of Geodynamic Changes in the Adria Part of the European Neotethys Suture Zone. AGU Fall Meeting 2017.

Balen, D., Massonne, H.-J., Petrinec, Z. (2015): Collision-related Early Paleozoic evolution of a crustal fragment from the northern Gondwana margin (Slavonian Mountains, Tisia Mega-Unit, Croatia): Reconstruction of the P–T path, timing and paleotectonic implications. Lithos, 232, 211-228.

Balen, D., Horvath, P., Tomljenović, B., Finger, F., Humer, B., Pamić, J., Arkai, P. (2006): A record of pre-Variscan Barrovian regional metamorphism in the eastern part of the Slavonian Mountains (NE Croatia). – Mineralogy and Petrology, 87, 143-162.

Barić, G. (1999): Geokemijsko laboratorijsko izvješće Slavonsko-srijemska depresija: Geokemijske analize i interpretacija. Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 36 str.

Belak, M. (1995): Stijene vrlo niskog i niskog stupnja metamorfizma u Panonskom bazenu. Neobjavljena studija. FSD IPNP, INA d.d.

Belak, M., Halamić, J., Marchig, V., Tibljaš, D. (1998): Upper Cretaceous-Palaeogene Tholeiitic Basalts of the Southern Margin of the Pannonian Basin: Požeška gora Mt (Croatia).- Geologia Croatica, 51, 163-174.

Benedek, K. (2002): Paleogene igneous activity along the easternmost segment of the Periadriatic-Balaton lineament. Acta Geologica Hungarica, 45, 359-371.

Benedek, K., Pecskay, Z., Szabo, Cs., Josvai, J., Nemeth, T. (2004): Paleogene igneous rocks in Zala basin (Western Hungary): link to the Paleogene magmatic activity along the Periadriatic lineament. Geologica Carpathica, 55, 43-50.

Benko, T. (1985): Geološki izvještaj konturno-razradne bušotine Obod-34 (Ob-34). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 9 str.

Bistričić, A., Šikić, L., Matišin, D., Batušić, V. (1973): Stratigrafski prikaz dubokih istražnih bušotina Osijek-2 i Osijek-2α. Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 2 str.

Borojević-Šoštarić, S., Palinkaš, A.L., Neubauer, F., Cvetković, V., Bernroider, M., Genser, J. (2014): The origin and age of the metamorphic sole from the Rogozna Mts.,Western Vardar Belt: New evidence for the one-ocean model for the Balkan ophiolites. Lithos 192-195, 39-55.

Brajković, D., Mesić, I., Slavković, R., Krizmanić, K., Hernitz-Kučenjak, M., Mikša, G., Simat, S. (2012): Završno izvješće bušotine Đeletovci-1 Zapad (Đt-1Z): petrografska i biostratigrafska interpretacija. Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 44 str.

Brkić, M., Galović, I., Buzaljko, R. (1989): Osnovna geološka karta SFRJ: List Vinkovci 1:100 000. Savezni geološki zavod, Beograd.

Buddington, A.F., Lindsley, D.H: (1964): Iron-Titanium Oxide Minerals and Synthetic Equivalents. Journal of Petrology, 5, 310–357.

Cesar, J. (1985): Geološki izvještaj proizvodne bušotine Đeletovci-14 (Đt-14). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 29 str.

Chapell, B.W., White, A.J.R. (1974): Two contrasting granite types. Pacific Geology, 8, 173-174.

Collins, W.J., Beams, S.D., White, A.J.R., Chappell, B.W. (1982): Nature and Origin of A-type Granites with Particular Reference to Southeastern Australia. Contributions to Mineralogy and Petrology 80, 189-200.

Csontos, L. (1995): Tertiary tectonic evolution of the Intra-Carpathian area: a review. – Acta Vulcanologica 7 (2) 1-13.

Curi, V. (1995): Naftno polje Obod-Lacići: elaborat o rezervama ugljikovodika. Ležišta: Lacići-1, Lacići-1a; Lacići-2a; Lacići-2b; C2 (Stanje 31.12.1994. god.). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 103 str.

Curi, V., Loti, D., Krznarić, B. (1990): Naftno polje Obod-Lacići: elaborat o rezervama nafte (Stanje 31.12.1988.). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 152 str.

