

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

Marko Kudrna Prašek

Magmatske stijene otoka i podmorja Jadranskog mora: mogući
pokazatelj dezintegracije paleozojskog supekontinenta

Zagreb, 2013.

Ovaj rad izrađen je u Mineraloško-petrografskom zavodu Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod vodstvom prof.dr.sc. Dražena Balena i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2012./ 2013.

Sadržaj rada

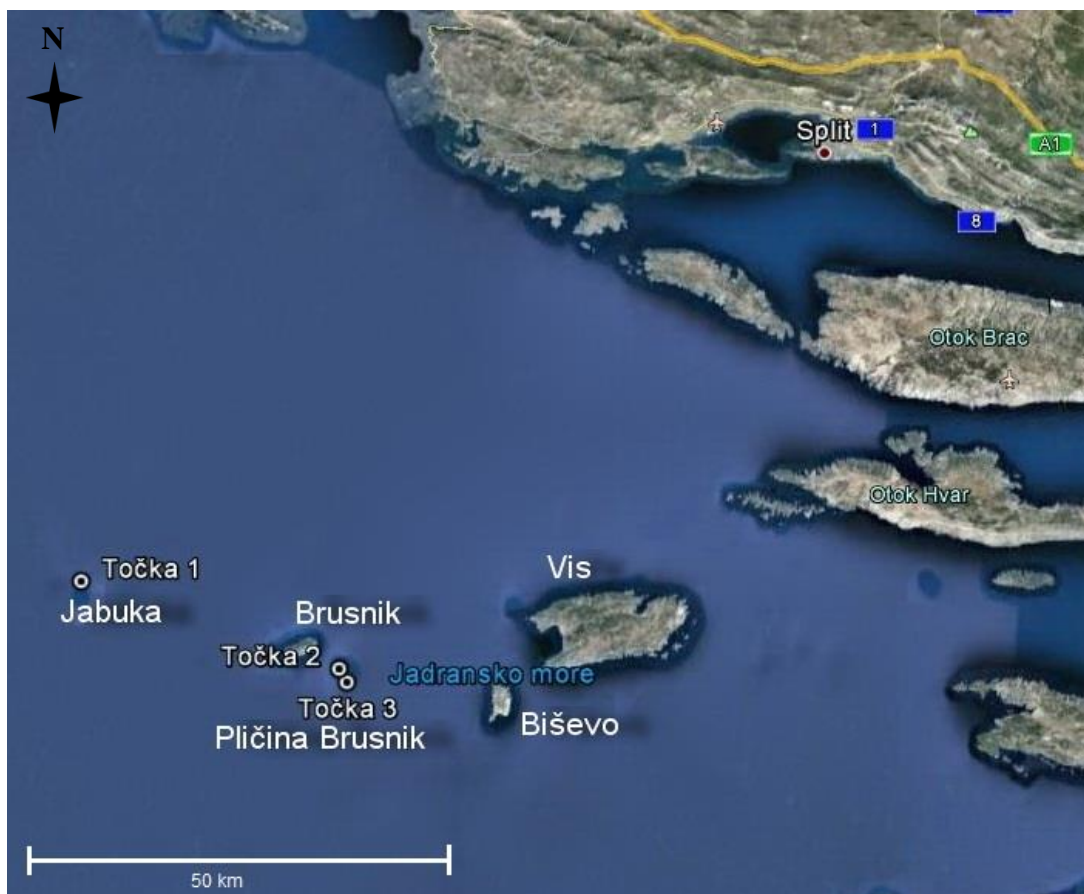
1. Uvod.....	1
1.1 Geografski položaj otoka Jabuka i Brusnik, te Plićine Brusnik.....	1
1.2 Geološki smještaj i geotektonski procesi.....	5
1.3 Pregled dosadašnjih istraživanja.....	6
2. Hipoteza i opći i specifični ciljevi rada.....	8
3. Materijali i metode.....	9
3.1 Laboratorijska priprema uzoraka.....	18
3.2 Analiza makroelemenata i elemenata u tragovima (uključujući i elemente rijetkih zemalja).....	20
4. Rezultati.....	21
4.1 Mikrofiziografska analiza preparata.....	21
4.2 Rezultati cijelostijenskih kemijskih analiza.....	30
5. Rasprava.....	31
5.1 Klasifikacija.....	33
5.2 Geotektonska pripadnost.....	35
5.3 Varijacijski (Harker tip) dijagrami.....	37
5.4 Normalizirani multielementni „spider“ dijagrami.....	40
5.5 Usporedba geokemijskih podataka ovog istraživanja, prijašnjih istraživanja i odabranih CAMP lokaliteta.....	46
6. Zaključci.....	48
7. Popis literature.....	51
8. Sažetak.....	55
9. Summary.....	56
10. Zahvale.....	57
11. Životopis.....	58

1. Uvod

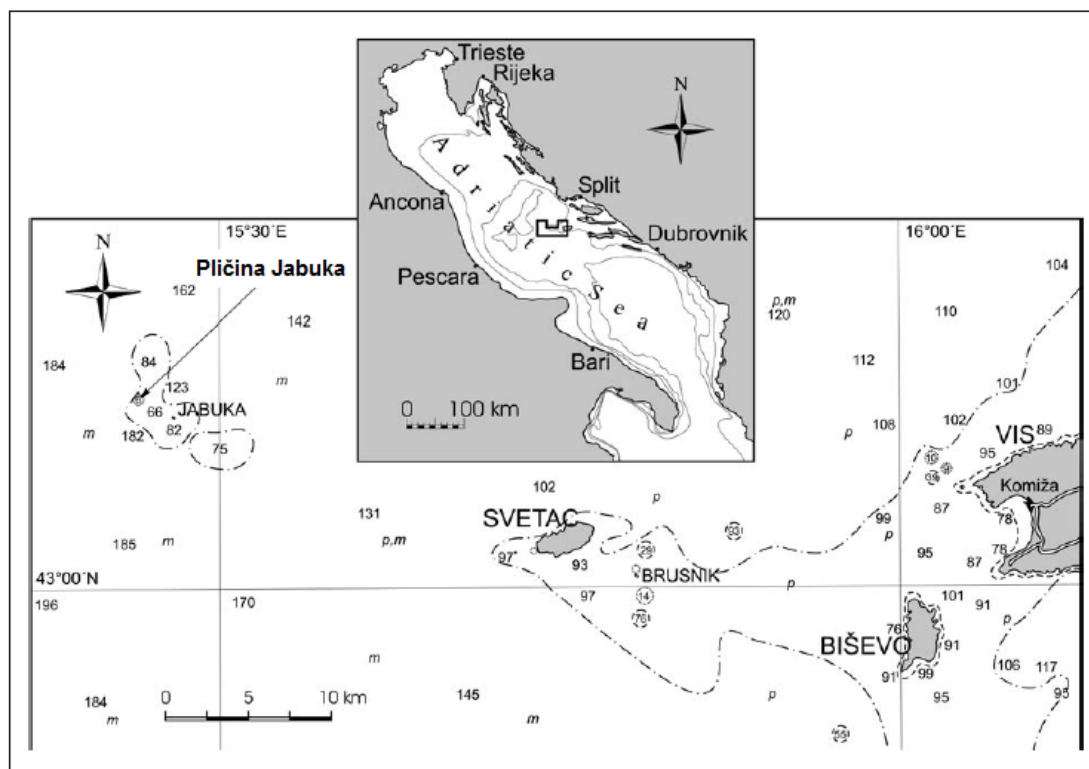
Otoci u Jadranskom moru su najvećim dijelom izgrađeni od karbonatnih i siliciklastičnih sedimenata, te su pojave otoka s izdancima magmatskih stijena ili pak onih u potpunosti izgrađenih od magmatskih stijena rijetke. Magmaške stijene u potpunosti izgrađuju samo otoke Jabuku i Brusnik, te se pojavljuju na otoku Visu u blizini Komiže i pličinama u blizini Jabuke. Ronilački klub Pongo (Zagreb) obišao je 2011. godine otoke Jabuku, Brusnik, te do tada nepoznatu i neistraženu lokaciju Pličina Brusnik. Tijekom ronjenja prikupljeni su uzorci stijena s različitih dubina, pogodni za petrografsku i geokemijsku analizu. Jabuka je izgrađena od stijena gabroidnog sastava i leukokratskih žičnih tijela (dajkova). Brusnik se sastoji konglomerata sa gabroidnim oblucima promjera do 50 centimetara, gabroidnih stijena, dolerita i leukokratskih dajkova (Tučan i Tajder, 1950; Raffaelli, 1968; Golub i Vragović, 1975; Palinkaš et al, 2010). Plitki podmorski dio (pličina) oko otoka Jabuke je također izgrađen od gabroidnih stijena (Juračić et al., 2004).

1.1 Geografski položaj otoka Jabuka, Brusnik i Pličine Brusnik.

Otoci Jabuka i Brusnik, kao i Pličina Brusnik, nalaze se u centralnom dijelu Jadranskog mora, između zapadne obale Hrvatske i istočne obale Italije, odnosno gradova Splita i Pescare (Slika 1a i 1b). Otok Jabuka (Slika 2a i 2b) nalazi se 50-ak kilometara sjeverozapadno od Komiže na otoku Visu ($42^{\circ} 59' 48''$ N i $15^{\circ} 17' 24''$ E). Visok je 96 metara i površine je oko $0,0115 \text{ km}^2$. Otok Brusnik (Slika 3a i 3b) nalazi se jugozapadno od otoka Svetac, 24 kilometra istočno od otoka Visa ($43^{\circ}00'21''$ N, $15^{\circ}48'04''$ E). Dugačak je oko 200 metara, širok 150 metara, a visok 23 metra. Pličina Brusnik (Slika 4a i 4b) nalazi se 1.6 kilometra jugoistočno od otoka Brusnika ($N42^{\circ} 59.612'$ $E15^{\circ} 48.605'$). Vrh pličine je 14 metara ispod razine mora, dok se plato nalazi na 25-35 metara dubine i prostire na približno 100 metara dužine i 50 metara širine.



Slika 1a. Geografski prikaz magmatskih otoka Jabuka i Brusnik, te Pličine Brusnik u Jadranskom moru, sa označenim lokalitetima uzorkovanja (Izvor: Google maps, 2011).



Slika 1b. Geografski prikaz Jabuke i Brusnika, otoka izgrađenih od magmatskih stijena, u Jadranskom moru. Prema nautičkoj karti 300 – 33 Pescara-Split (HHI, 1980) (preuzeto iz JURAČIĆ et al., 2004).



Slika 2a. Otok Jabuka izgrađen od bazičnih magmatskih stijena, pogled s istočne strane, visina otoka ~ 100 m, širina ~ 200 m.



Slika 2b. Mjesto uzorkovanja na lokalitetu Jabuka, dubina 10 m, bazične stijene prekrivene vapnenačkim obraštajem i rijetkim bentičkim organizmima. Njihov broj naglo raste ispod 30 m dubine, zbog vrlo jakog utjecaja valova, tako da su stijene ispod te dubine potpuno prekrivene raznim bentičkim organizmima.



Slika 3a. Otok Brusnik, pogled s sjeverozapadne strane, visina ~ 30 m, širina ~ 230 m.



Slika 3b. Mjesto uzorkovanja na lokalitetu Brusnik, jedini izdanak iznad razine mora.



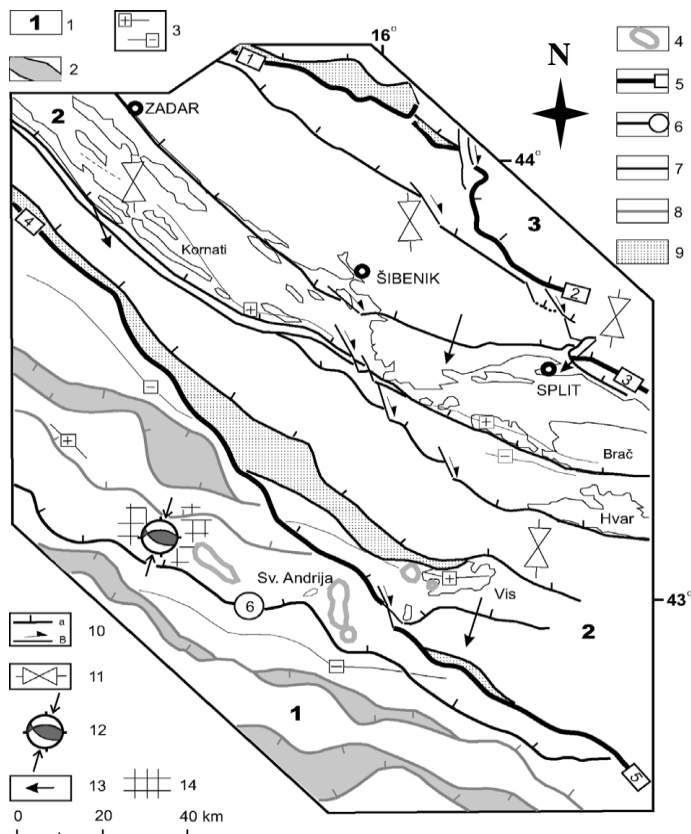
Slika 4a. Podmorski prizori s lokaliteta Pličina Brusnik, uzdignuti blok koji je i ujedno najblići dio (14 m)



Slika 4b. Detalji mjesta uzorkovanja na lokalitetu Pličina Brusnik blokovi bazičnih stijena 20 do 50 cm dužine na dubini od 25 m. Dominantno obrašteni bentičkim organizmima zbog slabijeg djelovanja valova.

1.2 Geološki smještaj i geotektonski procesi

Jabuka, Brusnik i Vis nalaze se unutar Jadranske karbonatne platforme (ADCP– *Adriatic Dinaridic Carbonate Platform*). Geotektonski oni su dio Jadranske mikroploče, koja je prostorno odjeljivala Afričku i Euroazijsku (Europsku) ploču tijekom konvergencije u mezozoiku. Jadranska mikroploča podijeljena je na dva dijela, a granica između njih okomita je na hrvatsko-talijansku obalu, te prolazi preko područja u blizini Jabuke koje je tektonski vrlo aktivno (Herak et al., 2005). Također, otoci Jabuka, Brusnik i Vis leže na sustavu rasjeda Jabuka-Andrija (Slika 5, Točka 4.). Prema tumačenju Schmid i dr. (2008) tijekom trijasa Jadranska mikroploča bila je pod utjecajem ekstenzijskih procesa te je stvoren riftni sustav koji je proizvodio karakteristične magmatske stijene. Vulkanske i piroklastične stijene asocirane su s kasnim permom do norikom dok su plutonske stijene, koje su intrudirale u sedimente, radiometrijski datirane između 262 (kasni perm) i 212 (trijas - norik) milijuna godina (Ma). Stijene Jabuke i Brusnika povezane su s upravo tim riftnim magmatskim stijenama (Pamić i Balen, 2005).



Slika 5. Geološko strukturalni okvir: 1— regionalne strukturne jedinice: Jadranska mikroploča (1), prijelazna zona (2), Dinaridi (3); 2—uzdignute strukture unutar Jadranske mikroploče ograničene reverznom rasjedima različitog pružanja; 3—osi minimalne i maksimalne vrijednosti Bouguer anomalije; 4— eruptivne intruzije; 5—granični regionalnih strukturnih jedinica: Velebit rasjed (1), Knin-Muč rasjed (2), Mosor-Biokovo rasjed (3), Susak-Vis rasjed (4), Vis-južno Jadranski rasjed (5); 6—Jabuka-Andrija rasjed (6); 7—granični rasjedi strukturnih jedinica unutar prijelazne zone; 8—najvažniji rasjedi unutar Jadranske mikroploče; 9—rasjedne zone; 10—a: reverzni rasjedi, b: desni rasjedi; 11— smjer maksimalnog kompresijskog stresa; 12—P-osi i rasjedni mehanizmi u žarištu glavnog udara Jabučnog potresa; 13— prevladavajući smjer pomaka struktura u blizini; 14—područje epicentra potresa u blizini Jabuke. Preuzeto iz Herak et al. (2005).

1.3 Pregled dosadašnjih istraživanja

Prvi znanstvenik koji je istraživao otoke Jabuku i Brusnik bio je Jiruš, profesor botanike na zagrebačkom sveučilištu 1881. i 1882. godine. Na temelju makroskopskih opažanja pretpostavio je da su otoci izgrađeni od eruptiva. Uzorke je poslao na ispitivanja u Beč, gdje su stijene s Jabuke određene kao augitski diorit, a stijene s Brusnika kao dijabaz (Tućan, 1953; Kišpatić, 1892). Hauer (1882) određuje stijene sa Brusnika kao dijabaz, te prema pronalasku ljušturice recentnog školjkaša *Spondylus gaedaropus* u cementu konglomerata pretpostavlja da je otok u bliskoj geološkoj prošlosti bio potopljen (citirano prema Kišpatić, 1892).

Kišpatić (1892) određuje mineralni sastav stijena Jabuke i Brusnika. Odredio je biotit, kvarc, amfibol, apatit, hematit, magnetit, plagioklas, piroksen, klorit, te stijene određuje kao dijabaz. Starost tih stijena je odredio kao trijasku (Kišpatić, 1892). Cumin (1921) stijene s Jabuke također određuje kao dijabaze s ofitskom strukturom. Prve podatke o kemijskom sastavu stijena dala je Pelleri (1942), te određuje stijene kao kvarcni diorit (citirano prema Golub i Vragović, 1975). Tućan i Tajder 1950 godine istražuju magmatske stijene Jabuke, Brusnika i Visa. Potvrđuju rezultate Kišpatića i zaključuju da su stijene Brusnika manje izmijenjene od stijena Jabuke, te da im je mineralni sastav jednak sastavu koji je odredio Kišpatić (Tućan, 1953). U sklopu tumača OGK SFRJ 1:100 000 lista Jabuka Raffaelli (1968) određuje stijene Jabuke kao kvarcni dijabaz i augitski albitit, te pretpostavlja njihovu gornjojursku starost stijena.

Golub i Vragović (1975) određuju stijene Brusnika i Jabuke kao spilitizirani augitski dijabaz, a kemijskim analizama utvrđuju gabrodioritski tip magme. Tvrde da su otoci nastali intruzijom gabrodioritne magme u marinske sedimente. Analizom mikroelemenata spilitiziranih eruptivnih stijena s Brusnika i Jabuke Vrkljan (1979) zaključuje da je sadržaj mikroelemenata posljedica različitog intenziteta spilitizacije.

Prve podatke o izotopnoj starosti stijena Jabuke dali su Balogh i dr. (1994) koje su utvrđene K-Ar metodom. Odredili su trijasku (norik – ret) starost od 205.2 ± 6.9 milijuna godina, na cijelostijenskom uzorku (whole rock). Osim toga, analizirali su glavne elemente i elemente u tragovima, kemijski sastav pojedinih minerala te proveli mikrofiziografska istraživanja. Analizirane stijene određuju kao srednjezrnati gabro, te određuju da je roditeljska magma subalkalnog porijekla i isključuju MORB-tip magme. Pretpostavljaju da su

magmatske stijene nastale tijekom otvaranja zapadnog Tethysa na rubnom dijelu Afričke ploče. Godine 1998. Marta Crnjaković publicira katalog "Vulcanoes on Adriatic Islands" u kojem opisuje nastanak magmatskih otoka u Jadranskom moru. Garašić i dr. (2002) potvrđuju podatke Balogh i dr. (1994), te dodaju da su istraživane stijene vrlo slične drugim trijaskim magmatskim stijenama Alpa, Dinarida i Helenida koje su nastale u ekstenzijskom okolišu.