Cvetković, V., Šarić, K., Grubić, A., Cvijić, R., Milošević, A. (2014): The Upper Cretaceous ophiolite of North Kozara – remnants of an anomalous mid-ocean ridge segment of the Neotethys? Geologica Carpathica, 65, 117—130.

Cvetković, V., Poli, G., Christofides, G., Koroneos, A., Pecskay, Z., Resimić-Šarić, K. & Erić, V. (2007) The Miocene granitoid rocks of Mt. Bukulja (central Serbia): evidence for Pannonian extension-related granitoid magmatism in the northern Dinarides. European Journal of Mineralogy 19, 513–532.

Čičulić-Trifunović, M., Galović, I. (1984): Osnovna geološka karta SFRJ: List Bačka Palanka 1:100 000. Savezni geološki zavod, Beograd.

Deer, W. A., Howie, R. A., and Zussman, J. (1962) Rock forming Minerals, Vol. 3: Sheet Silicates: Wiley, New York, 270 str.

Dall'Agnol, R., Oliveira, D.C. (2007): Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: Implications for classification and petrogenesis of A-type granites. Lithos, 93, 215-233.

Dall'Agnol, R., Ramö, O.T., de Magalhães, M.S., Buenano Macambira, M.J. (1999a): Petrology of the anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian Craton: implication for the genesis of Proterozoic A-type granites. Lithos 46, 431-462.

Dall'Agnol, R., Scaillet, B., Pichavant M. (1999b): An Experimental Study of a Lower Proterozoic A-type Granite from the Eastern Amazonian Craton, Brazil. Journal of Petrology, 40, 11, 1673-1698.

Eby, G.N. (1992): Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. Geology, 20, 641-644.

Eby, G.N. (1990): The A-type granitoids: A review of their occurence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. Lithos, 26, 115-134.

Fararik, B. (1985): Geološki izvještaj za proizvodnu bušotinu Đeletovci-34 (Đt-34). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 24 str.

Fararik, B., Kraljević, M. (1989): Operativni geološki dijagram bušotine Đeletovci-48 (Đt-48). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d.

Filipović, N., Dadić, J. (1997a): Naftno-plinsko polje Privlaka: elaborat o rezervama ugljikovodika u ležištima „Privlaka“, „a“ i „A1“, stanje 31.12.1996. Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 138 str.

Filipović, N., Dadić, J. (1997b): Naftno-plinsko polje Đeletovci: elaborat o rezervama ugljikovodika u ležištima „Privlaka“, „a“ i „A1“, stanje 31.12.1996. Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 116 str.

Fodor, L., Gerdes, A., Dunkl, I., Koroknai, B., Pécskay, Z., Trajanova, M., Horváth, P., Vrabec, M., Jelen, B., Balogh, K., Frisch, W. (2008): Miocene emplacement and rapid cooling of the Pohorje pluton at the Alpne-Pannonian-Dinaridic junction, Slovenia. Swiss Journal of Geosciences. DOI 10.1007/s00015-008-1286-9

Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, WJ., Arculus, R.J., Ellis, D.J, Frost, C.D., (2001): A geochemical classification for granitic rocks. Journal of Petrology 42, 2033–2048.

Frost, T.P, Mahood, G.A.(1987): Field, chemical, and physical constraints on mafic-felsic magma interaction in the Lamarck Granodiorite, Sierra Nevada, California. Geological Society of America Bulletin 99, 272-291.

Giere, R, Sorensen, S.S. (2004): Allanite and other REE-Rich Epidote-Group Minerals. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 56, 431-493.

Grebennikov, A.V. (2014): A-type granites and related rocks: petrogenesis and classification. Russian Geology and Geophysics, 55, 1074-1086.

Hammastrom, J.M., Zen, E. (1986): Aluminium in hornblende: An empirical igneous geobarometer. American Mineralogist, 71, 1297-1313.

Hanson, G.N. (1978): The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. Earth and Planetary Science Letters 38, 26-43.

Harris, N.W.B., Pearce, J.A., Tindle, A.G. (1986): Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward, M.P., Ries A.A.: Collision Tectonics. Special Publication of the Geological Society London, 19, 67-81.