Osim stijena koje izgrađuju Jabuku i Pličinu Jabuka, Pešut (2002) istražuje materijal taložen oko njih. Sediment je prema veličini zrna klasificiran kao šljunkoviti pijesak. Udio karbonata u analiziranom sedimentu je vrlo visok (za Jabuku tež. 84.2 tež. %, 84.9 tež. % i 87.7 tež. %, te za Pličinu Jabuka 93.8 tež. %), a utvrđeno je da je u potpunosti riječ o karbonatima biogenog podrijetla, te da nema dodatnog donosa terigenog karbonata. Nekarbonatna frakcija pijesaka sastoji se od plagioklasa, piroksena, amfibola, serpentina, klorita, muskovita i prehnita. Udio nekarbonatne komponente je veći na Jabuci nego na Pličini Jabuka jer se stijene otoka Jabuka zbog svog položaja, tj. izloženosti na površini (dijelom pod vodom, a dijelom izvan nje) jače troši. U sklopu tih sedimenata nađeni su također fragmenti ljuštura puževa i školjkaša, foraminifere, mahovnjaci, bodlje ježinaca, te vapnenački obraštaj koji je usitnjen padao na dno .

Juračić i dr. (2004), istražuju podmorski lokalitet (Pličina Jabuka) sa stijenama sličnim magmatskim stijenama Brusnika i Jabuke. Utvrđuju da taj lokalitet, zajedno s otocima Brusnikom i Jabukom te lokalitetom u Komiži na otoku Visu, markiraju liniju ili sustav rasjeda koji predodređuju pojavu magmatskih stijena Jabuke, Visa i Brusnika. Pamić i Balen (2005), povezuju ove stijene s riftovanjem započetim u permu, a završenim u noriku.

De Min i dr. (2009) provode geokemijska istraživanja i određuju $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ starosti stijena Brusnika i Pličine Jabuka. Dobivaju starosti od 227 Ma (karnik) za stijene Pličine Jabuka i 218 Ma (karnik) za Brusnik. Geokemijski podaci koje su dobili ukazuju na veliku kontaminaciju magme kontinentalnom korom. Korištenjem navedenih podataka povezuju istraživane stijene sa tektonskim kretanjima koja prethode raspadu Pangee.

U sklopu diplomskog rada Razum (2009) detaljno opisuje petrološke i geokemijske značajke stijena Jabuke i Brusnika. Zaključuje da razlike stijena Jabuke i Brusnika nisu velike, te dodaje da su prošle kroz vrlo slične geokemijske procese. Također zaključuje da su otoci nastali iz istog magmatskog ognjišta.

Palinkaš i dr. (2010) istražuju stijene Jabuke, Brusnika i Visa. Utvrđuju da se Jabuka sastoji od gabra i leukokratskih dajkova. Također utvrđuju je Brusnik građen od konglomerata s valuticama gabra povezanih recentnim kalcitnim vezivom, te dijelom od gabroidnih stijena i dajkova kalijskih feldspata. Magmatske stijene u blizini Komiže na Visu opisuju kao augitne andezite, spilitne-keratofire, spilitite, vulkanske aglomerate, lapile (*lapilistones*), lapili tufove i tufove. Također provode $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ analize biotita i kalijskih feldspata Jabuke te dobivaju starosti od 275 Ma (srednji perm) na biotitu, 269 Ma (srednji perm) na K-feldspatu, 254 Ma (kasni perm) na leukokratskim dajkovima. Analizom biotita s Brusnika dobivaju starosti od 265 Ma (srednji perm), a analizom K-feldspata 214 Ma (trijas – norik). Analiza K-feldspata s Visa pokazuje starost od 276 Ma (srednji perm). Zaključuju da takve vrijednosti ukazuju na permsku starost istraživanih stijena, a razlike među njima se objašnjavaju kao gubitak argona u nekim kasnijim termalnim događajima. Brkić i dr. (2011) provode geomagnetska istraživanja Jabuke i detektiraju veliku negativnu geomagnetsku anomaliju.

2. Hipoteza i opći i specifični ciljevi rada

U ovom radu biti će prikazani rezultati petrografskih i geokemijskih analiza izvršenih na uzorcima prikupljenim tijekom ronilačke ekspedicije 2011. godine, te će biti povezani s rezultatima prijašnjih istraživanja u svrhu što bolje karakterizacije još uvijek nedovoljno poznatih magmatskih stijena istraživanog područja. Položaj magmatskih stijena središnjeg dijela Jadranskog bazena unutar Jadranske karbonatne platforme (ADCP), te vrijeme i procesi njihova nastanka, se i danas istražuju. Najnovije $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ vrijednosti pokazuju permotrijasku starost spomenutih magmatskih stijena (Palinkaš et al., 2010). Prema interpretaciji koju su dali Pamić i Balen (2005) magmatske stijene Brusnika, Jabuke i Visa dio su velikog riftnog sustava. Taj isti riftni sustav u Dinaridima je proizveo intruzivne gabro-diorit-sijenit-granitne formacije i efuzivne bazalt-andezit-dacitne formacije unutar karbonatne platforme (Pamić i Balen, 2005). Većina uzoraka, koji su analizirani, prikupljena je pod morem, te su uzorci prikupljeni na lokaciji Pličina Brusnik koja nije prethodno istražena niti opisana. Ti će uzorci biti uspoređeni s literaturnim podacima stijena s Jabuke i Brusnika da bi se utvrdilo postoje li petrografske i geokemijske sličnosti između njih. Geokemijski podaci dobiveni ovim istraživanjem biti će uspoređeni s podacima iz literature koji opisuju riftni sustav koji je nastao raspadom superkontinenta Pangee ne bi li se utvrdilo postoji li veza između raspada Pangee i riftnih procesa koji su doveli do stvaranja magmatskih stijena Jabuke, Brusnika i Pličine Brusnik.

3. Materijali i metode

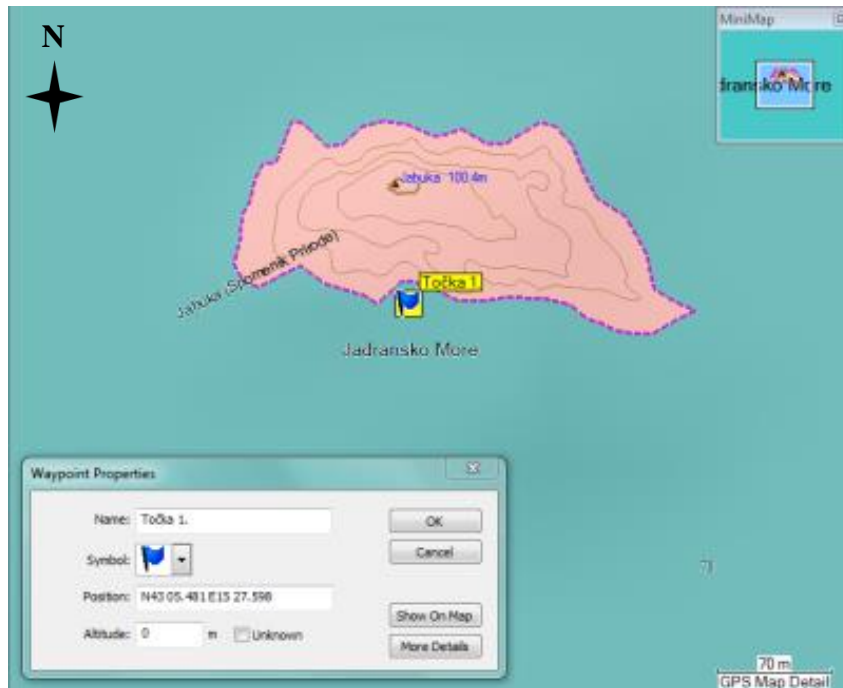
Tijekom ronilačke ekspedicije na otocima Jabuka (Točka 1.), Brusnik (Točka 2.), te na Pličini Brusnik (Točka 3.) uzeti su uzorci stijena za obradu i istraživanje. Zbog težeg uzorkovanja pod morem i ograničenog vremena boravka ronioca pod vodom, detaljna analiza izdanaka te uočavanje makroskopskih pojedinosti uzoraka pod morem nije bilo moguće. Ronjenje na Jabuci, Brusniku i okolnim pličinama vrlo je zahtjevno iz nekoliko razloga. Zbog izoliranosti i slabe mogućnosti za pristanak brodova, vremenske prilike moraju biti idealne, to jest brzina vjetra mora biti mala ili nikakva, a more mora biti mirno. Također, tijekom ronjenja valja obratiti pozornost na dubinu ronjenja i orijentaciju. Zbog izrazite bistrine mora i topografije terena, koja se odlikuje gotovo vertikalnim stijenskim zidovima (slika 8), ronioncu se može vrlo lako učiniti da je na manjoj dubini, te se zbog krive procjene mogu dogoditi nesreće. Takvi uvjeti mogu ponekad izazvati paniku kod neiskusnih ronioca što se i jednom ronioncu na ovoj ekskurziji i dogodilo, te je morao ranije završiti ronjenje. Zbog vremenskih prilika odlučeno je ronjenje na Jabuci, Brusniku i Pličini Brusnik obaviti u jednom danu. Zbog toga je trebalo smanjiti dubinu i trajanje svakog ronjenja, da bi se izbjegla dekompresijska bolest. Takvi uvjeti skratili su vrijeme potrebno za uzorkovanje i detaljno opisivanje lokaliteta Pličina Brusnik, te je ona zbog toga samo preliminarno obrađena. Za podmorsku fotografiju korišten je fotoaparatus Olympus XZ-1 s pripadajućim kućištem. GPS podaci dobiveni su korištenjem GPS uređaja Garmin GPSmap 60CSx i obrađeni u programu MapSource s pripadajućom kartom AdriaTopo.



Slika 8. Istočna strana Jabuke, panoramski prikaz vertikalnog stijenskog zida, čija se dubina proteže od 0 m do 150 m. Dubina fotografiranja je 30 m.

Točka 1. Jabuka GPS koordinate : N 43° 05.481' E 15° 27.598'

Prva opisana točka nalazi se na južnoj strani otoka Jabuka (Slika 7 i 8), između klinova za privez brodova. Uzorci su uzeti sa deset metara dubine (Slika 1b i 7). Zbog čvrstoće stijene nije bilo moguće uzeti svježe uzorke pa su uzeti odlomljeni uzorci nađeni na dnu, no nije moguće znati potječu li sa te dubine ili pak iznad morske razine. Vapnenački obraštaj na tim dubinama je veoma malen zbog jakog utjecaja valova. Na nekim mjestima uz otok Jabuku mogu se primijetiti i valutice kakve nalazimo na Brusniku.



Slika 7. Položaj Točke 1. na GPS topografskoj karti Adria topo.



Slika 8. Mjesto uzorkovanja (Točka 1) na južnoj strani otoka Jabuka između klinova za privez brodova, označeno na Slici 7.

Makroskopski stijena je homogene teksture, na površini je vidljivo trošena, ali se jasno uočava zrnata struktura, katkad sa vidljivim proraštanjem plagioklasa i piroksena karakterističnim za gabro. Prema veličini zrna stijena je makrokristalina, sa zrnima veličine i do 1 cm (Slike 9 i 10). Na tako velikim zrnima moguće je uočiti njihov habitus, hipidiomorfni ili alotriomorfni (ovisno o mineralnoj vrsti). Prisutno je 70 vol. % izduženih hipidiomorfnih, tamnozelenih do crnih piroksena, te 30 vol. % svijetlih feldspata. Na većim zrnima feldspata uočava se zonalnost i mliječno bijela boja trošenja, pa ih možemo determinirati kao plagioklase. Prema modalnom sastavu mineralnih faza i teksturnih i strukturnih karakteristika stijene možemo reći da se radi o intruzivnoj stijeni gabru.



Slika 9. Tipičan izgled magmatskih stijena s Jabuke



Slika 10. Piroksen hipidiomorfno habitusa dužine 1cm

Na Jabuci je primijećen sustav lučenja i pukotina (Slika 8, Slika 11) zbog kojeg otok ima pseudostratificiran debelopločast izgled (Golub i Vragović, 1975). Isti sustav primijećen je i na Brusniku (Slika 12), iako je tamo mnogo slabije izražen.



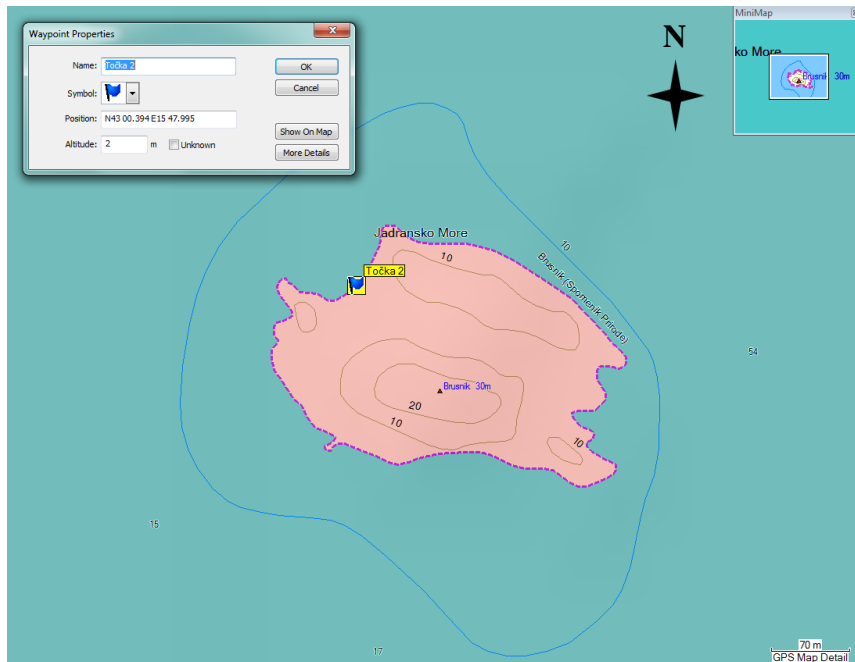
Slika 11. Sustav lučenja i pukotina bazičnih stijena zbog kojeg otok Jabuka ima pseudostratificiran debelopločast izgled



Slika 12. Lučenje bazičnih magmatskih stijena na južnoj strani otoka Brusnik (preuzeto iz http://s2.pticica.com/foto/0000283455_1_0_tEWKa5.jpg)

Točka 2. Brusnik GPS koordinate : N 43° 00.394' E 15° 47.995'

Točka 2 nalazi se na otoku Brusnik, uz sam žal sa valuticama karakterističnim za taj otok, na kojem je postavljena ploča sa informacijama o Spomeniku prirode Brusnik (Slike 13 i 14). Na Brusniku se javljaju karakteristične valutice od 1 cm do 40 cm veličine. Također su prisutni izdanci građeni od istih valutica povezanih kalcitnim vezivom. Otok Brusnik građen je od gabroidnih stijena, te na njemu također nalazimo leukokratske dajkove.



Slika 13. Položaj točke 2. na GPS topografskoj karti Adria topo.



Slika 14. Mjesto uzorkovanja na lokalitetu Brusnik (snimak preuzet iz <http://www.alternatura.hr/wp-content/uploads/2012/02/brusnik.jpg>)

Makroskopski je stijena homogene teksture, a prema veličini zrna makrokristalina. Sličnost sa stijenama Jabuke je u zrnatoj strukturi, ali mineralna zrna su nešto manja, uglavnom < 4 mm (Slika 15), a gabro struktura je uočljivija i češća (Slika 16). Stijena je vidljivo manje trošena nego na otoku Jabuka. Mineralna zrna su većinom hipidiomorfna i alotriomorfna, ovisno o mineralnoj vrsti. Makroskopski možemo primijetiti 60 vol. % štapičastih hipidiomorfnih, tamnozelenih do crnih piroksena, te 40 vol. % svijetlih feldspata. Zrna su manja, no još uvijek na nekima možemo vidjeti zonalnost i mliječno bijelu boju trošenja pa je za pretpostaviti da se radi o plagioklasima. Prema modalnom sastavu mineralnih faza, teksturnim i strukturnim karakteristikama stijene možemo reći da se radi o intruzivnoj stijeni gabru.



Slika 15. Tipičan izgled gabra s Brusnika



Slika 16. Gabro struktura vidljiva u stijenama s lokaliteta Brusnik

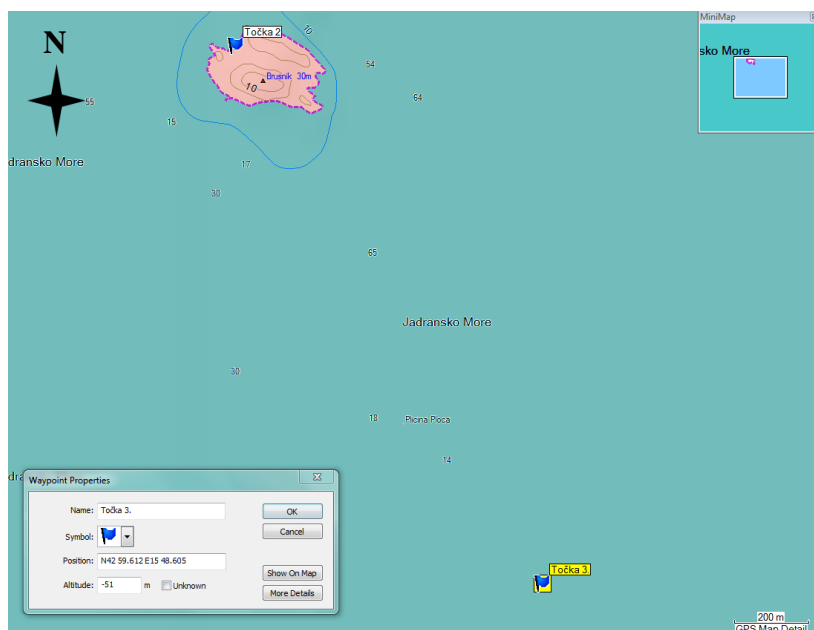
Točka 3. Pličina Brusnik N 42° 59.612' E 15° 48.605'

Točka 3 nalazi se na platou Pličine Brusnik (Slika 17), točno ispod vrha Pličine Brusnik. Udaljena je 1.6 km u smjeru jugoistoka od otoka Brusnik (Slika 18), na 25 metara dubine. Vrh Pličine je blok 11m visok koji se uzdiže od dubine 25 metara do dubine 14 metara. Blok se nalazi na horizontalnom platou promjera 200 metara čiji su rubni dijelovi gotovo vertikalni (Slika 19). Pličina je cijela zarasla u obraštaj karakterističan za uvjete visoke energije vode. Determinacija stijene na toj dubini je gotovo nemoguća, kao i uzorkovanje, pa su uzeti uzorci odlomljenih stijena nađeni na platou. Prije makroskopskih opažanja obraštaj je mehanički skinut sa uzoraka (Slika 20). Kao što je vidljivo iz Slike 18, to područje je jako

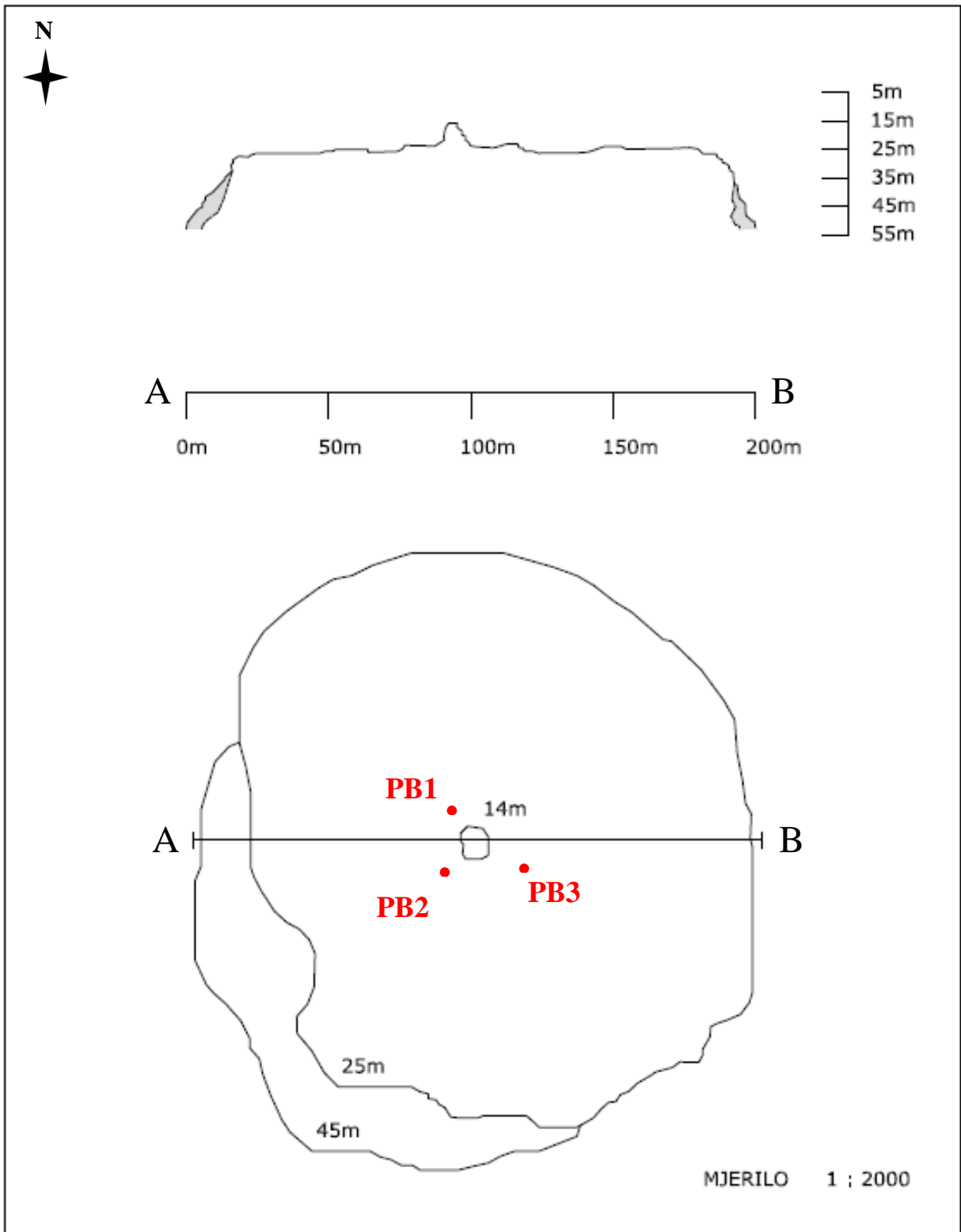
slabo istraženo, te je i sama lokacija Pličine Brusnik krivo ucrtana u Adria topo kartu. Istraživana lokacija je nađena uz pomoć ronionca s otoka Visa.



Slika 17. Tipičan izgled Pličine Brusnik, dubina 25 m, vidljiv obraštaj koji otežava determinaciju stijena.



Slika 18. Položaj točke 3. na GPS topografskoj karti Adria topo u odnosu na Točku 2.



Slika 19. Skica topografije Pličine Brusnik s prikazom dubina i približnim mjestima uzorkovanja (označeno crvenom bojom)

Makroskopski uzorci uzeti sa Plićine Brusnik su homogene teksture. Kao i na otocima Jabuka i Brusnik stijena je zrnate strukture. Na svježem lomu stijena pokazuje slabije naglašeno trošenje nego one s otoka Jabuke i Brusnika. Prema veličini zrna stijena je makrokristalina, no mineralna zrna su još manja od uzoraka sa Brusnika i Jabuke (Slika 20), uglavnom manja od 2 mm. Mineralna zrna su većinom hipidiomorfna i alotriomorfna ovisno o mineralnoj vrsti. Makroskopski možemo primijetiti 80 vol. % štapičastih crnih piroksena, te 20 vol. % svijetlih feldspata. Prema modalnom sastavu mineralnih faza, teksturnih i strukturnih karakteristika stijene možemo reći da se radi o intruzivnoj stijeni gabru. Ova lokacija do sada nije geološki istraživana i uzorkovana niti je uopće poznata u kartama i literaturi.



Slika 20. Tipičan izgled gabra s Plićine Brusnik



Slika 21. Gabro s Plićine Brusnik. Vidljiva je homogena (srednjezrnata) struktura u kojoj se prožimaju pirokseni i plagioklasi

3.1 Laboratorijska priprema uzoraka

U laboratoriju Mineraloško-petrološkog zavoda geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu prikupljeni uzorci pripremljeni su za optička istraživanja i cijelostijenske kemijske analize. Izrađen je niz preparata za optička istraživanja, te je 16 odabranih reprezentativnih uzoraka pripremljeno za cijelostijenske kemijske analize.



Slika 22. Laboratorijska priprema mikroskopskih preparata

Uzorci odabrani za mikrofiziografska istraživanja ispiljeni rotirajućom dijamantnom pilom su u pločice, polirani i zalijepljeni kanada balzomom, koji je istovremeno korišten kao unutarnji standard, na predmetna stakalca. Nakon toga podvrgnuti poliranju na rotirajućoj ploči sa abrazivnim korudnim prahom raznih veličina čestica do debljine od 20 do 30 mikrona (Slika 22), te prekriveni pokrovnim stakalcem. Također su zbog usporedbe pregledani preparati iz ranijih znanstvenih istraživanja pohranjeni u zbirci Mineraloško-petrološkog zavoda.

Polarizacijski mikroskop korišten je za optičko istraživanje, to jest utvrđivanje mineralnog sastava, opažanje strukturnih, teksturnih i mikrotektonskih karakteristika istraživanih stijena. Polarizacijski mikroskop sastoji se od nekoliko dijelova koji ga čine drukčijim od običnog mikroskopa. Dijelovi polarizacijskog mikroskopa su: izvor svjetlosti, polarizator, iris zaslon, kondenzor, stolić, objektiv, analizator, prozor za umetanje akcesornih pločica, Bertrandova leća i okular. Svjetlost se polarizira u polarizatoru, te dolazi na stolić s mikroskopskim preparatom. Svjetlost tada prolazi kroz uzorak i ulazi u objektiv (raznih povećanja), te putuje do okulara. Prije no što svjetlost dođe do okulara moguće je uklopiti analizator, čija je vibracijska ravnina postavljena okomito na smjer polarizatora.

U ortoskopskim uvjetima bez uključenog analizatora polarizacijski mikroskop daje uvid u vlastitu boju minerala, oblik i habitus mineralnih presjeka, sustave pukotina, forme agregata, reljef, indekse loma, pseudoapsorpciju, pleokroizam, kalavost, te međusobnom odnosu minerala. Opažanjem s uklopljenim analizatorom dobiveni su podaci o paralelnom, kosom i simetričnom potamnjenju, te kutu potamnjenja, isto tako je li neki mineral optički

pozitivan ili negativan u odnosu na izduženje. U položaju maksimalne rasvjete promatra se interferencijska boja, što nam omogućava procjenu visine dvoloma. Također zaključujemo da li je neki mineral izotropan ili anizotropan, jednoosan ili dvoosan.

Mikrofotografije su snimljene uz pomoć digitalne kamere Canon EOS 550D postavljene na petrografski polarizacijski mikroskop Mineraloško-petrološkog zavoda, proizvođača Zeiss Axiolab, s objektivima povećanja 2.5, 10 i 20x. Fotografije su snimane u prolaznom svjetlu, s i bez analizatora, uz korištenje plavog filtera kojim je bio prekriven izvor svjetla. U softveru kamere (EOS Utility) izvršena su dodatna podešenja za korekciju balansa bijele boje s obzirom na korišteni izvor svjetla, kako bi se dobile realne boje na mikrofotografijama. Za kalibraciju fotografija korišten je softver Zeiss AxioVision Rel. 4.8 uz pomoć kojeg su na mikrofotografije dodana mjerila.

Za obradu fotografija i iscertavanje skice Plićine Brusnik korišten je program CorelDraw X5 i ACDSee Photo Manager 12.

Uzorci koji su odabrani za cijelostijenske kemijske analize bili su najsvježiji i pokazivali su najmanje alteracija. Priprema uzoraka za cijelostijenske kemijske analize uključivala je ručnu fizičku dezintegraciju uzoraka, usitnjavanje u ahatnom mlinu, te suho prosijavanje uzoraka kroz sito s promjerom otvora 0.125 mm. Količine uzoraka pripremljenih na ovaj način varirale su od 50-80 grama po uzorku, ovisno o količini raspoloživog materijala. Nakon pripreme uzoraka metodom četvrtanja izdvojeno je desetak grama svakog uzorka za kemijsku analizu (10 g bilo je potrebno za analize glavnih elemenata i elemenata u tragovima).

3.2 Analiza makroelemenata i elemenata u tragovima (uključujući i elemente rijetkih zemalja)

Analize makroelemenata i elemenata u tragovima (uključujući i elemente rijetkih zemalja (REE – rare earth elements)) provedene su u ACME Analytical Laboratories Ltd., Vancouver (Kanada) metodama induktivno spregnute plazme s masenom i emisijskom spektroskopijom. Analize su obuhvaćale odredbu sljedećih glavnih elemenata i elemenata u tragovima: Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, Cr, As, Ba, Be, Co, Cs, Cu, Ga, Hf, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Y, Zn, Zr, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb i Lu.

Metodi induktivno spregnute plazme prethodilo je taljenje s litijevim metaboratom (LiBO_2)/tetraboratom ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$), te otapanje u razrijeđenoj dušičnoj kiselini (HNO_3). Gubitak žarenjem (engl. *loss on ignition, LOI*) na svim uzorcima utvrđen je razlikom u težini nakon žarenja na 1000°C u trajanju od 4h (ACMELab procedura 4A, www.acmelab.com). Ukupne količine oksida glavnih elemenata i nekolicine elemenata u tragovima utvrđene su analizom na 0.2 g uzorka metodom induktivno spregnute plazme s emisijskom spektroskopijom (ICP-ES). Elementi u tragovima, uključujući elemente rijetkih zemalja utvrđeni su metodom induktivno spregnute plazme s masenom spektroskopijom (ICP-MS), kojoj je također prethodilo taljenje 0.2 g uzorka s litijevim metaboratom/tetraboratom i otapanje uzorka u razrijeđenoj dušičnoj kiselini (ACMELab procedura 4B). Izdvojeno je 0.5 g uzorka i analizirano ICP-MS metodom kojoj je prethodilo otapanja u zlatotopki (na 95°C), kako bi se dobili podaci za plemenite i bazne metale (dio procedure 4B koji se podudara s procedurom 1DX). Metoda internog standarda korištena je za korekciju matriks-efekta. Kao referentni standardi korištene su prirodne stijene poznatog sastava i prirodni čisti kvarc. Upotrebom geoloških standardnih materijala kontrolirana je analitička preciznost. Referentni materijali certificirani su u samom laboratoriju, komparativnom analizom s CANMET (*Canada Centre for Mineral and Energy Technology*) certificiranim referentnim materijalima.

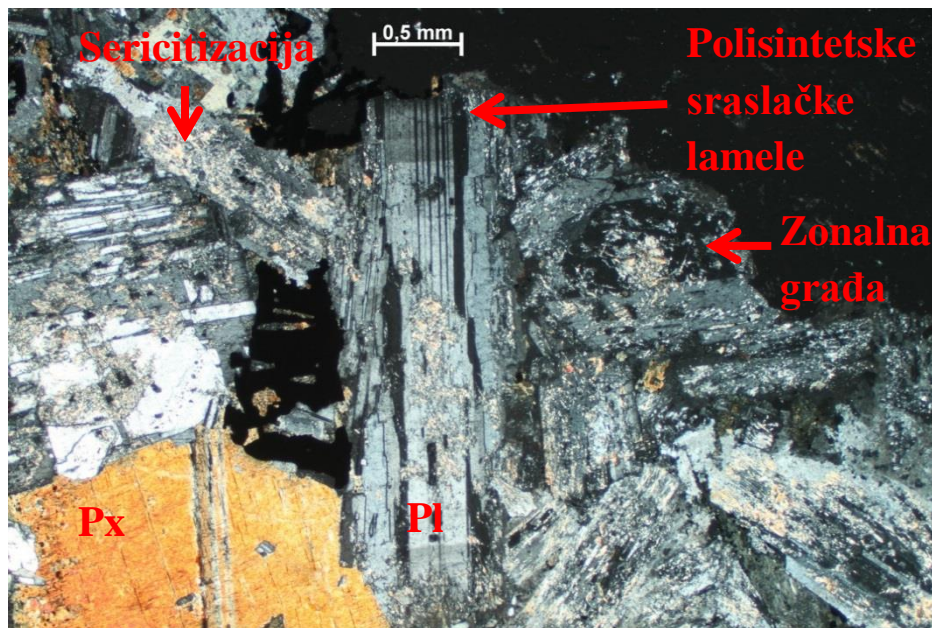
Računalni programski paket *GeoChemical Data Toolkit* ili skraćeno GCDkit, verzija 2.3 (Janoušek i dr., 2006), korišten je za obradu cijelostijenskih kemijskih podataka. GCDkit napisan je u R programskom jeziku, prvenstveno namijenjenom statističkim proračunima i grafičkim metodama njihova prikazivanja. Također, za obradu podataka korišten je i tablični kalkulator Microsoft Excel 2010.

4. Rezultati

4.1 Mikrofiziografska analiza preparata

Točka 1: Otok Jabuka

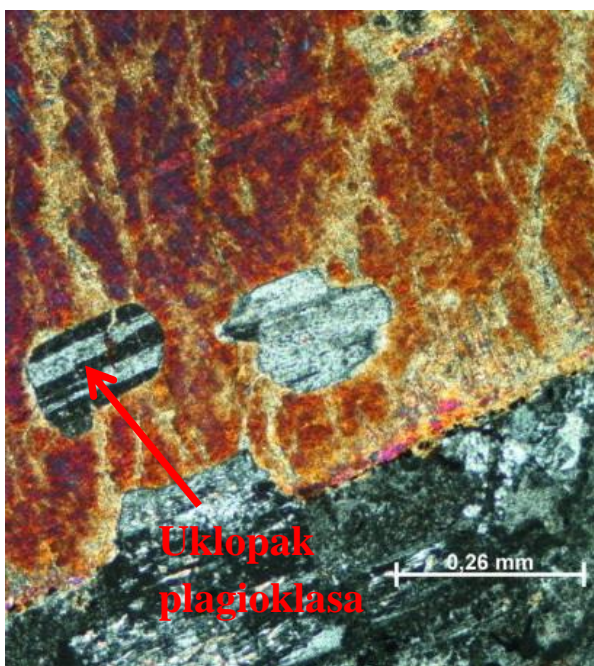
Uzorci su homogene teksture, te u njima nije vidljiva preferirana orijentacija mineralnih zrna. Struktura stijene je prema stupnju kristaliniteta holokristalina, prema veličini zrna makrokristalina, a prema odnosu i rasporedu zrna zrnata. Iz navedenih karakteristika možemo zaključiti da se radi o intruzivnoj magmatskoj stijeni. Ovisno o mineralnoj vrsti habitus zrna varira od alotriomorfnog, hipidiomorfog, a javlja se čak i nekoliko idiomorfnih zrna. Prepoznavanje mineralnih vrsta i njihovih odnosa je otežano zbog visokog stupnja izmjenjenosti (alteracija) uzoraka. U uzorcima je prisutno oko 65 vol. % plagioklasa (Pl), 30 vol. % piroksena (Px) od kojih su neki alterirani u amfibole (uralitizacija), te oko 3 vol. % opakih minerala i oko 2 vol. % sekundarnog klorita nastalog kloritizacijom piroksena i amfibola.



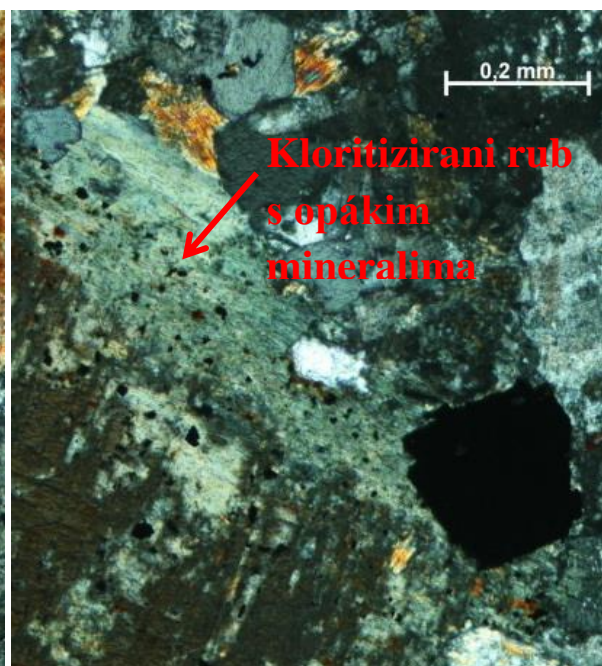
Slika 23. Zrnata struktura gabra s otoka Jabuka (uzorak MKP 2), vidljivi hipidiomorfni plagioklasi (Pl) sa tipičnom zonalnom građom i polisintetskim sraslačkim lamelama, vidljivi procesi sericitizacije i zrno piroksena (Px).

Plagioklasi su izrazito sericitizirani, te pokazuju karakteristične polisintetske sraslačke lamele (Slika 23). Osim sraslaca, prisutni su i zonalni plagioklasi, a određena zrna pokazuju obje karakteristike. Dio mineralnih zrna potamnjuje undulozno. Međusobno se isprepliću, te su slučajno orijentirani. Habitus zrna varira od alotriomorfog do hipidiomorfog. Mjerenjem kutova karakterističnog presjeka iz zone simetrijskog potamnjenja, te određivanjem molarnog udjela anortitne komponente plagioklasi su određeni kao oligoklasi (10-30 % An).

Habitus piroksena se kreće od tanko do debelo štapićastog, a mogu biti dosta veliki (duža os i do 5 mm). Sadrže mnoge uklopke plagioklasa i opákih minerala (Slika 24). Zrna piroksena su hipidiomorfna do idiomorfna. Pirokseni su dijelom alterirani u amfibole, a dijelom u klorite, ali redosljed izmjena nije jasno razlučiv; naime teško je reći jesu li pirokseni odmah prešli u klorite ili su prvo alterirani u amfibole, a potomji naknadno u klorite. Potpuno izmijenjena zrna su ipak manje zastupljena od zrna piroksena koja samo rubno pokazuju izmjene. Rubovi većine piroksena su kloritizirani i u sebi sadrže sitne opáke minerale (Slika 25). To može biti značajka opacitizacije koja se odvijala prilikom uralitizacije, te je rub tih alteriranih zrna onda naknadno kloritiziran.



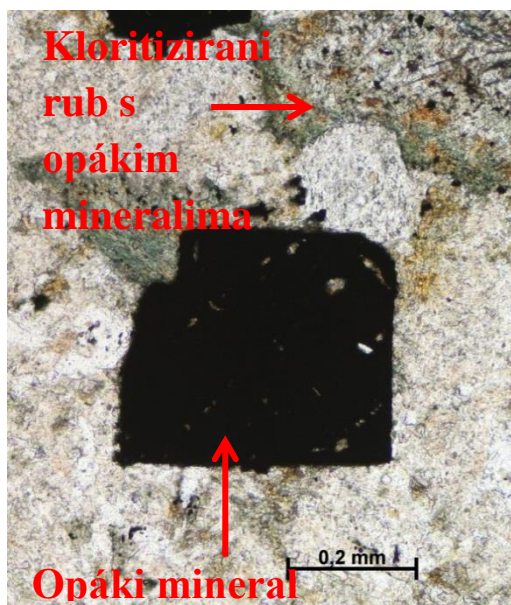
Slika 24. Uklopki plagioklasa unutar zrna piroksena.



Slika 25. Kloritizirani rub piroksena s opákim mineralima.

Alteracijski proces kloritizacije možemo opisati jednadžbom preuzetom iz Nemeč (1966):





Slika 26. Opáki mineral (hip)idiomorfnog habitusa i agregati klorita.