Hernitz, Z. (1983): Dubinski strukturno-tektonski odnosi u području istočne Slavonije. . – Doktorska disertacija. Izdavač: Nafta, Zagreb, 221 str.

Hollister, L.S., Grissom, G.C., Peters, E.K.M Stowell, H.H., Sisson, V.B. (1987): Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. American Mineralogist, 72, 231-239.

Horvat, M. (2004): Geochemistry and petrology of granitoids of Papuk and Psunj Mts. (Slavonia, Croatia).– Neobjavljena doktorska disertacija, University of Budapest, (133+108) p.

Horvat, M. Klötzli, U., Jamičić, D., Buda, G., Klötzli, E., Hauzenberger, C. (2018): Geochronology of granitoids from Psunj and Papuk Mts., Croatia. Geochronometria, 45, 198-210.

Horvat, M., Buda, G. (2004): Geochemistry and petrology of some granitoids Papuk and Psunj Slavonian Mountains (Croatia). Acta Mineralogica-Petrographica, 45, 93-100.

Husnjak, J. (1984): Geološki izvještaj za proizvodnu bušotinu Đeletovci-6 (Đt-6). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 28 str.

Husnjak, J. (1983): Geološki izvještaj za konturno-eksploatacionu bušotinu Đeletovci-5 (Đt-5). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 24 str.

Ivaniček, Z., Vlahović, T. (1986): Stratigrafski prikaz istražne bušotine Županja-3 (Ž-3). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 18 str.

Ilijanić, N. (1973): Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Osijek-2 i 2α. Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 51 str.

Jamičić, D. (1988): Strukturni sklop Slavonskih planina (sjeverni Psunj, Papuk, Krndija). – Neobjavljena Disertacija, Rudarsko-geološko naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 152 p.

Jamičić, D. (1983): Strukturni sklop metamorfnih stijena Krndije i južnih padina Papuka. – Geološki vjesnik, 36, 51-72.

Jamičić, D. (1979): Dvostruko boranje u jednom dijelu metamorfnih stijena Papuka i Krndije. – Geološki vjesnik, 31, 355-358.

Janoušek, V., Farrow, C. M., Erban, V. (2006): Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). Journal of Petrology 47, 1255-1259.

Ji, W.Q., Malusà, M.G., Tiepolo, M., Langone, A., Zhao, L., Wu, F.Y. (2019): Synchronous Periadriatic magmatism in the Western and Central Alps in the absence of slab breakoff. Terra Nova 31, 120–128.

Johnson, M.C., Rutherford, M.J. (1989): Experimental calibration od the aluminium-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California). Geology, 17, 837-841.

Johnston, A.D., Wyllie, P.J. (1988): Interaction of granitic and basic magmas: experimental observations on contamination processes at 10 kbar with H2O. Contributions to Mineralogy and Petrology 98, 352-362.

Kadić, M. (1979): Geološki izvještaj duboke istražne bušotine Torjanski Rid-1. Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 30 str.

Kemp, A.I.S., Hawkesworth, C. J. (2003): Granitic Perspectives on the Generation and Secular Evolution of the Continental Crust. Treatise on Geochemistry, Volume 3, 349-410. Editor: Roberta L. Rudnick. Executive Editors: Heinrich D. Holland and Karl K. Turekian. pp. ISBN 0-08-043751-6. Elsevier, 659 str.

Koroneos, A., Poli, G. , Cvetković, V. , Christofides, G., Krstić, D., Z. Pécskay (2010): Petrogenetic and tectonic inferences from the study of the Mt Cer pluton (West Serbia). Geological Magazine 148, 89-111.

Kovacs, I., Csontos L., Szabo, C., Bali, E., Falus, G., Benedek, K., Zajacz, Z. (2007) Paleogene–early Miocene igneous rocks and geodynamicsof the Alpine–Capathian–Pannonian–Dinaric region: an integrated approach. U: Beccaluva, L., Bianchini, G., Wilson,

M. (ur) Cenozoic Volcanism in the Mediterranean Area, Geological Society of America Special Paper 418, 93–112.

Kunštek, Z. (1985): Geološki izvještaj proizvodne bušotine Đeletovci-11 (Đt-11). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 48 str.

Leake, B.E., Woolley, A.R, Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichiev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W., Youzhi, G. (1997): Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. Canadian Mineralogist, 35, 219-246.

Loiselle, M.C., Wones, D.R. (1979): Characteristics and origin of anorogenic granites. Geological Society of America Abstract.Programs, 11, 468.

Maljak, Z. (1964): Mikroskopsko-petrografske analize uzoraka jezgri Valpovo-1. Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 3 str.

Marci, V. (1965). Petrografija zapadnog dijela Psunja (Petrography of the western part of Psunj Mountain). Acta geologica IV, Prirodoslovna istraživanja, knjiga 34, 316–322.

Matišin, D., Maljak, Z., Terezija, V., Perković, A. (1979): Stratigrafski prikaz duboke istražne bušotine Torjanski Rid-1. Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 5 str.

Matišin, D., Maljak, Z., Vlahović, T., Šikić, L., Perković, A. (1978): Stratigrafski prikaz duboke istražne bušotine Lacići-1. Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 11 str.

Matišin, D., Maljak, Z., Kalac, K., Šikić, L. (1977): Stratigrafski prikaz duboke istražne bušotine Tovarnik-2. Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 7 str.

McDonough, W.F., Sun, S.S. (1995): The composition of the Earth. Chemical Geology 120, 223–253.

Miller, C.F., Stoddard, E.F., Bradfish, L.J., Dollase, W.A. (1981): Composition of plutonic muscovite: genetic implications. Canadian Mineralogist, 19 25-34.

Murphy, J.B. (2013): Appinite suites: A record of the role of water in the genesis, transport, empacement and crystallization of magma. Earth-Science Reviews 119, 35-59.

Mutch, E. J. F., Blundy, J. D., Tattitch, B. C., Cooper, F. J., Brooker, R. A. (2016):An experimental study of amphibole stability in low pressure granitic magmas and a revised Al in hornblende geobarometer Contributions to Mineralogy and Petrology, 171:85

Nachit, H., Razafimahefa, N., Stussi, J.M., Carron, J.P., 1985. Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoïdes. Comptes Rendus l'Academie Sci. Paris 301, 813-818.

Nakamura, N. (1974): Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na, and K in carbonaceous and ordinary chondrites.-Geochimica et Cosmochimica Acta,38, 757-775.

Najdenovski, J., Hernitz, Z. & Dvornik, LJ. (1995): Granitno-metamorfni kompleksi i naftoplinonosnost savsko-dravskog područja (sjeverna Hrvatska). – Zbornik radova, 1. Hrvatski geološki kongres, Opatija.

Pamić, J., Jurković, I. (2002): Paleozoic tectonostratigraphic units of the northwest and central Dinarides and the adjoining South Tisia. – International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau), 91, 538–554.

Pamić, J., Balen, D., Herak, M. (2002): Origin and geodynamic evolution of Late Paleogene magmatic associations along the Periadriatic–Sava–Vardar magmatic belt. - Geodinamica Acta 15 209–23.

Pamić, J., Balen, D. (2001): Tertiary magmatism of the Dinarides and the adjoining South Pannonian Basin.– Acta Vulcanologica, 13/1–2, 9–24, Pisa–Roma.

Pamić, J., Gušić, I. & Jelaska, V. (2000a): Basic geological features of the Dinarides and South Tisia.– U: Pamić, J., Tomljenović, B. (ur.): Outline of the geology of the Dinarides and South Tisia. 9–18, Zagreb.– PANCARDI 2000, 153, Dubrovnik.

Pamić, J., Belak, M., Bullen, T.D., Lanphere, M.A., McKee, E.H. (2000b): Geochemistry and geodynamics of a Late Cretaceous bimodal volcanic association from the southern part of the Pannonian Basin in Slavonija (Northern Croatia).- Mineralogy and Petrology 68 271-296.

Pamić, J. (2002): The Sava–Vardar Zone of the Dinarides and Hellenides versus the Vardar Ocean.– Eclogae Geologicae Helvetiae, 95, 99–113.

Pamić, J. (1999): Kristalina podloga južnih dijelova Panonskog bazena – temeljena na površinskim i bušotinskim podacima. – Nafta, 50 (9) 291-310.