Opáki minerali dolaze kao uklopci u piroksenima ili između zrna plagioklasa i piroksena. Najčešće su alotriomorfni, no moguće je naći i neka zrna hipidiomorfnog habitusa i pravokutnog oblika koja podsjećaju na habituse pirita ili halkopirita. Kloriti dolaze u velikim agregatima, najvjerojatnije izmijenjenim zrnima amfibola i piroksena i kao izmijenjeni rub istih, te pokazuju jasan pleokroizam u svijetlo do tamnozelenoj boji. Prema strukturi, teksturi i mineralnom sastavu stijena je određena kao gabro.

Točka 2: Otok Brusnik

Strukturne i teksturne karakteristike uzoraka s Brusnika u potpunosti odgovaraju onima s Jabuke (homogena tekstura, holokristalina, makrokristalina, zrnata struktura), te je također riječ o intruzivnoj magmatskoj stijeni. Habitus različitih minerala se kreće od alotriomorfnog do idiomorfnog, ali mineralna zrna su mnogo manja od uzoraka s Jabuke. Stupanj trošenosti su u ovim uzorcima manji nego na onima s Jabuke. Prisutno je oko 70 vol. % plagioklasa, oko 25 vol. % piroksena (neki alterirani u amfibole - uralitizacija) i oko 5 vol. % opákih minerala, sekundarnog klorita i prehnita.

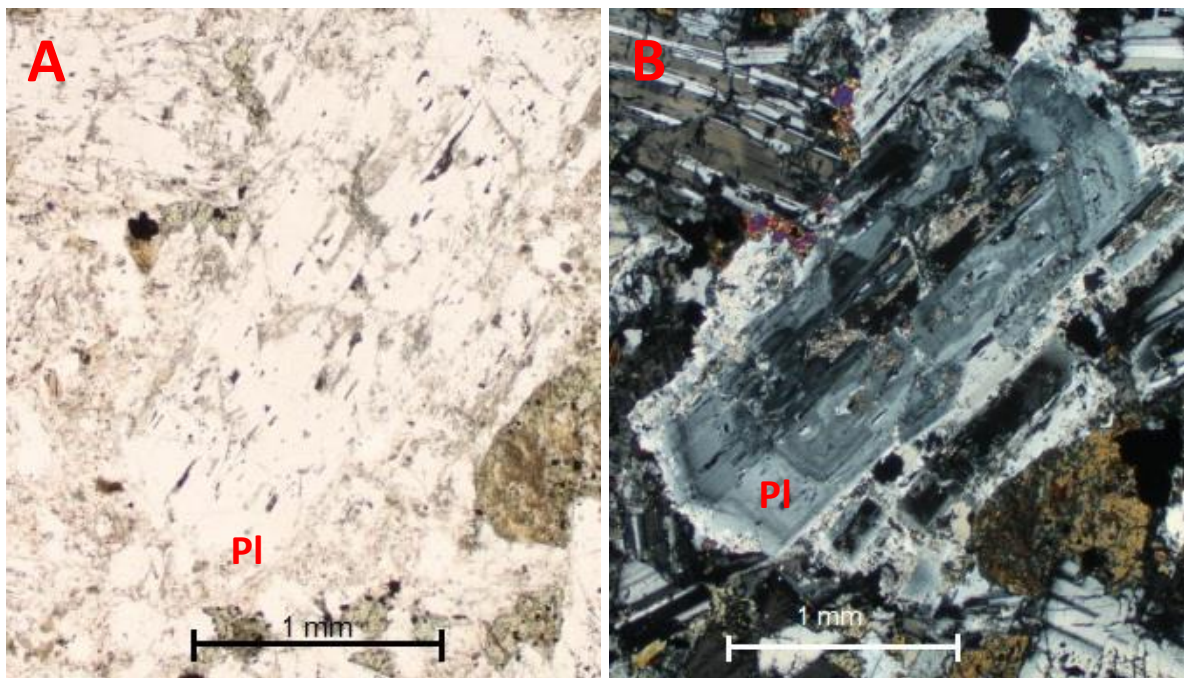
Zrna plagioklasa pokazuju hipidiomorfan do idiomorfan habitus, štapićast oblik i ujednačene su veličine. Orijentacija u preparatu im je slučajna, a ponegdje se zrna međusobno isprepliću. Javljuju se isti sraslački i zonalni varijeteti plagioklasa (Slike 27a i 27b) kao u uzorcima s Jabuke. Pojedina mineralna zrna plagioklasa pokazuju undulozno potamnjenje. Mjerenjem kutova presjeka iz zone simetrijskog potamnjenja, te utvrđivanjem molarnog

udjela anortitne komponente plagioklasi su i ovdje određeni kao oligoklasi (10-30% An). Stupanj sericitizacije je manji nego na Jabuci, a najuočljivija je na granicama plagioklasi i oko njihovih uklopaka, te po pukotinama kalavosti paralelnim sraslačkim šavovima.

Alteracijski proces albitizacije možemo opisati jednadžbom preuzetom iz Boles (1982):



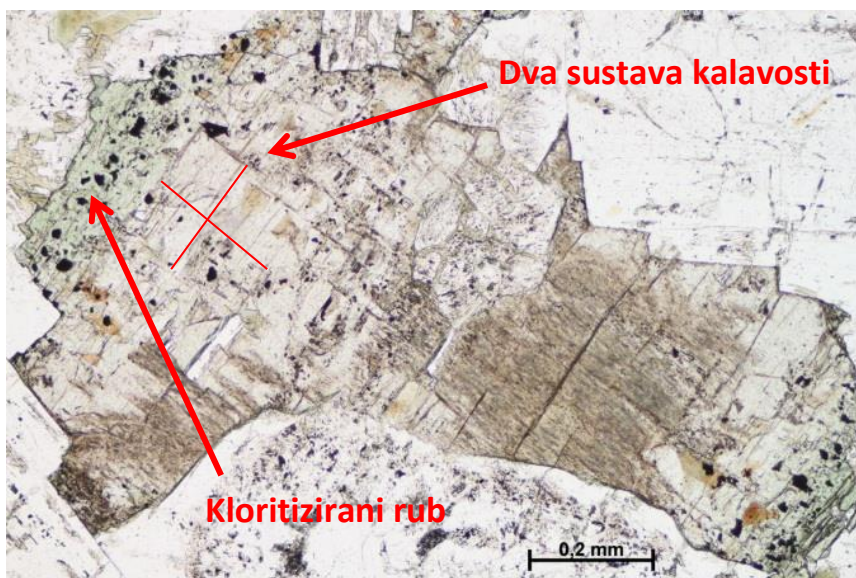
Ili prema Bird i Helgeson (1981):



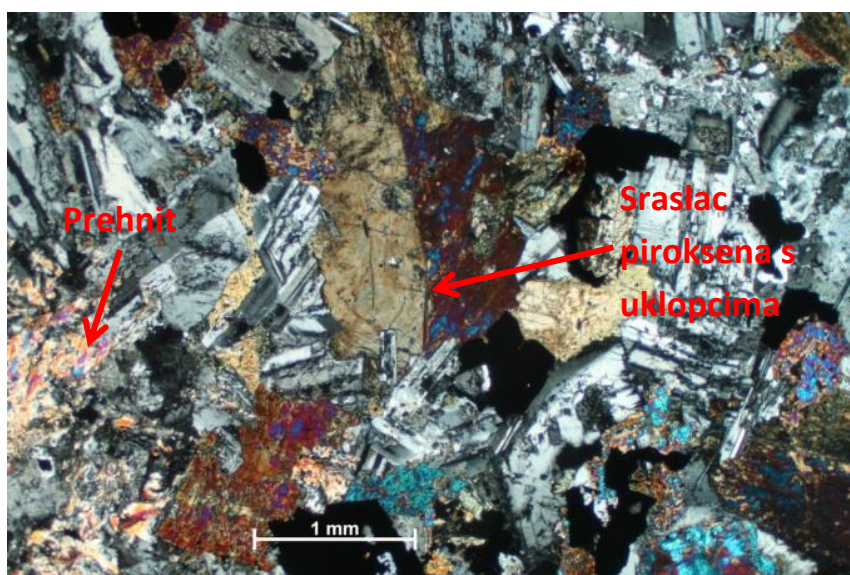
Slika 27a. Zonalni plagioklasi i sericitizacija s isključenim analizatorom)

Slika 27b. Zonalni plagioklasi i sericitizacija s uključenim analizatorom)

Pirokseni su veličinom slični zrnima plagioklasi, nešto su nepravilnijeg habitusa od uzoraka s Jabuke (alotriomorfno do hipidiomorfno). Također se javlja već opisana kloritizacija rubova s opákim mineralima (Slika 28). Pirokseni pokazuju sraslace dvojce (Slika 28) i ispunjene pukotine, te uklopke plagioklasi slične onima s Jabuke. U poprečnom presjeku vidljiva su dva sustava kalavosti koji zatvaraju kut od približno 90°, a minerali su svijetlo zelene do smeđe boje. Opáki minerali se pojavljuju rjeđe nego u uzorcima s Jabuke. Nalazimo i pojavu zbijenih, zrakastih do lepezastih agregata prehnita (Slika 29). Na pojedinim agregatima klorita i opákih minerala su još vidljivi sustavi kalavosti pod približno pravim kutom što je još jedan dokaz da se radi o izmjenama primarnih piroksena.



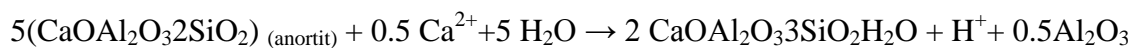
Slika 28. Piroksen s kloritiziranim rubom i agregatima opákih minerala u gabru s lokaliteta Brusnik. Vidljiva dva sustava kalavosti, koji se sijeku pod kutom od $\sim 90^\circ$, označena crvenom linijom.



Slika 29. Piroksen sraslac s uklopcima i prehnit gabru s lokaliteta Brusnik.

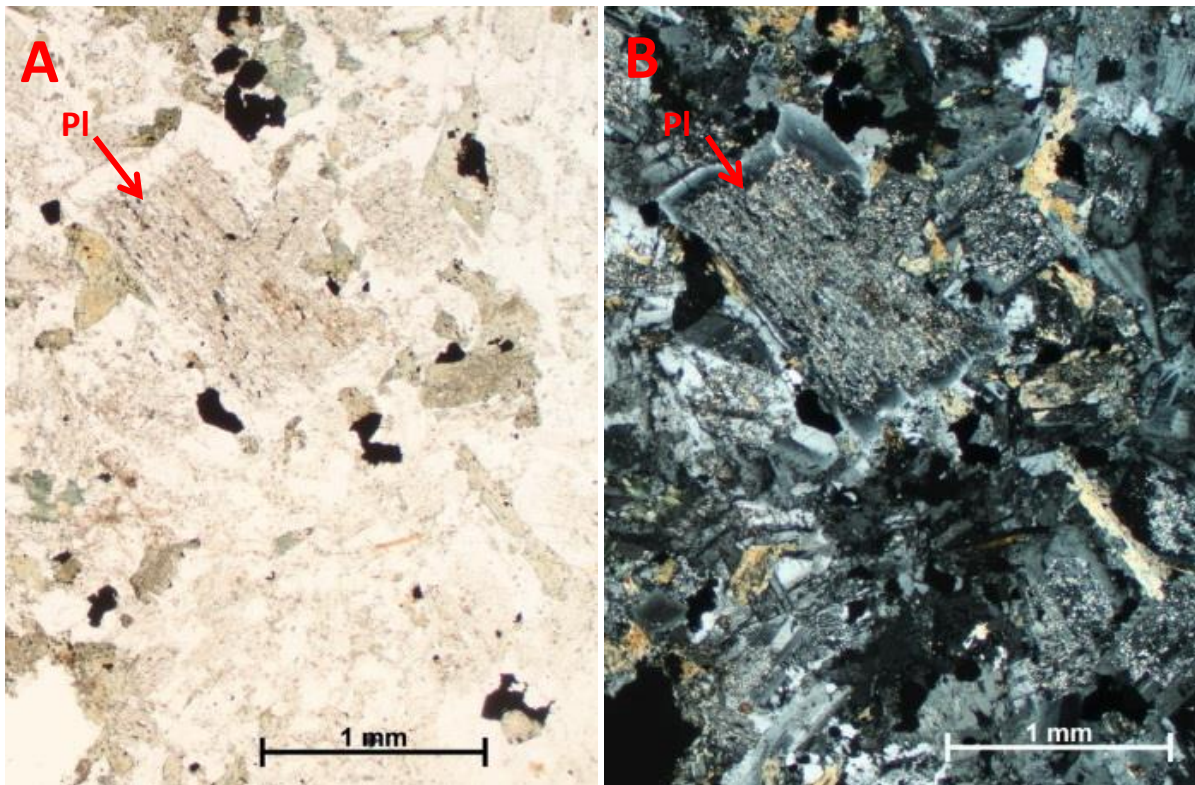
Kao i kod uzoraka s Jabuke, prema strukturi, teksturi i mineralnom sastavu stijena je određena kao gabro.

Alteracijski proces prehinitizacije, također prisutan u uzorcima s otoka Brusnik, možemo opisati jednadžbom preuzetom iz Coleman (1967):



Točka 3: Pličina Brusnik

Uzorci s Pličine Brusnik puno su sitnozrnatiji, s veličinom zrna manjom od 2 mm (Slika 30) od uzoraka s Jabuke i Brusnika, no još uvijek im strukturno i teksturno potpuno odgovaraju. To je vrlo trošena intruzivna stijena, sa nasumičnim rasporedom minerala. U uzorcima se nalazi oko 70 vol. % plagioklasa, oko 25 vol. % piroksena i sekundarnog klorita i oko 5 % općih minerala i prehnita. Sekundarni minerali vezani su za primarne: ponegdje je prisutna pseudomorfoza po mineralu koji je u potpunosti izmijenjen, a ponegdje se izmjene javljaju na rubovima (Chl), u središtu (kod plagioklasa), ili po pukotinama kalavosti.

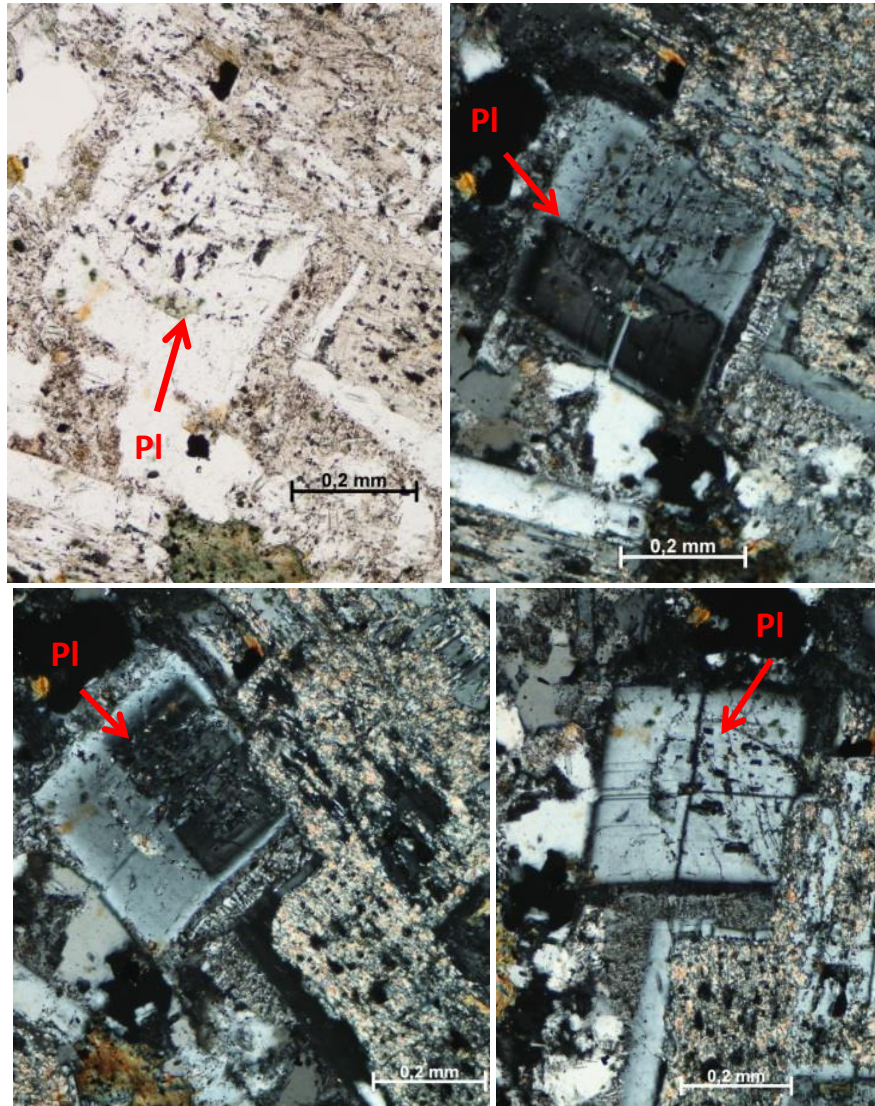


Slika 30a. Uzorak s Pličine Brusnik - manja mineralna zrna, izmjene plagioklasa (s isključenim analizatorom)

Slika 30b. Uzorak s Pličine Brusnik - manja mineralna zrna, izmjene plagioklasa (s uključenim analizatorom)

Plagioklasa ima najviše i najveći su. Javljaju se kao sraslaci, zonalni ili oboje. Međusobno su slučajno orijentirani, ali se ne isprepliću. Oblik zrna kreće od tanko- i dugoštapićastog (pravokutnog), do debelo i kratko štapićastog (kockastog) i hipidiomorfno do idiomorfno su habitusa. Njihova najuočljivija značajka jest izmijenjenost (Slike 30a i 30b) koja je najviše napredovala na velikim kockastim zrnima, sa širokim sraslačkim lamelama. Također nalazimo plagioklase sa *chessboard* strukturom (Slika 31) karakterističnom za niske uvjete metamorfizma, na što ukazuju i pojave prehnita. Mjerenjem kutova iz zone simetrijskog potamnjenja, te određivanjem molarnog udjela anortitne

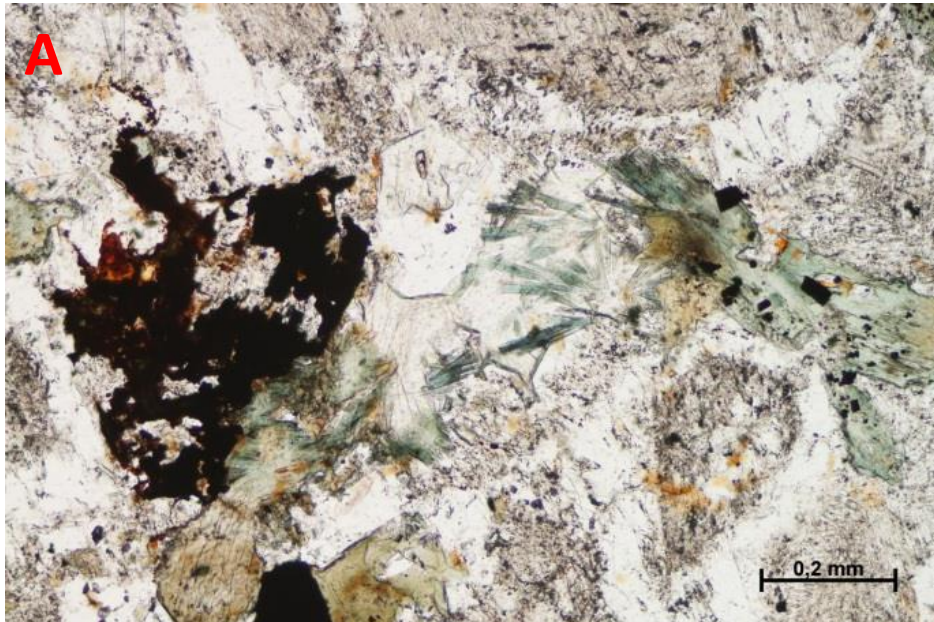
komponente plagioklasi su ovdje određeni kao albiti (5-10% An). Valja napomenuti kako su plagioklasi s druge dvije lokacije uzorkovanja na Pličini Brusnik određeni kao labradoriti (50-55% An). Veći udio anortitne komponente u tim uzorcima posljedica je manje izmijenjenosti.



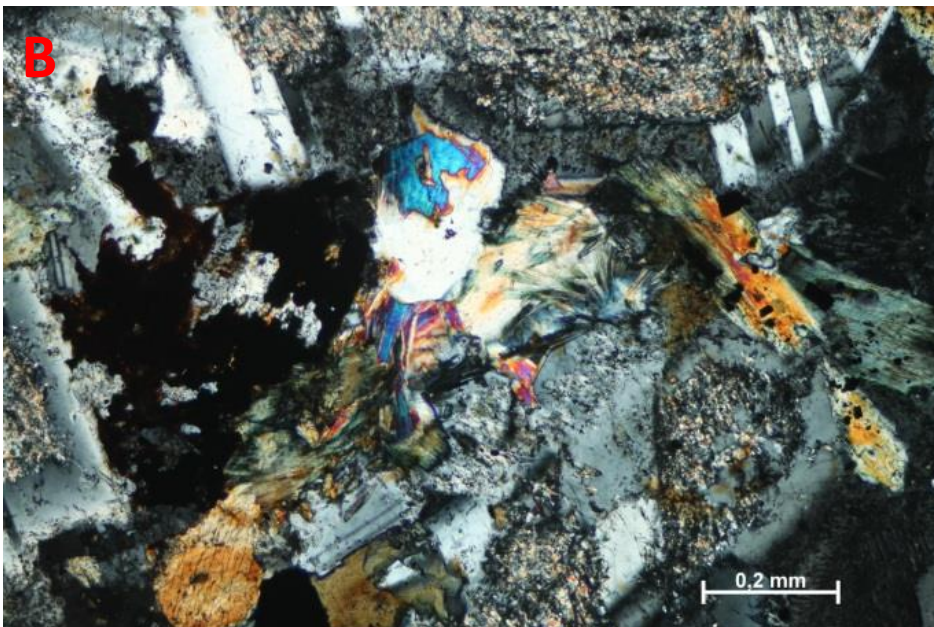
Slika 31. Plagioklas sa karakterističnom *chessboard* strukturom vidljivom s uključenim analizatorom

Klorit je drugi najzastupljeniji mineral, a javlja se sam ili u asocijaciji s biotitom. Kloriti negdje obavijaju minerale, negdje ispunjavaju pukotine, a negdje izmjenjuju cijela mineralna zrna. Habitus im je radijalno zrakast, ali agregati nisu izduženi već pokazuju oblik minerala koji su izmijenili (piroksen i amfibol). Unutar agregata su uvijek prisutni sitni opaki minerali, isti kakve nalazimo i u uzorcima s Jabuke i Brusnika. Kloriti pokazuju različite varijetete pleokroizma, od svijetlo žute do tamno zelene. Interferiraju u sivoj do žutoj interferencijskoj boji prvog reda. Na nekim mjestima se pojavljuju zrakasti do lepezasti agregati asociirani sa prehnitom (Slika 32a i Slika 32b). Prehnit dolazi u tanko-štapčastim izduženim, zrakastim

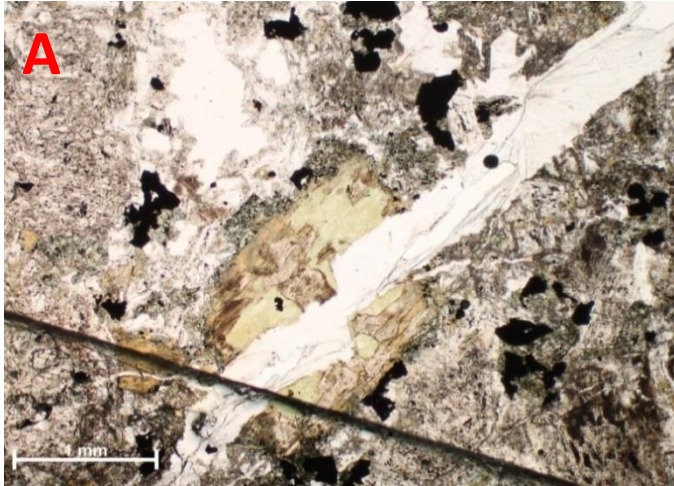
agregatima. Pojavljuju se kao ispuna pukotina (Slika 33a i Slika 33b), te kao diseminirani agregati unutar i između mineralnih zrna (Slika 34a i Slika 34b). Unutar pukotina raste sintaksijalno, te može biti asociiran s kvarcom. Kao i *chessboard* plagioklasi, koji su karakteristični za vrlo niski ili niski stupanj metamorfizma (Bucher i Frey, 2002).



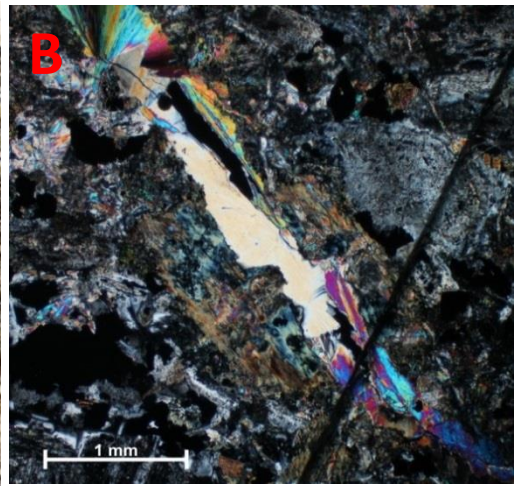
Slika 32a. Zrakasti kloriti s prehnitom (s isključenim analizatorom).



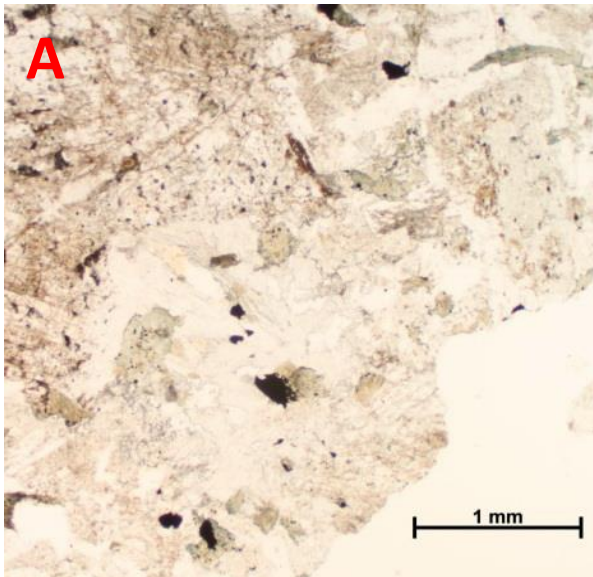
Slika 32b. Zrakasti kloriti s prehnitom (s uključenim analizatorom).



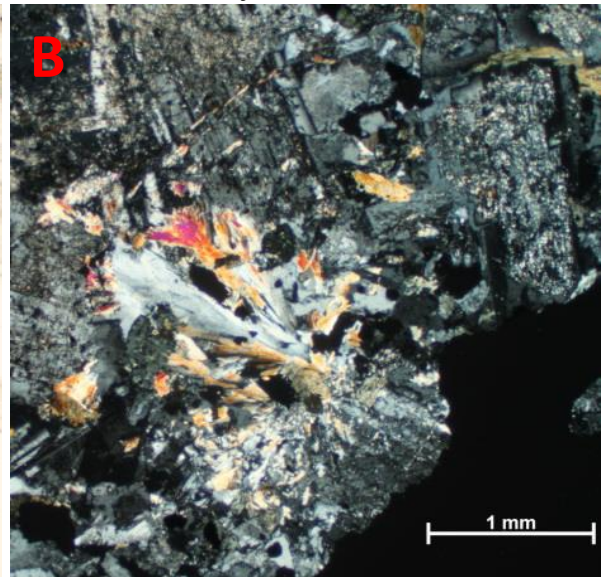
Slika 33a. Prehnit koji sintaksijalno raste i ispunjava pukotine, asociran s kvarcom s isključenim analizatorom.



Slika 33b. Prehnit koji sintaksijalno raste i ispunjava pukotine, asociran s kvarcom s uključenim analizatorom.



Slika 34a. Zrakasti agregat prehnita s isključenim analizatorom.

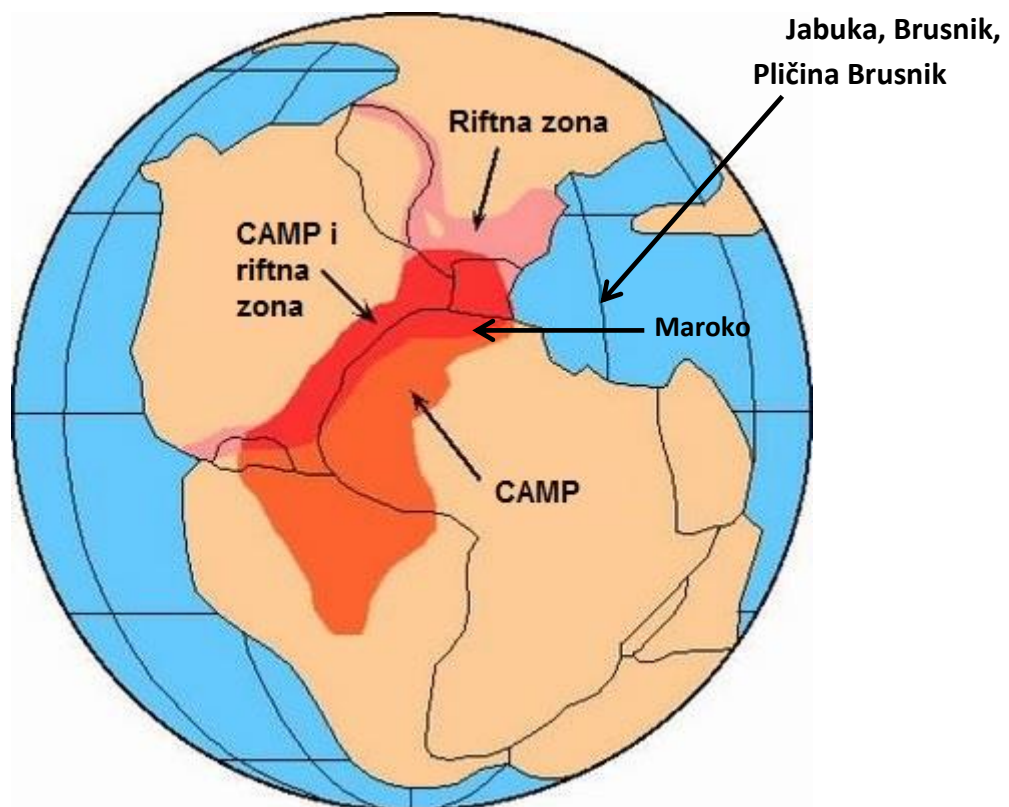


Slika 34b. Zrakasti agregat prehnita s uključenim analizatorom.

Opaki minerali su prisutni kao primarni i sekundarni. Primarni se, kao i u uzorcima s Jabuke i Brusnika, nalaze između mineralnih zrna i višestruko su veći, dok su sekundarni unutar drugih mineralnih zrna mnogo manji. Oblik im je nepravilan. Potpuno su neprozirni, rijetko sa crvenim rubom i sjajem. Manji obojani varijeteti mogu biti ili potpuno crveni i providni (hematit) ili narančasti (limonit) (Slika 32a). Sekundarni opaki minerali dolaze unutar kloritnih agregata i u izmijenjenim plagioklasima, kao i kod uzoraka s Brusnika i Jabuke. Budući da ih nema oko velikih opakih minerala nego samo unutar klorita i plagioklasa, može se zaključiti da nisu otrgnuti s njih nego nastali kao produkti izmjene ili dio ranije mineralne parageneze. Biotit je akcesorni mineral, dolazi uz klorite, i alotriomorfog je habitusa, s izraženim pleokroizmom u žutosmeđoj do smeđoj boji. Prema strukturi, teksturi i mineralnom sastavu stijena je određena kao gabro-diorit.

5. Rasprava

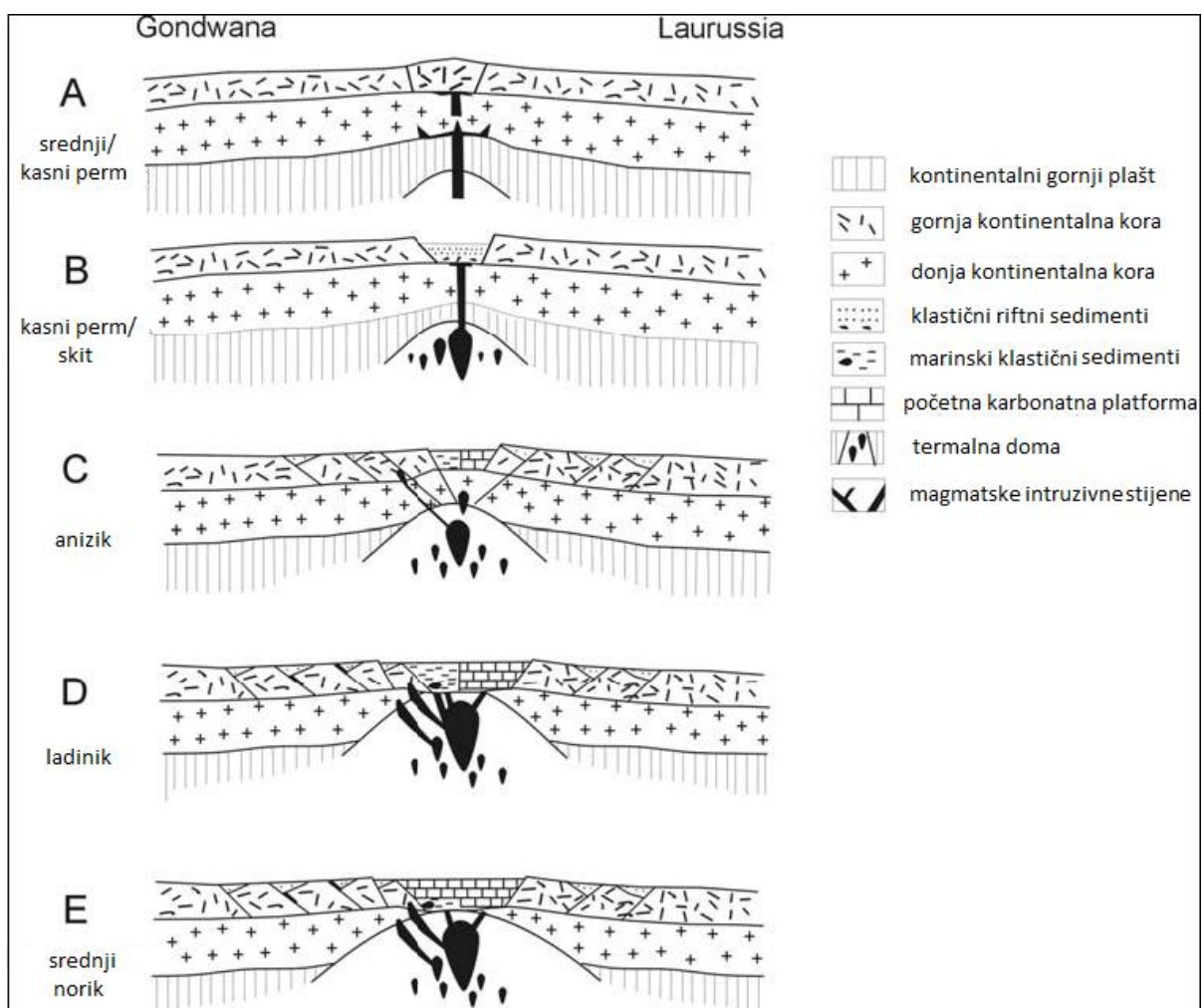
Dobiveni geokemijski podaci bit će prikazani klasifikacijskim, geotektonskim, te REE, to jest multielementarnim („spider“) dijagramima za mikroelemente. Rezultati će također biti uspoređeni s prijašnjim objavljenim podacima za otoke Jabuku i Brusnik, te podacima sličnih stijena vezanih uz CAMP (*Central Atlantic Magmatic Province*) (Slika 34). CAMP je najveća magmatska provincija na Zemlji. Predstavlja skup bazaltnih tokova sličnog geokemijskog sastava (dominantno toleitnog) i starosti između 201 i 198 Ma. CAMP je nastao kao posljedica raspada superkontinenta Pangee u mezozoiku.



Slika 34. Skica CAMP-a (*Central Atlantic Magmatic Province* – *centralna Atlantska magmatska provincija*)- (preuzeto s <http://chinleana.fieldofscience.com/2009/06/central-atlantic-magmatic-province-and.html>)

Ekstenzijske pokrete u trijasu na području današnjih Dinarida u svojoj geotektonskoj interpretaciji opisuju Schmid i dr. (2008). Riftni magmatizam kao rezultat tih ekstenzijskih pokreta doveo je do formacije mnogih magmatskih stijena unutar Dinarida. Geokemijski podaci pokazuju da su permo-trijaske magmatske stijene nastale frakcionacijom primitivnih alkalnih bazaltnih magmi u olivinsko toleitne taljevine. Geokemijski podaci također ukazuju na jake hidrotermalne alteracije i na kontaminaciju kontinentalnom korom. Karakteristike permo-trijaskih magmatskih stijena pokazuju razvoj od ranog intrakontinentalnog riftovanja do naprednog riftovanja i oceanizacije (Slika 35) - (Pamić i Balen, 2005; Palinkaš i dr. 2010).