Pamić, J. (1993): Late Cretaceous volcanic rocks from some oil-wells in the Drava Depression and adjacent mountains of the southern part of the Pannonian Basin (North Croatia).– Nafta, 44, 203–210, Zagreb.

Pamić, J. (1987): Mladoalpinski alkalijsko-feldspatski graniti (aljaskiti) Požeške gore u Slavoniji. – Geologija 30, 183-205.

Pamić, J. (1986): Metamorfiti temeljnog gorja Panonskog bazena u savsko-dravskom međurječju na osnovi podataka naftnih bušotina. – XI. kongres geologa Jugoslavije, Tara 2, 259-271.

Pamić, J., Lanphere, M., Belak, M. (1996): Hercynian I-type and S-type granitoids from the Slavonian mountains (southern Pannonian Basin, northern Croatia). – Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen, 171, 155 – 186.

Pamić, J. & Pécskay, Z. (1994): Geochronology of Upper Cretaceous and Tertiary igneous rocks from the Slavonija–Srijem Depression (Southern Pannonian Basin) and their basic petrological features.– Nafta, 45, 331–339, Zagreb.

Pamić, J., Lanphere, M. (1991): Hercinske granitne i metamorfne stijene Papuka, Psunja, Krndije i okolne podloge Panonskog bazena u Slavoniji (sjeverna Hrvatska, Jugoslavija). - Geologija 34, 81-253.

Pamić, J., Injuk, J., Jakšić, M. (1988/1989): Prilog geokemijskom poznavanju gornjokredne bimodalne vulkanske asocijacije Požeške gore u Slavoniji (sjeverna Hrvatska, Jugoslavija). – Geologija, 31, 415-435.

Pamić, J. & Injuk, J. (1988): Alpinske granitoidne stijene planine Prosare u sjevernoj Bosni. – Zemaljski muzej Bosne i Hercegovine, Zbornik referata naučnog skupa „Minerali, stijene, izumrli i živi svijet BiH“, Sarajevo.

Pamić, J., Lanphere, M., Mckee, E. (1988): Radiometric ages of metamorphic and associated igneous rocks of the Slavonian Mountains in the southern part of the Pannonian Basin,Yugoslavia.- Acta Geologica 18 13–39.

Pandžić, J. (1986): Pretercijar jugozapadnog dijela Panonskog bazena. – INA-Naftaplin, Zagreb 183 str.

Papoutsa, A., Pe-Piper, G., Piper, D.J.W. (2015): Systematic mineralogical diversity in A-type granitic intrusions: Control of magmatic source and geological processes. GSA Bulletin, doi:10.1130/B31245

Pavelić, D. (2001): Tectonostratigraphic model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System. –Basin Research 13, 359-376.

Pavelić, D., Kovačić, M. (2018): Sedimentology and stratigraphy of the Neogene rift-type North Croatian Basin (Pannonian Basin System, Croatia): A review. Marine and Petroleum Geology 91, 455–469.

Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G., (1984): Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks.- Journal of Petrology, 25, 956-983

Peccerillo, A., Taylor, S.R. (1976) Geochemistry of Eocene Calc Alkaline Volcanic Rocks from Kastamonu Area, Northern Turkey. Contribution to Mineralogy and Petrology, 58, 63-81.

Perugini, D., Poli, G., Rocchi, S. (2005): Development of viscous fingering between mafic and felsic magmas: evidence from the Terra Nova Intrusive Complex (Antarctica). Mineralogy and Petrology 83, 151-166.

Pitcher, W.S. (1997): The Nature and Origin of Granite. Second edition. Chapman&Hall, London. 387 str.

Prelević, D., Wehrheim, S., Reutter, M., Romer, R.L., Boev, B., Bozovic, M., van den Bogaard, P., Cvetkovic, V., Schmid, S.M. (2017): The Late Cretaceous Klepa basalts in Macedonia (FYROM)— Constraints on the final stage of Tethys closure in the Balkans. – Terra Nova 29, 145–153.

Raškaj, N., Ivaniček, Z., Brodarić, A. (1984): Stratigrafski prikaz istražne bušotine Marjanci-4 (Mar-4). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 23 str.