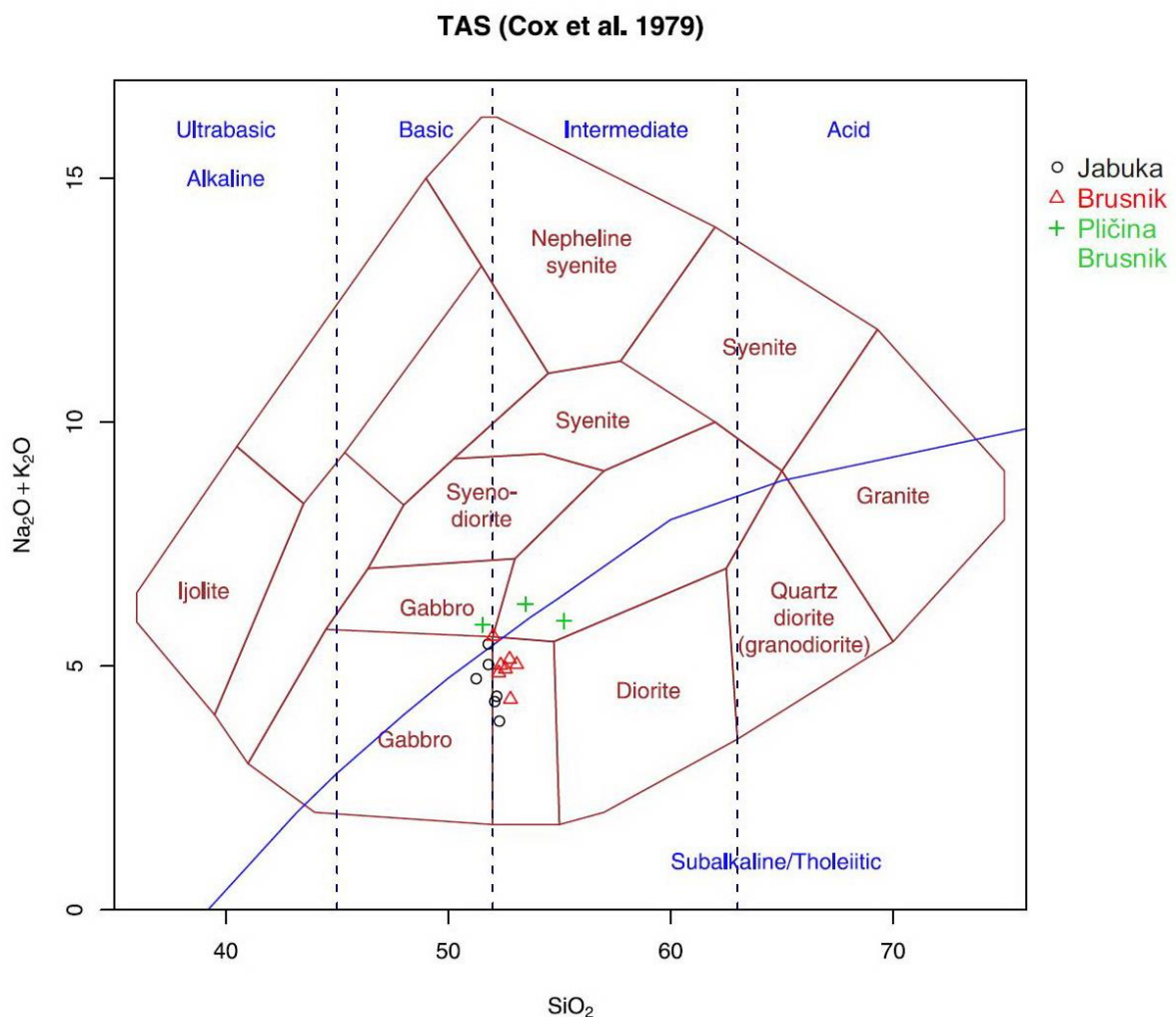
Porijeklo magmatskih stijena Jabuke i Brusnika pripisuje se permo-trijaskom riftnom magmatizmu (Pamić i Balen, 2005; Palinkaš i dr., 2010). Starost tih magmatskih stijena prema Palinkaš i dr. (2010) varira između 269 Ma i 214 Ma. Usporedba ovdje prikazanih rezultata i odabranih podataka iz literature za CAMP važna je jer može upućivati na povezanost riftnih procesa kojim su nastali magmatski otoci Jabuka i Brusnik unutar ADCP i većih riftnih procesa koji su doveli do stvaranja CAMP-a. Odabran je lokalitet opisan u literaturi koji je geografski blizu (Maroko) jer se očekuje da ima najbližnje geokemijske karakteristike najbližnje s magmatskim stijenama na otocima Jabuka, Brusnik i Plićini Brusnik.



Slika 35. Geodinamska evolucija permo-trijaskog magmatizma vezanog uz procese riftovanja i inicijalni rast karbonatne platforme (preuzeto iz Pamić i Balen, 2005 i promijenjeno).

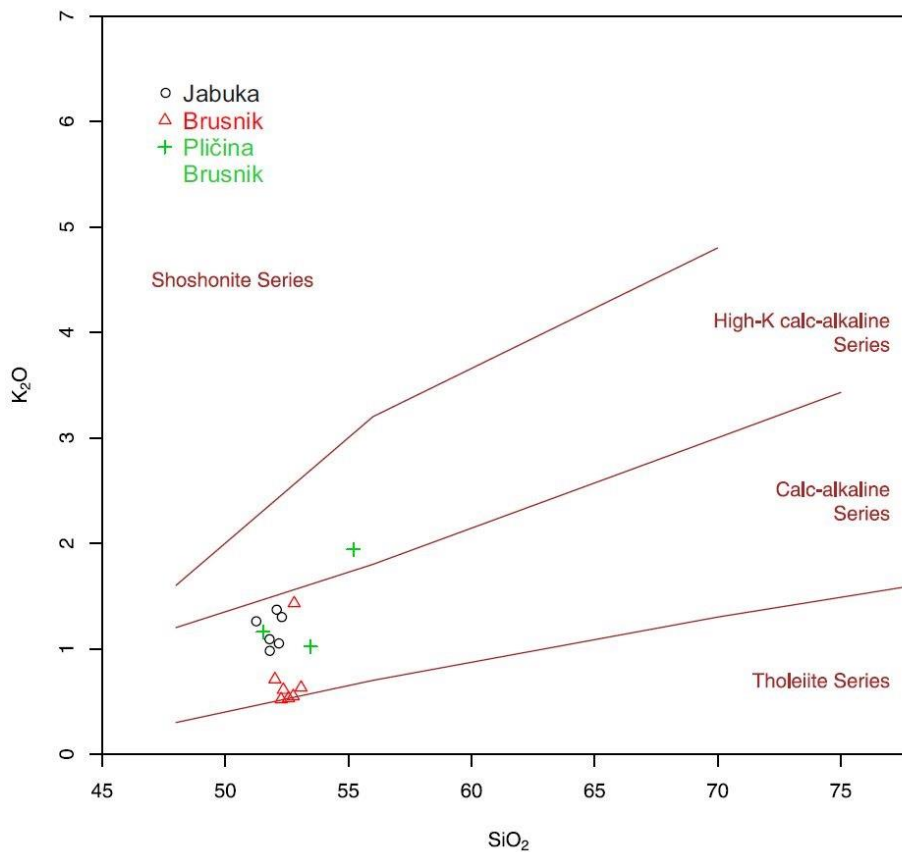
5.1 Klasifikacija

Klasifikacija stijena Jabuke, Brusnika i Pličine Brusnik temelji se na TAS (Cox i dr. 1979) dijagramu. Iz njega je vidljivo da istraživane stijene pripadaju gabru (Slika 36). Uzorci s Jabuke i Brusnika su dobro grupirani dok uzorci s Pličine Brusnik pokazuju jače raspršenje. TAS dijagram koristi mobilne elemente (Na, K), te se jače raspršenje podataka može objasniti intenzivnijim izmjenama i trošenjem stijena Pličine Brusnik zbog prijašnjih termalnih događaja utjecaja ili mora. Također većina uzoraka se nalazi u polju subalkalne do prijelazne serije. Jedan uzorak s Jabuke i Brusnika, te dva s Pličine Brusnik nalaze se u polju alkalne serije.



Slika 36. Klasifikacija magmatskih stijena TAS (ukupne alkalije vs. SiO_2) prema Cox et al. (1979)

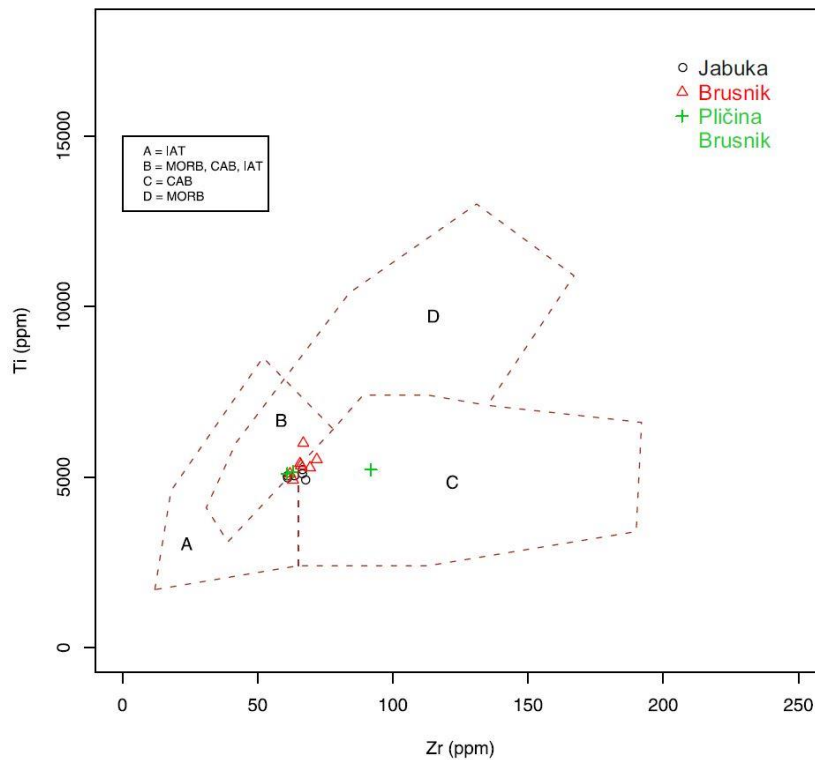
SiO₂ – K₂O dijagram prema Peccerillo i Taylor (1976) pokazuje pripadnost istovrsnih stijena skupini subbalkalnih stijena uzimajući u obzir omjer K₂O/SiO₂. Većina uzoraka nalazi se unutar polja kalcijsko-alkalijske serije (Slika 37). Jedan uzorak s Pličina Brusnik nalazi se unutar visoko kalijsko kalcijsko-alkalijske serije. Zanimljivo je da je većina uzoraka s Jabuke grupirana na granici kalcijsko-alkalijske i toleitne serije, dok su uzorci s Brusnika raspršeniji i grupirani oko granice s visoko kalijsko kalcijsko-alkalijskom serijom.



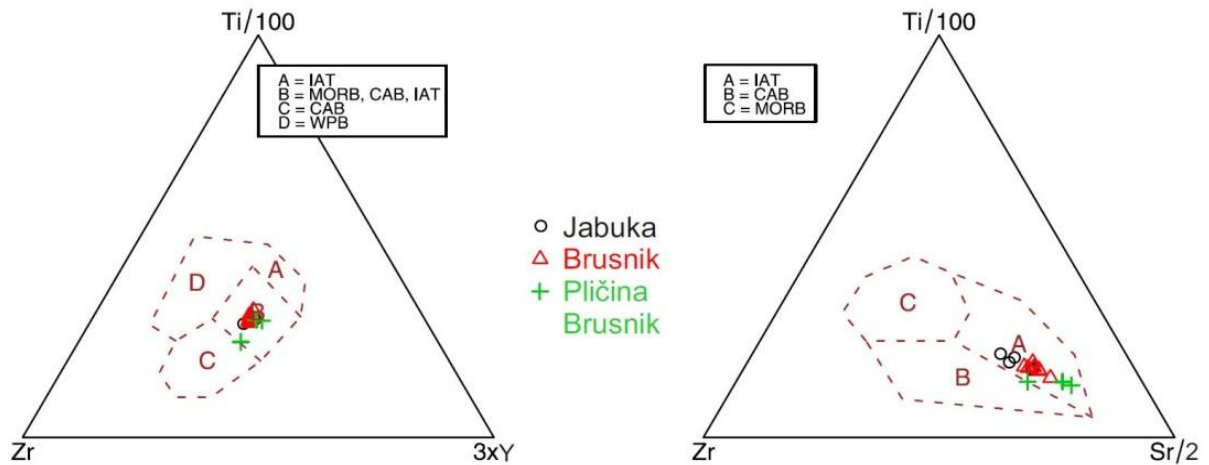
Slika 37. SiO₂/K₂O dijagram prema Peccerillo i Taylor (1976)

5.2 Geotektonska pripadnost

Za odredbu geotektonske pripadnosti stijena korištena je serija dijagrama odnosa inkompatibilnih elemenata, pripremljena u programu GCDkit. Slika 38 i Slika 39 prikazuju dijagrame prema Pearce i Cann (1973) koji za odredbu geotektonskog okoliša koriste omjere Ti i Zr, te Ti,Zr,Sr,Y. Slika 38 prikazuje podatke koji padaju na tromeđu polja A (IAT - *Island Arc Tholeiite* – toleititi otočnog luka), B (MORB – *Mid Ocean Ridge Basalt* – bazalti srednjeeenskog grebena, CAB – *Calc-Alkaline Basalts* – kalk-alkalni bazalti i IAT) i C (CAB). Za razlučivanje kojem od ta tri područja pripadaju uzorci koriste se dijagrami na Slici 39 na kojem se vidi da uzorci padaju u polje IAT to jest pripadaju toleitima otočnog luka.

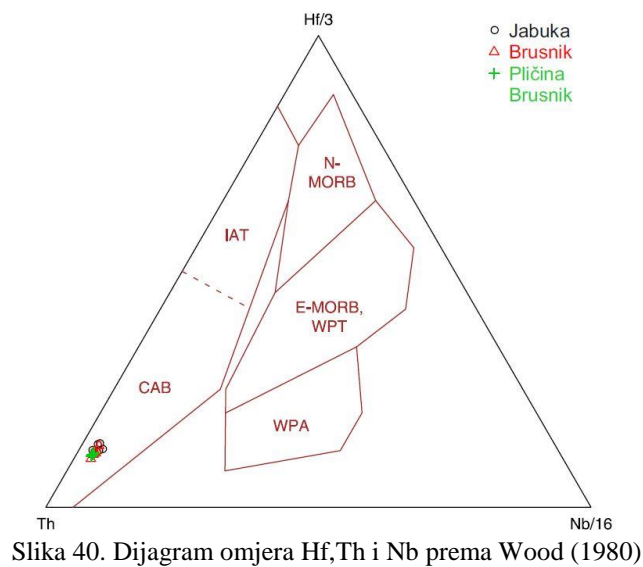


Slika 38. Dijagram omjera Ti i Zr prema Pearce i Cann (1973) za odredbu geotektonske pripadnosti



Slika 39. Dijagram omjera Ti, Zr, Y i Sr prema Pearce i Cann (1973) za odredbu geotektonske pripadnosti

Dijagram prema Pearce i Cann (1973), prikazan na Slici 40, koristi omjere Th, Hf i Nb za odredbu geotektonske pripadnosti, te se prema njemu svi istraživani uzorci nalaze u polju kalk-alkalnih bazalta.



Slika 40. Dijagram omjera Hf, Th i Nb prema Wood (1980)

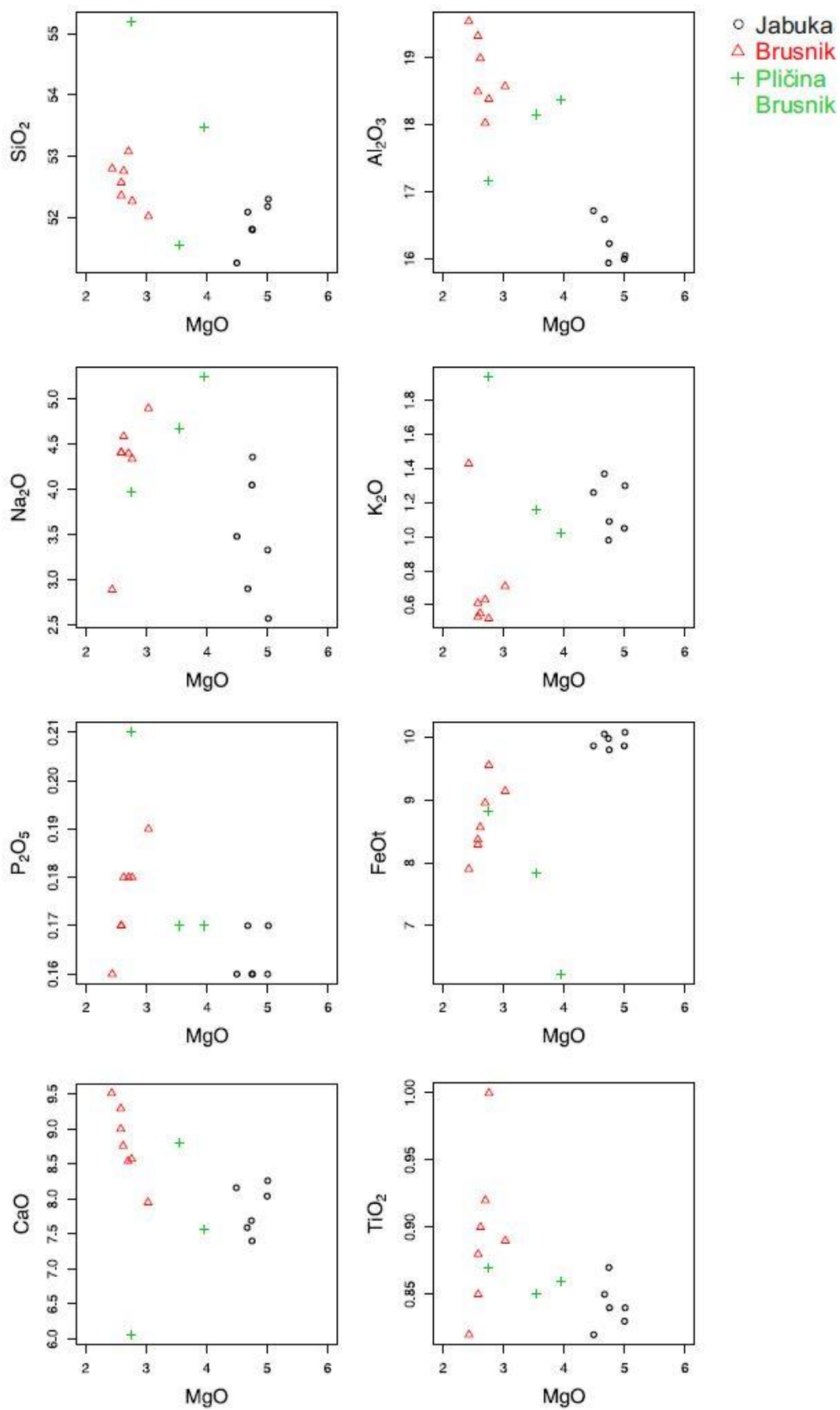
Dijagrami pokazuju slabo rasipanje podataka i ukazuju na kalk-alkalno područje i na toleite otočnog luka. Takvi podaci pokazuju da je magma jako kontaminirana sa kontinentalnom korom, što je moguće kod magmatizma vezanog uz ekstenziju ali i kod magmatizma vezanog uz subdukciju.

5.3 Varijacijski (Harker tip) dijagrami

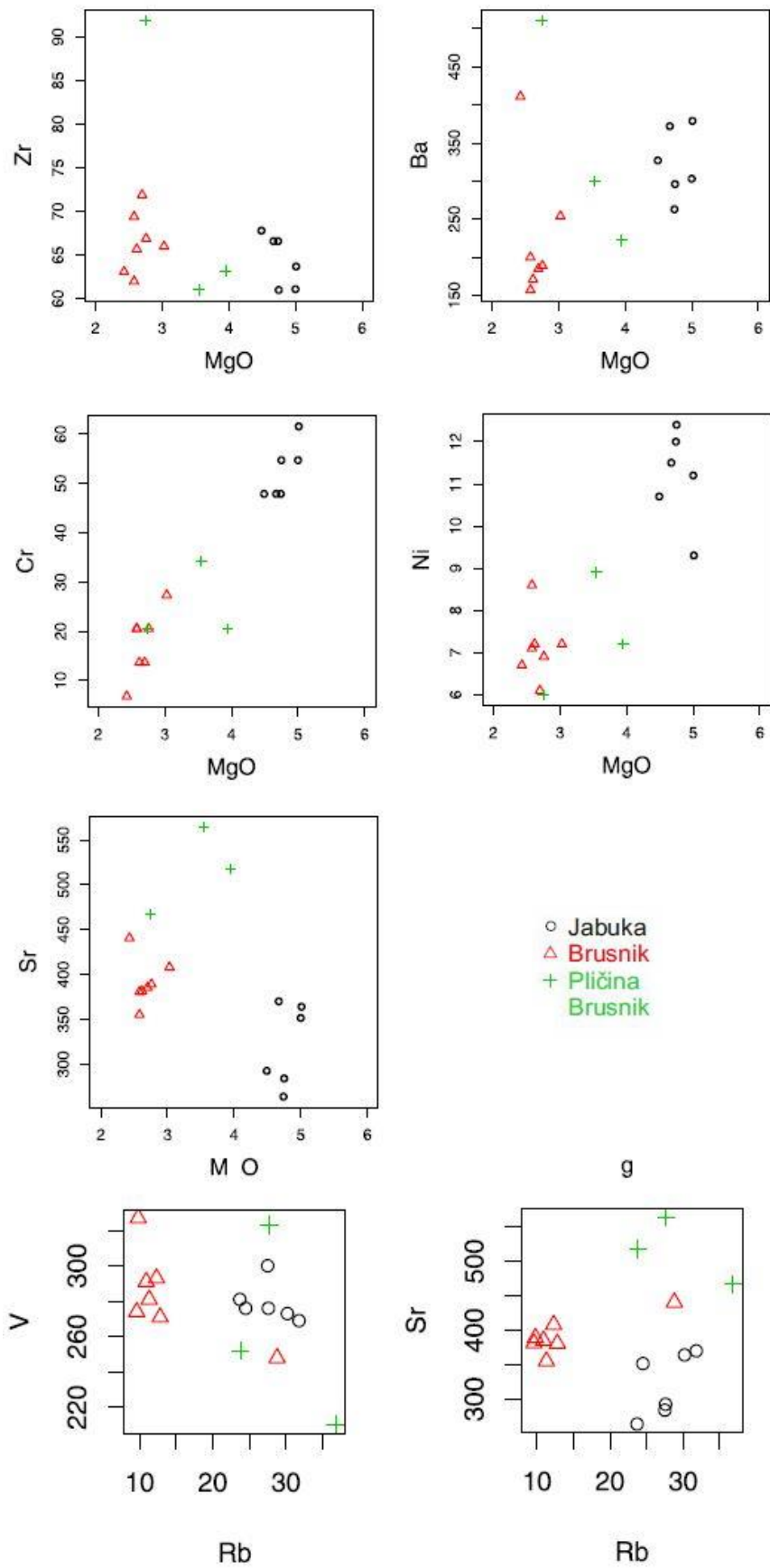
Harker tip dijagrama koristi se za praćenje trendova frakcijske kristalizacije i alteracija kroz koje prolazi stijena. Na Slici 41 možemo vidjeti odnose glavnih oksida s MgO. SiO₂ pokazuje vertikalni trend u sva tri uzorka, s malim rasipanjem kod uzoraka s Jabuke i Brusnika, te većim rasipanjem kod Plićine Brusnik. Taj trend je posljedica kristalizacije klinopiroksena. Osim SiO₂ praćenje trendova FeO, Cr i Ni (Slika 42) također govori o frakcijskoj kristalizaciji klinopiroksena, amfibola. U oba slučaja mogu se primijetiti više vrijednosti i grupiranje uzoraka s Jabuke, te izraženi vertikalni trendovi uzoraka s Brusnika. Uzorci s Plićine Brusnik pokazuju veće rasipanje, ali i vertikalne trendove u usporedbi SiO₂ i Cr s MgO.

Za praćenje trendova frakcijske kristalizacije plagioklasa korišteni su odnosi Na₂O, Al₂O₃, CaO i Sr s MgO. Mogu se primijetiti generalno veće vrijednosti uzoraka s Brusnika, te da sve skupine (Jabuka, Brusnik i Plićina Brusnik) pokazuju vertikalne sljedove što ukazuje na frakcijsku kristalizaciju plagioklasa. Uzorci Plićine Brusnik generalno prate taj vertikalni trend ali i ponovno pokazuju rasipanje vrijednosti.

Kristalizaciju apatita opisuje dijagram odnosa P₂O₅ i MgO. Vidi se izražen vertikalni trend kod uzoraka s Brusnika no on gotovo da i ne postoji kod uzoraka s Brusnika i Plićine Brusnik. Kristalizaciju cirkona opisuje dijagram odnosa Zr i MgO. Ponovno vidi se dobro grupiranje i generalni trend uzoraka s Jabuke i Brusnika, te rasipanje uzoraka Plićine Brusnik. Odnos Ba prema MgO govori o kristalizaciji feldspata, vidi se generalno vertikalni slijed koji upućuje na frakcionu kristalizaciju i dobro grupiranje uzoraka s Brusnika i Jabuke, te rasipanje uzoraka s Plićine Brusnik. Odnos TiO i MgO ukazuje na izraženu frakcijsku kristalizaciju opakih minerala i titanita kod uzoraka s Brusnika.



Slika 41. Harker tip dijagrama prikazuje glavne okside u odnosu na MgO.

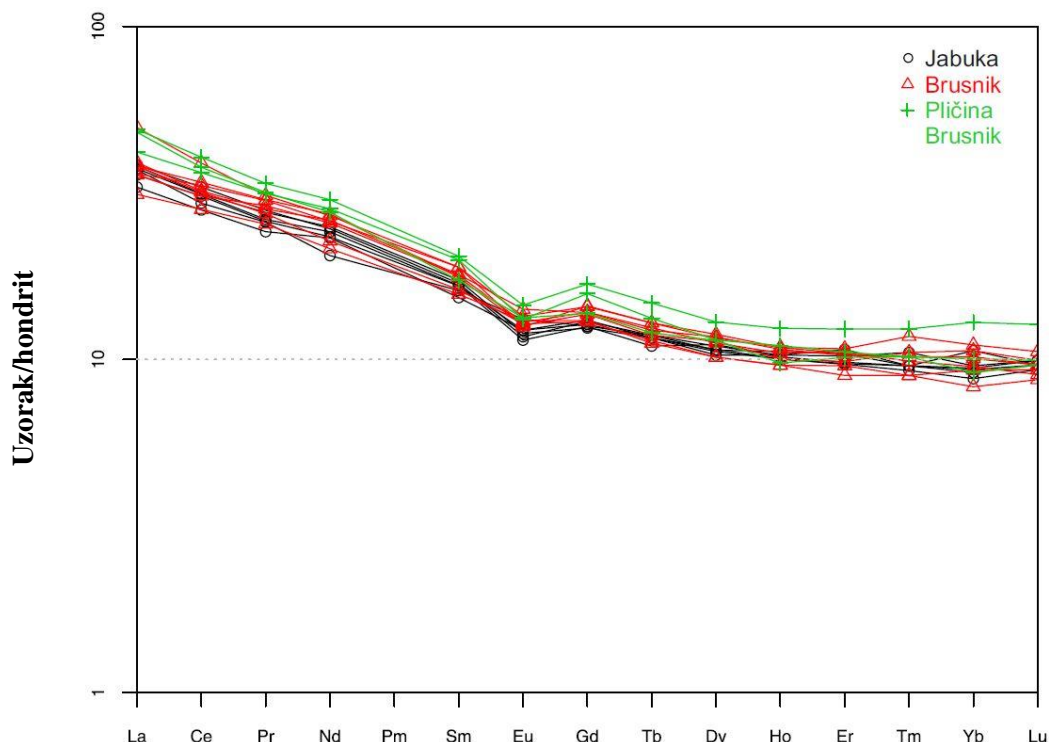


Slika 42. Harker tip dijagrama prikazuje odabrane mikroelemente u odnosu na MgO te V i Sr u odnosu na Rb.

5.4 Normalizirani multielementni „spider“ dijagrami

Dijagrami mikroelemenata prikazuju REE (*Rare Earth Elements* – elemente rijetkih zemalja) i ostale mikroelemente normalizirane na standard. Kao standardi korišteni su REE hondrit (Boynton, 1984), primitivni plašt (Sun i McDonough, 1989), OIB (basalt oceanskih otoka)-(Sun i McDonough, 1989), NMORB (basalt srednjeoceanskog hrpta)-(Sun i McDonough, 1989), i Upper Continental Crust (gornja kontinentalna kora)-(Taylor i McLennan, 1995).

REE dijagram normaliziran na hondrit (Boynton, 1984) prikazuje obogaćenje LREE (*light rare earth elements* odnosno lakih elemenata rijetkih zemalja) u odnosu na HREE (*heavy rare earth elements* odnosno teških elemenata rijetkih zemalja), te europijevu anomaliju (Slika 43). Obogaćenje LREE u odnosu na HREE upućuje na kontaminaciju magme tijekom prolaska kroz kontinentalnu koru koja je obogaćena na LREE ali i na stupanj parcijalnog taljenja, te na frakcionaciju. Također se mogu primijetiti nešto veće vrijednosti uzoraka Pličine Brusnik od uzoraka s Jabuke i Brusnika. Takve vrijednosti mogu se objasniti uznapredovalim procesom frakcijske kristalizacije stijena Pličine Brusnik, što može upućivati da su one mlađe od stijena Jabuke i Brusnika. Europijeva anomalija vidljiva na Slici 43 i u Tablici 3, te također ukazuje na frakcijsku kristalizaciju, to jest separaciju plagioklasa tijekom kristalizacije, u koje se djelomično ugradio Eu, te osiromašio preostalu taljevinu (Rollinson, 1981).



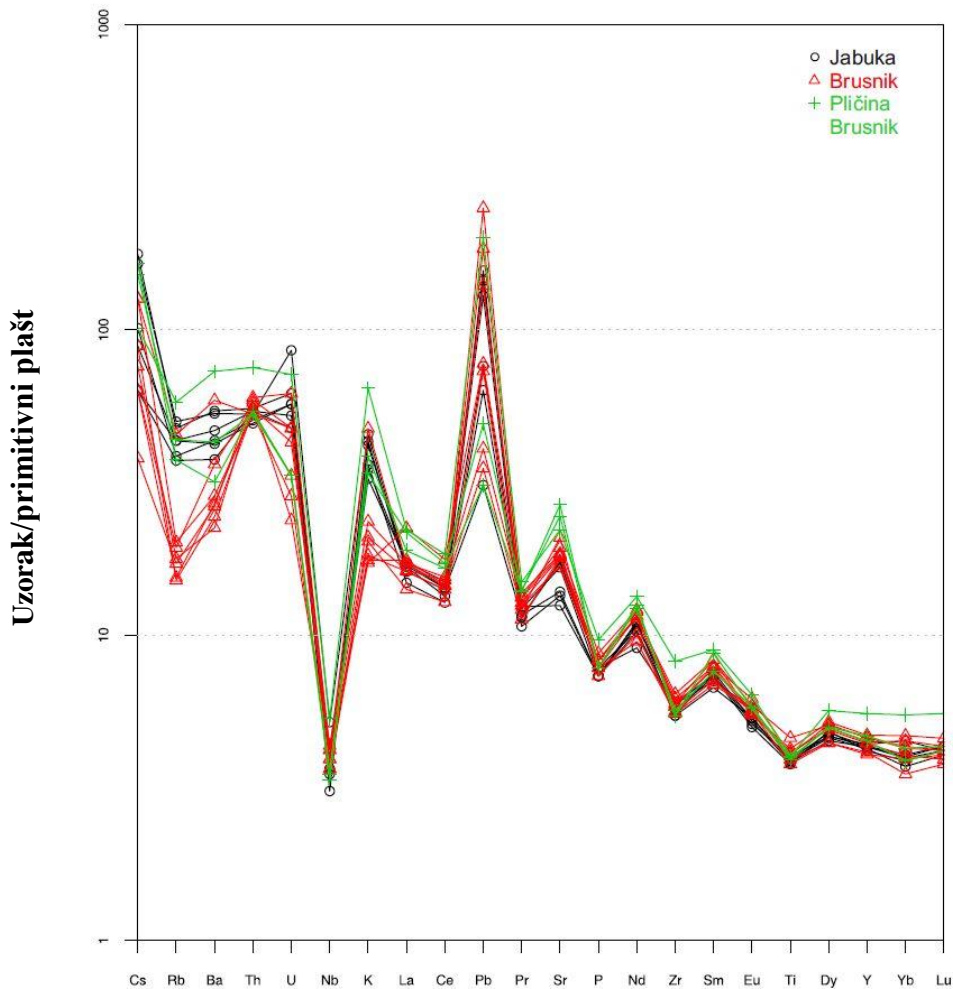
Slika 43. REE dijagram uzorka Jabuke, Brusnika i Pličine Brusnik normaliziran na hondrit (Boynton, 1984)

Tablica 3 prikazuje omjere i normalizirane vrijednosti karakterističnih REE elemenata. Važni su omjeri Eu/Eu^* , La_N/Yb_N , Ce_N/Sm_N i Eu_N/Yb_N . Vrijednosti omjera Eu/Eu^* pokazuju raspon od 0.75 do 0.94. Takve vrijednosti se znak relativno male, no ipak prisutne, negativne europijeve anomalije, koja pokazuje da je tijekom kristalizacije došlo do separacije plagioklasa u koje je ugrađen europij. Omjer La_N/Yb_N pokazuje razlike između LREE i HREE. Kao i na Slici 43 vidljivo je obogaćenje na LREE koje može biti posljedica stupnja parcijalnog taljenja. Omjer Ce_N/Sm_N pokazuje kolike su razlike unutar LREE. Kao što vidimo i na Slici 43, razlike postoje, te se vrijednosti smanjuju što se više približavamo HREE. Omjer Eu_N/Yb_N pokazuje razlike unutar HREE, koje kao što se vidi i na Slici 43 nisu velike.

Tablica 3. Omjeri i normaliziranih vrijednosti nekih REE elemenata:

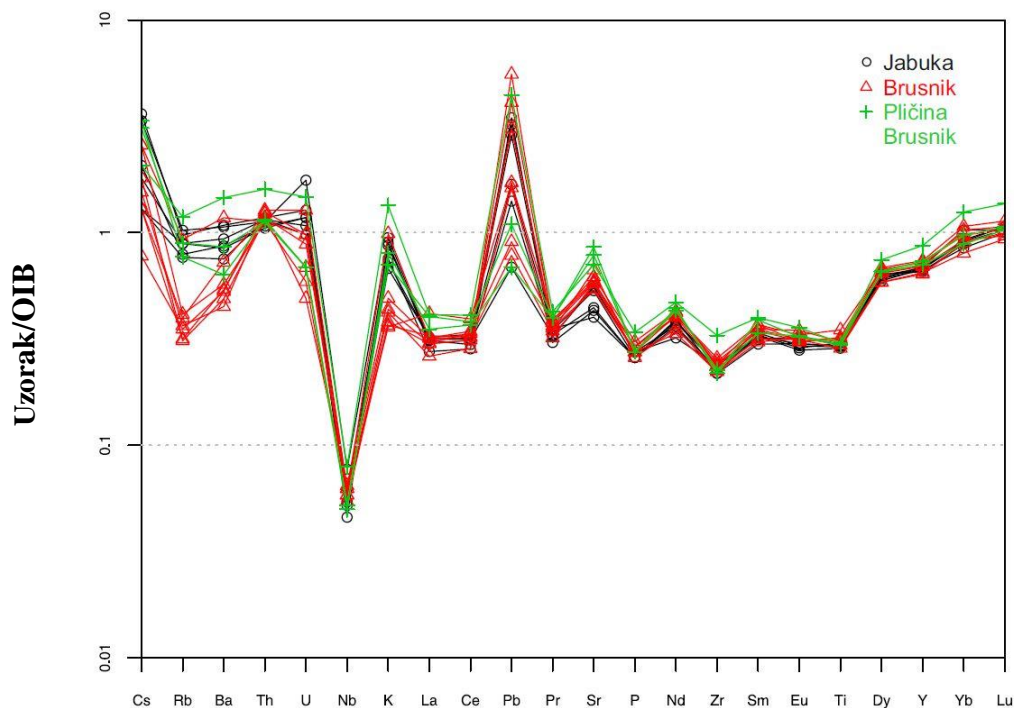
Uzorak	Yb_N	Lu_N	Eu/Eu^*	La_N/Yb_N	La_N/Sm_N	Ce_N/Yb_N	Ce_N/Sm_N	Eu_N/Yb_N	SumREE
J1	10,62	9,63	0,79	3,61	2,27	3,1	1,95	1,1	74,02
J2	8,76	9,32	0,88	3,76	2,15	3,21	1,83	1,4	66,07
J3	9,57	9,94	0,93	3,88	2,3	3,08	1,83	1,38	67,76
J4	9,33	9,63	0,82	4,08	2,2	3,37	1,82	1,28	72,47
J5	9,14	9,63	0,79	4,09	2,25	3,43	1,88	1,25	71,36
J6	9,43	9,94	0,83	3,8	2,16	3,28	1,86	1,3	70,17
B1	11,05	10,56	0,76	3,27	1,91	3,01	1,76	1,13	76,23
B2	9,28	9,32	0,91	3,37	1,99	3,04	1,8	1,41	64,82
B3	8,28	8,7	0,88	4,6	2,35	3,84	1,96	1,55	70,71
B4	10,05	9,63	0,82	4,94	2,63	3,87	2,05	1,34	85,25
B5	9,52	9,01	0,82	3,76	2	3,25	1,73	1,36	72,82
B6	10,19	9,63	0,9	3,83	2,17	3,15	1,78	1,39	75,32
B7	10,62	9,94	0,81	3,58	2,16	3,2	1,93	1,19	77,18
PB1	12,92	12,73	0,79	3,8	2,4	3,13	1,98	1,13	91,39
PB2	10,05	9,94	0,75	4,17	2,11	3,62	1,83	1,31	82,23
PB3	9,14	9,63	0,87	5,26	2,78	4,13	2,18	1,46	83,4

Uzorci su također normalizirani na primitivni plašt (Slika 44) prema Sun i McDonough (1989) sa ciljem utvrđivanja koliko se razlikuje sastav magme iz koje su nastali Jabuka, Brusnik i Pličina Brusnik od pretpostavljenog sastava plašta. Vidi se veliki utjecaj kontinentalne kore po koncentracijama elemenata deset do nekoliko desetaka puta većim od plašta. Vidljiva je izrazita Nb anomalija kao i nešto niža vrijednost P, Zr i Ti. Također se mogu primijetiti visoke koncentracije Pb, U, Th i K. Takve vrijednosti ukazuju na kontaminaciju kontinentalnom korom i frakcijsku kristalizaciju magme iz koje su stijene nastale. Visok omjer LILE/HSFE (LILE – *Large Ion Liofile Elements*)-(HSFE – *High Field Strength Elements*), te niske koncentracije Ni i Cr ukazuju da je izvorišni materijal porijeklom iz gornjeg plašta ili da je nastao taljenjem donjeg dijela kontinentalne kore. Vrijednosti za uzorke Pličine Brusnik su ponovno nešto veće od uzoraka s Jabuke i Brusnika.



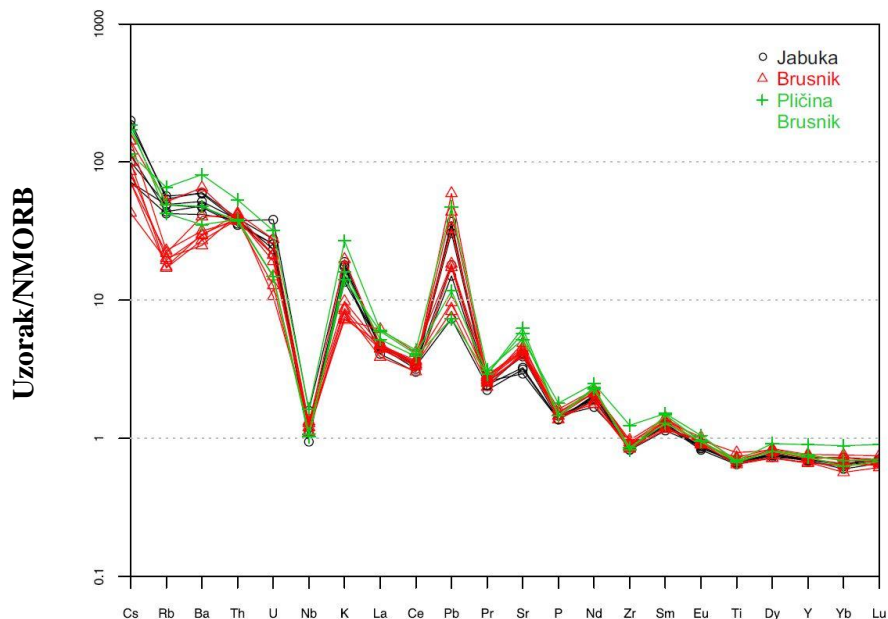
Slika 44. Dijagram mikroelemenata uzorka s Jabuke, Brusnika i Pličine Brusnik normaliziran na primitivni plašt prema Sun i McDonough (1989)

Dijagram mikroelemenata uzoraka s Jabuke, Brusnika i Plićine Brusnik normaliziran na OIB (Slika 45) - (*Ocean Island Basalt* – bazalti oceanskih otoka) također prikazuje izrazitu Nb anomaliju kao i više vrijednosti Pb što je rezultat kontaminacije kontinentalnom korom. OIB magmatizam sličan je onom unutar tektonskih ploča, te su zbog toga vrijednosti Jabuke, Brusnika i Plićine Brusnik bliže OIB-u, na što ukazuje i relativno ujednačen omjer LILE/HFSE. Vrijednosti za uzorke Plićine Brusnik su ponovno nešto veće, no poklapaju se s vrijednostima uzoraka s Jabuke i Brusnika.