Rosenberg, C.L. (2004): Shear zones and magma ascent: A model based on a review of the Tertiary magmatism in the Alps. Tectonics 23:TC3002. doi:10.1029/2003TC001526

Rudnick, R.L., Gao, S. 2003. Composition of the continental crust. Rudnick, R.L. (Ur) Treatise on Geochemistry. Elsevier, Amsterdam; 1–64.

Saccani E., 2015. A new method of discriminating different types of post-Archean ophiolitic basalts and their tectonic significance using Th-Nb and Ce-Dy-Yb systematics. Geosciences Frontiers., 6: 481-501. http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2014.03.006.

Sarjoughian, F., Kananian, A., Hascke, M., Ahmadian, J. (2015): Transition from I-type to A-type magmatism in the Sanandaj–Sirjan Zone, NW Iran: an extensional intra-continental arc. Geological journal, DOI: 10.1002/gj.2637

Schefer, S., Cvetković, V., Fügenschuh, B., Kounov, A., Ovtcharova, M., Schaltegger, U., Schmid, S.M. (2011): Cenozoic granitoids in the Dinarides of southern Serbia: age of intrusion, isotope geochemistry, exhumation history and significance for the geodynamic evolution of the Balkan Peninsula. International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau), 100, 1181–1206.

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 Jorunal of Geosciences 101 139–183.

Schmidt, M.W. (1992): Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: An experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. Contributions to Mineralogy and Petrology, 111, 266-268.

Schneider, P. (2017): Geneza granita Požeške gore na temelju petrografije te morfoloških, kemijskih i spektroskopskih značajki cirkona. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet. 93 str.

Seghedi, I. & Downes, H. (2011): Geochemistry and tectonic development of Cenozoic magmatism in the Carpathian Pannonian region. –Gondwana Research 20 (4), 655-672.

Shand, S.J. (1927): Eruptive rocks. Murby, London, 360 str.

Sokolović, B., Vlahović, T. (1989): Stratigrafski prikaz istražne bušotine Lacići-1 Sjever (Lac-1S). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 13 str.

Sokolović, B., Brodarić, A. (1983a): Stratigrafski prikaz istražne bušotine Privlaka-1 (Pri-1). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 13 str.

Sokolović, B., Brodarić, A. (1983b): Stratigrafski prikaz istražne bušotine Privlaka-2 (Pri-2). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 9 str.

Sokolović, B., Brodarić, A. (1983c): Stratigrafski prikaz istražne bušotine Đeletovci-2 (Đt-2). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 23 str.

Sokolović, B., Vlahović, T. (1983a): Stratigrafski prikaz istražne bušotine Đeletovci-3 (Đt-3). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 10 str.

Sokolović, B., Vlahović, T. (1983b): Stratigrafski prikaz istražne bušotine Đeletovci-4 (Đt-4). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 11 str.

Sokolović, B., Vlahović, T. (1982): Stratigrafski prikaz istražne bušotine Đeletovci-1 (Đt-1). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 12 str.

Stromer, J.C.Jr. (1983): The effects of recalculation on estimates of temperature and oxygen fugacity from analyses of multicomponent iron-titanium oxides. American Mineralogist, 68 568-594.

Sun, W.D., Hu, Y.H., Kamenetsky, V.S., Eggins, S.M., Chen, M., Arculus, R.J. (2008): Constancy of Nb/U in the mantle revisited. Geochimica et Cosmochimica Acta 72, 3542–3549.

Sun, S.S., McDonough, W.E. (1989): Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Saunders, A.D., Norry, M.J. (ur). Magmatism in the Ocean Basins, Saunders, Geological Society, London, Special Publications 42; 313–345.

Šparica, M., Pamić, J. (1986): Prilog poznavanju tektonike Požeške gore u Slavoniji. – Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, 424 85-96.

Tadej, J., Veseli, V., Krizmanić, K., Španić, D. (1991): Biostratigrafska, litofacijesna i sedimentološka interpretacija bušotine Obod-34. Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 49 str.

Tartèse, R., Boulvais, P. (2010): Differentiation of peraluminous leucogranites “en route” to the surface. Lithos, 114 353-368.

Taylor, S.R., McLennan, S.M. (1985) The Continental Crust: Its Composition and Evolution, an Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks. Blackwell Science Publisher: Oxford.

Toljić, M., Matenco. L., Stojadinović, U., Wilingshofer, E., Ljubović-Obradović, D. (2018): Understanding fossil fore-arc basins: Inferences from the Cretaceous Adria-Europe convergence in the NE Dinarides. Global and Planetary Change, 171, 167-184

Toljić, M., Matenco, L., Ducea, M.N., Stojadinović, U., Milivojević, J., Đerić, N. (2012): The evolution of a key segment in the Europe–Adria collision: The Fruška Gora of northern Serbia. Global and Planetary Change, 103, 39-62.

Trajanova, M., Pécskay, Z., Itaya, T. (2008): K-Ar geochronology and petrography of the Miocene Pohorje Mountains batholith (Slovenia). Geologica Carpathica, 59, 247-260.

Ustaszewski, K., Kounov, A., Schmid, S. M., Schaltegger, U., Krenn, E., Frank, W., Fügenschuh, B. (2010): Evolution of the Adria-Europe plate boundary in the northern Dinarides: From continent-continent collision to back-arc extension. - Tectonics, 29.

Ustaszewski, K., Schmid, S. M., Lugović, B., Schaltegger, U., Bernoulli, D., Hottinger, L., Kounov, A., Fuegenschuh, B. & Schefer, S. (2009): Late Cretaceous intra-oceanic magmatism in the internal Dinarides (northern Bosnia and Herzegovina): Implications for the collision of the Adriatic and European plates Lithos 108 106 – 125.

Vernon, R.H., (2004): A Practical Guide to Rock Microstructure. Cambridge Univeristy Press, New York, 578 str.

Vernon, R.H., Paterson, S.R. (2008): Mesoscopic structures resulting from crystal accumulation and melt movement in granites. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences, 7, 369-381.

Vlahović, T. (1984a): Mikropaleontološke analize materijala iz isplake proizvodne bušotine Đeletovci-13. Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 26 str.

Vlahović, T. (1984b): Mikropaleontološke analize materijala iz isplake proizvodne bušotine Đeletovci-17. Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 2 str.

Vlahović, T. (1984c): Mikropaleontološke analize materijala iz isplake proizvodne bušotine Đeletovci-19. Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 3 str.

von Blanckenburg, F., H. Kagami, A. Deutsch, F. Oberli, M. Meier, M. Wiedenbeck, S. Barth, H. Fischer (1998), The origin of Alpine plutons along the Periadriatic Lineament. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen., 78, 57 – 68.

Vragović, M., Sokolović, B. (1986): Petrografske analize jezgrovanih intervala i bočnih jezgri bušotine Privlaka-9 (Pri-9). Neobjavljeni izvještaj. FSD IPNP INA d.d., 5 str.

Watson, E.B., Harrison, T.M. (1983): Zircon saturation revitised: Temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. Earth and Planetary Science Letters, 64, 295-304.

Whalen, J.B., Currie, K.L., Chappell, B.W., (1987): A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis.- Contributions to Mineralogy and Petrology, 95, 407-419.

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

Yang, X.M., Lentz, D.R., Guoxiang, C.G., Thorne, K.G. (2008): Geochemical characteristics of gold-related granitoids in southwestern New Brunswick, Canada. Lithos 104, 355–377.

Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M. et al, 2008: Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990., 1971–2000.Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200 str.

Zelić, M., Agostini, S., Marroni, M., Pandolfi, L., Tonarini, S. (2010): Geological and geochemical features of the Kopaonik intrusive complex (Vardar zone, Serbia). Ofioliti, 35, 33-47.

ŽIVOTOPIS

Sanja Šuica rođena je 19. listopada 1986. godine u Metkoviću, gdje je završila osnovnu i srednju školu. Diplomirala je 2010. godine na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, na studiju geologije, smjer geologija mineralnih sirovina i geofizička istraživanja, s temom „Geokemijske i tektonomagmatske karakteristike jastučastih bazalta iz ofiolitnih melanža Dinarida“ pod mentorstvom prof.dr.sc. Boška Lugovića. Poslijediplomski studij geologije upisala je 2012. godine na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Zaposlena je u INA d.d. od 2010. godine, u Službi za geomodeliranje, gdje je radila kao mlađi inženjer geologije. U Istraživanju stijena i fluida radi od 2012. godine, kao vodeći specijalist za petrologiju, gdje je zadužena za mineraloško-petrografske i SEM-EDS analize, a uža specijalnost su joj magmatske i metamorfne stijene.

Sudjelovala je na nekoliko domaćih i međunarodnih skupova iz područja geologije. Članica je Hrvatskog geološkog društva i Znanstvenog savjeta za naftno-plinsko gospodarstvo i energetiku Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti.

Dobitnica je Rektorove nagrade 2009. godine.

Znanstveni rad s međunarodnom recenzijom

Šuica, S., Lugović, B., Kukoč, D. (2018): Tectono-magmatic significance of the pillow basalts from the ophiolitic mélange of the Dinarides, Ofioliti, 43 85-101

Sažetci s međunarodnih skupova

Šuica, S., Woodland, A., Garašić, V. (2019): Petrology and geochemistry of appinite-granodiorite intrusion from the eastern Drava depression (Eastern Croatia). Abstracts Book, 6th Croatian Geological Congress with international participation (eds: Horvat, M., Matoš, B. & Wacha, L.), Croatian Geological Survey - Zagreb, Zagreb, October 9-12, 2019, 194-195.

Šuica, S., Woodland, A., Garašić, V. (2019): Petrographic characteristics of the appinite-granodiorite intrusion, eastern Drava depression (Eastern Croatia). Abstracts Book, 6th Croatian Geological Congress with international participation (eds: Horvat, M., Matoš, B. & Wacha, L.), Croatian Geological Survey - Zagreb, Zagreb, October 9-12, 2019, 195-196.

Šuica, S., Woodland, A., Garašić, V. (2019): Petrology and geochemistry of the A-type granites and related rocks in the Western Srijem area (Eastern Croatia). Abstracts Book, 6th Croatian Geological Congress with international participation (eds: Horvat, M., Matoš, B. & Wacha, L.), Croatian Geological Survey - Zagreb, Zagreb, October 9-12, 2019, 196-197.

Šuica, S., Krizmanić, K., Bigunac, D. (2019): Basin evolution in the eastern part of the Slavonia-Srijem depression (Eastern Croatia). 8th NCSEE Workshop, Abstract volume. 81

Šuica, S. Woodland, A., Garašić, V. (2018): Mineralogy and geochemistry of the A-type granites from the Eastern Croatia. Geologia Balcanica. XXI International Congress of Carpathian Balkan Geological Association. Abstracts. 128-129.

Šuica, S., Woodland, A., Garašić, V. (2017): Petrogenesis and tectonic significance of A-type granites from the Europe-Adria collision zone in Eastern Croatia, Geobremen2017, September, 24-29, Bremen, Germany, Abstracts

Matošević, M., Šuica, S. (2017): Microstructural characteristics of staurolite from mica schist of the Drava depression basement (Croatia). 13th Multinational Congress on Microscopy, September 24-29, 2017, Rovinj, Croatia, Book of Abstracts – 520-521.

Šuica, S., Hernitz-Kučenjak, M., Sabol, N., Matošević, M. & Slavković, R. (2015): The occurrence of phosphate in the Lower Badennian deposits of Čepelovac-1S well in the western part of Drava Depression (Pannonian Basin, Croatia). Knjiga sažetaka 5. Hrvatski geološki kongres – 5th Croatian Geological Congress– Osijek 2015 259-260.

Šuica, S. & Garašić, V. (2015): Preliminary Research Results of Granitoids from the Croatian part of the Pannonian Basin Basement. Knjiga sažetaka 5. Hrvatski geološki kongres – 5th Croatian Geological Congress– Osijek 2015 261-262.

Simat, S. & Lugović, B. (2011): Provenance and archaeological significance of volcanic grinding tools from the prehistoric to Roman site Bribirska Glavica in the north Dalmatia (Croatia). Zbornik sažetaka, IV Savjetovanje geologa Bosne i Hercegovine sa međunarodnim učešćem, 50-51