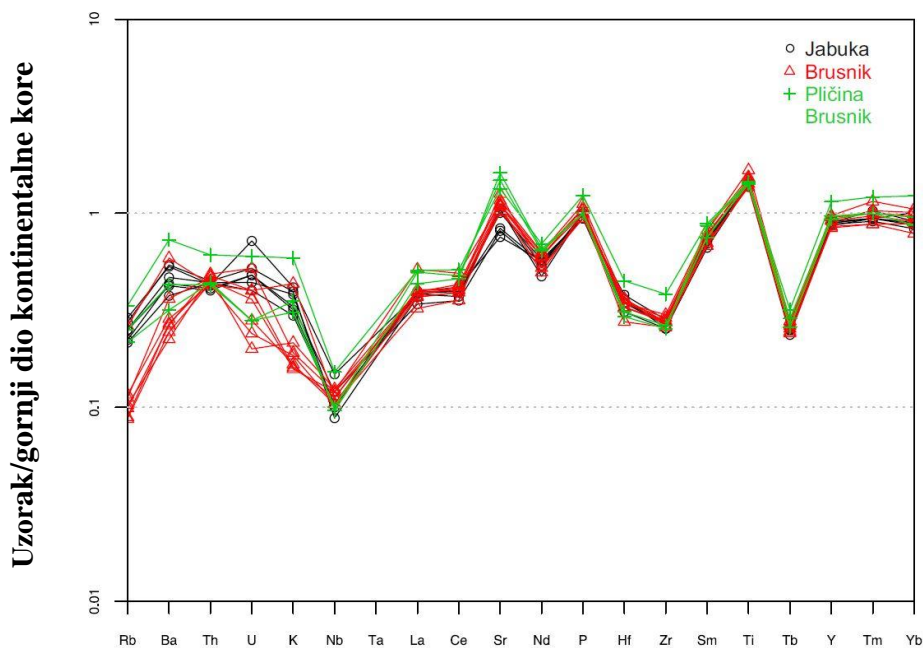
Slika 55. Dijagram mikroelemenata uzorka s Jabuke, Brusnika i Plićine Brusnik normaliziran na OIB (*Ocean Island Basalt* – bazalti oceanskih otoka) prema Sun i McDonough (1989)

Dijagram mikroelemenata uzorka s Jabuke, Brusnika i Plićine Brusnik normaliziran na NMORB (Slika 56) također pokazuje kontaminaciju magme kontinentalnom korom, te visok omjer LILE/HFSE, obogaćenje na K i Pb, osiromašenje na Nb, Zr, Ti pokazuju utjecaj metasomatskih procesa na izvorišnu taljevinu. Kao i u prethodnim dijagramima vrijednosti za uzorke Plićine Brusnik su ponovno nešto veće.



Slika 56. Dijagram mikroelemenata uzorka s Jabuke, Brusnika i Plićine Brusnik normaliziran na NMORB Sun i McDonough (1989)

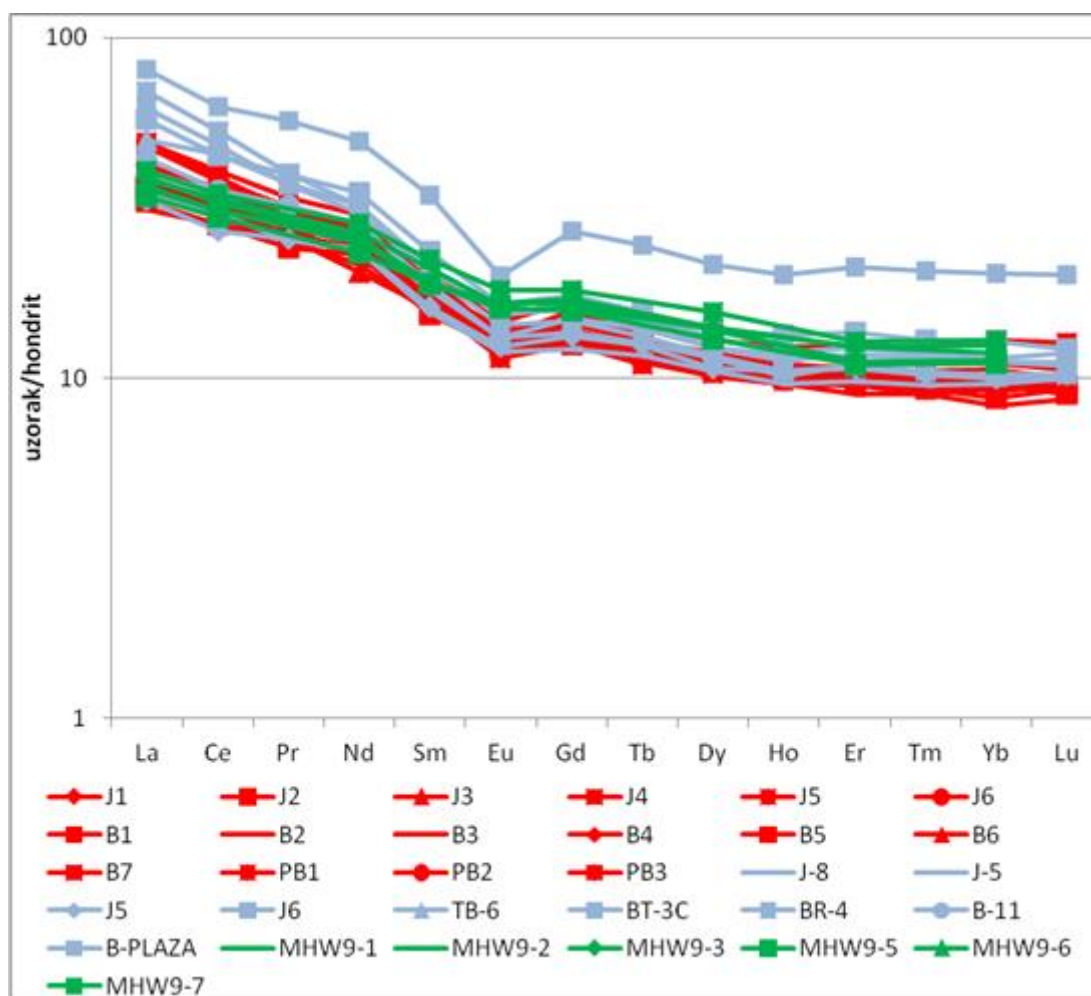
Dijagram mikroelemenata uzoraka s Jabuke, Brusnika i Plićine Brusnik normaliziran na gornji dio kontinentalne kore (Slika 57) pokazuje koliki je utjecaj kontinentalna kora imala na taljevinu. Relativno ujednačen omjer LILE/HFSE ukazuje na to da je materijal iz kojeg su nastale istraživane stijene sličan materijalu koji je kontaminirao magmu dok je kristalizirala. Relativno niske vrijednosti Rb, Ba, Th, U, K i Nb u odnosu na gornji dio kontinentalne kore ukazuju na utjecaj plašta. Kao i u prethodnim dijagramima vrijednosti za uzorke Plićine Brusnik su ponovno nešto veće, no prate sve trendove uzoraka s Jabuke i Brusnika.



Slika 57. Dijagram mikroelemenata uzorka s Jabuke, Brusnika i Plićine Brusnik normaliziran na gornji dio kontinentalne kore prema Taylor i McLennan (1995)

5.5 Usporedba geokemijskih podataka ovog istraživanja, prijašnjih istraživanja i odabranih CAMP lokaliteta.

Za usporedbu dobivenih podataka s podacima iz prijašnjih istraživanja ovih otoka i stijena koje pripadaju CAMP-u korišteni su dijagrami napravljeni pomoću Microsoft Excell 2010 programa. Usporediti će se podaci dobiveni u istraživanju za diplomski rad Razum (2009), te podaci iz znanstvenog rada Bensalah i dr. (2011) vezanih uz CAMP lokalitet u Maroku. Slika 58 prikazuje usporedbu elemenata rijetkih zemalja normaliziranih na hondrit (vrijednosti iz Boyton, 1984). Podaci uzoraka Jadranskog podmorja i Maroka se vrlo dobro poklapaju. Zbog manje Eu anomalije može se zaključiti da su stijene istraživane u Bensalah i dr. (2011) prošle kroz nešto manje intenzivnu frakcionaciju plagioklasa, te da su manje kontaminirane kontinentalnom korom ili su nastale pri nižem stupnju parcijalnog taljenja, te su manje frakcionirane zbog nešto nižih vrijednosti LREE i viših vrijednosti HREE.

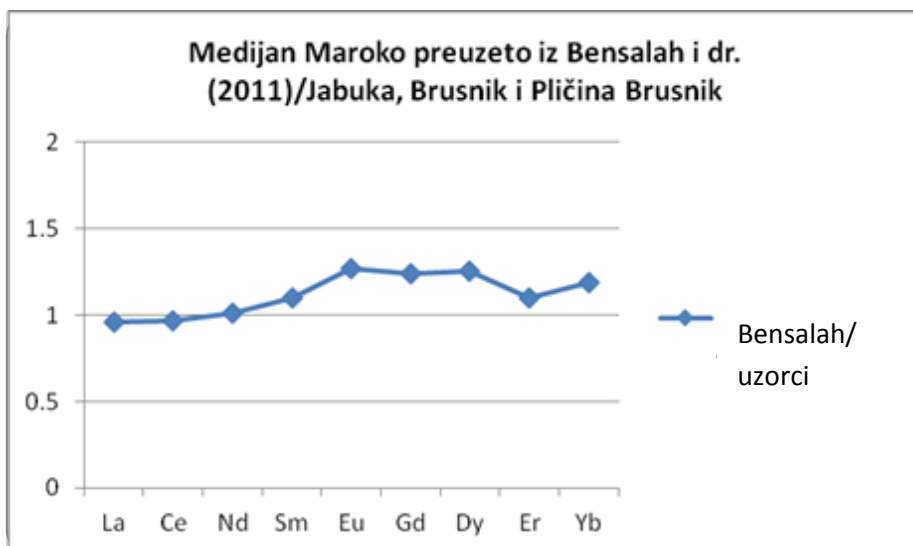


Slika 58. Usporedba REE normaliziran na hondrit: Jabuka, Brusnik, Pličina Brusnik (crveno); Jabuke i Brusnika iz Razum (2009) (plavo); CAMP – Maroko iz Bensalah i dr., (2011) (zeleno)

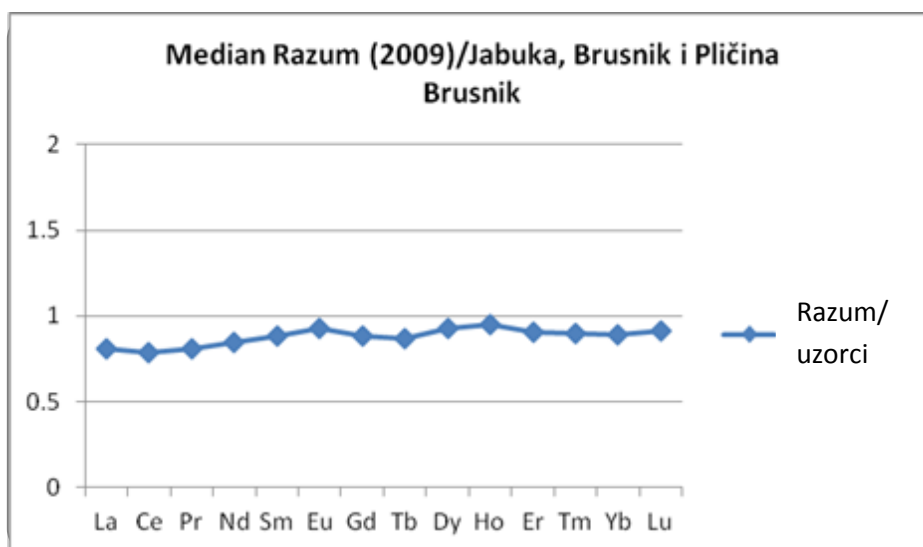
Sličan sastav stijena može se prikazati i normalizacijom stijena istraživanih u Bensalah i dr. (2011) sa stijenama Jabuke, Brusnika i Pličine Brusnik. Da bi rezultati bili bolje predočeni, vrijednosti REE oba istraživana prvo su statistički obrađene, izračunat je medijan za svako istraživanje (Tablica 4), te je medijan podataka iz Bensalah i dr. (2011) normaliziran na medijan uzoraka u ovom istraživanju. Vidljivo je da se uzorci prikupljeni tijekom ronilačke eksterkurzije vrlo dobro poklapaju s uzorcima iz istraživanja Bensalah i dr., 2011, sa već spomenutim razlikama Eu i HREE (Slika 59). Za usporedbu isti postupak (računanje medijana i normalizacija) prikazan na Slici 60 primijenjen je na uzorke iz prijašnjeg istraživanja Razum (2009), te možemo zaključiti da se i ti podaci poklapaju, što je i sasvim očekivano.

Tablica 4. Vrijednosti uspoređenih REE preuzetih iz Bensalah i dr. (2011) i podataka prikupljenih u ovom istraživanju te izračunati medijani:

Maroko preuzeto iz Bensalah i dr. (2011)									
Uzorak	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Er	Yb
	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
MHW9-1	11,8	27	16	4,1	1,2	4,4	4,55	2,6	2,48
MHW9-2	11,3	25	15,4	3,75	1,17	4,15	4,5	2,35	2,35
MHW9-3	12	26,5	15,5	3,65	1,22	4,3	4,5	2,6	2,6
MHW9-5	10,6	24	14	3,7	1,18	4,1	4,2	2,3	2,3
MHW9-6	11,1	25	15	3,7	1,22	4,4	4,45	2,35	2,35
MHW9-7	12,6	28	17	4,35	1,33	4,7	5,05	2,7	2,7
Medijan	11,30	25,00	15,40	3,70	1,20	4,30	4,50	2,35	2,35
Jabuka, Brusnik, Pličina Brusnik									
Uzorak	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Er	Yb
	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
J1	11,9	26,6	14,8	3,3	0,86	3,37	3,43	2,18	2,22
J2	10,2	22,7	13,9	2,99	0,9	3,3	3,4	2,03	1,83
J3	11,5	23,8	12,3	3,14	0,97	3,26	3,53	2,15	2
J4	11,8	25,4	15	3,37	0,88	3,22	3,32	2,25	1,95
J5	11,6	25,3	14,5	3,25	0,84	3,25	3,57	2,06	1,91
J6	11,1	25	14	3,24	0,9	3,4	3,45	2,04	1,97
B1	11,2	26,9	15,6	3,69	0,92	3,75	3,83	2,26	2,31
B2	9,7	22,8	12,9	3,06	0,96	3,39	3,27	1,88	1,94
B3	11,8	25,7	13,6	3,16	0,94	3,36	3,27	2,01	1,73
B4	15,4	31,4	16,2	3,69	0,99	3,73	3,73	2,19	2,1
B5	11,1	25	15,4	3,49	0,95	3,59	3,61	2,21	1,99
B6	12,1	25,9	15,7	3,51	1,04	3,58	3,76	2,16	2,13
B7	11,8	27,5	16,4	3,44	0,93	3,54	3,66	2,07	2,22
PB1	15,2	32,7	18,1	3,98	1,07	4,36	4,17	2,59	2,7
PB2	13	29,4	17	3,88	0,97	4,08	3,68	2,21	2,1
PB3	14,9	30,5	16,6	3,37	0,98	3,56	3,67	2,13	1,91
PB3	14,9	30,5	16,6	3,37	0,98	3,56	3,67	2,13	1,91
Medijan	11,80	25,80	15,20	3,37	0,95	3,47	3,59	2,14	1,98
Omjer medijana Maroko preuzeto iz Bensalah i dr. (2011)/Jabuka, Brusnik, Pličina Brusnik									
	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Er	Yb
Medijan	0,96	0,97	1,01	1,10	1,27	1,24	1,25	1,10	1,19



Slika 59. Usporedba REE CAMP (Maroko - Bensalah i dr.(2011)) normaliziran na stijene istraživane u ovom radu



Slika 60. Usporedba REE Jabuke i Brusnika iz Razum (2009) normaliziran na stijene istraživane u ovom radu

6. Zaključci

Makroskopskom obradom uzoraka magmatskih stijena prikupljenih tijekom ronilačke ekspedicije na otocima Jabuka i Brusnik, te na Pličini Brusnik, utvrđeno je da stijene sa sva tri lokaliteta pripadaju intruzivnom varijetetu gabra (u slučaju Jabuke gabro-dioritu), a međusobno se razlikuju po intenzitetu alteracijskih procesa na mineralima. Primjetne su razlike ne samo u mineralnom sastavu, već i u veličini zrna, no generalno te razlike između Jabuke, Brusnika i Pličine Brusnik nisu velike i može se reći da se radi o vrlo sličnoj stijeni.

Mikroskopskom analizom utvrđene su strukturne i teksturne karakteristike, te je detaljnije proučen odnos mineralnih vrsta u mikroskopskim preparatima. Određen je modalni sastav stijena: 65 do 70 vol.% plagioklasa, 25 do 30 vol.% piroksena od kojih su neki alterirani u amfibole ili klorite, te 5 vol.% prehnita, opákih minerala i biotita. Mikroskopska analiza je potvrdila makroskopsku terensku odredbu stijena kao gabro u slučaju Jabuke i Brusnika, dok je za Pličinu Brusnik, zbog povećanog udjela biotita, a smanjenog udjela piroksena, stijena određena kao gabro-diorit. Također, utvrđeni su procesi izmjena kao što su kloritizacija, uralitizacija, albitizacija i prehnitizacija koja uz druge utvrđene karakteristike upućuje na procese niskog stupnja metamorfizma.

Podaci geokemijskih cijelostjenskih analiza i klasifikacijski dijagrami pokazuju da su istraživane stijene gabro. Geokemijske razlike između stijena Jabuke, Brusnika i Pličine Brusnik su male, te potječu iz različitog stupnja izmijenjenosti stijena.

Geokemijskim dijagramima za geotektonsku pripadnost utvrđeno je da uzorci pripadaju prijelaznim do subalkalnim stijenama (kalcijsko-alkalijskim) što potvrđuje pretpostavku o magmatizmu vezanom uz riftovanje. Razlike između stijena Jabuke, Brusnika i Pličine Brusnik su ponovno male i sa geokemijskog stajališta.

Varijacijski (Harker tip) dijagrami ukazuju na frakcijsku kristalizaciju u svim uzorcima, no primjetne su razlike u stupnju frakcijske kristalizacije na pojedinim lokalitetima. Ovdje se može primijetiti razlika između Jabuke, gdje je dominantna frakcijska kristalizacija piroksena, Brusnika gdje je dominantna frakcijska kristalizacija plagioklasa, te Pličine Brusnik gdje je rasipanje podataka veliko ali ipak prati trendove koje obilježavaju Jabuku i Brusnik.

Dijagrami mikroelemenata potvrđuju ranije naznačene hipoteze (Pamić i Balen, 2005; Palinkaš i dr., 2010) o magmatizmu vezanom uz riftne procese, te procese frakcijske kristalizacije i kontaminacije kontinentalnom korom tijekom kristalizacije magme. Visoki

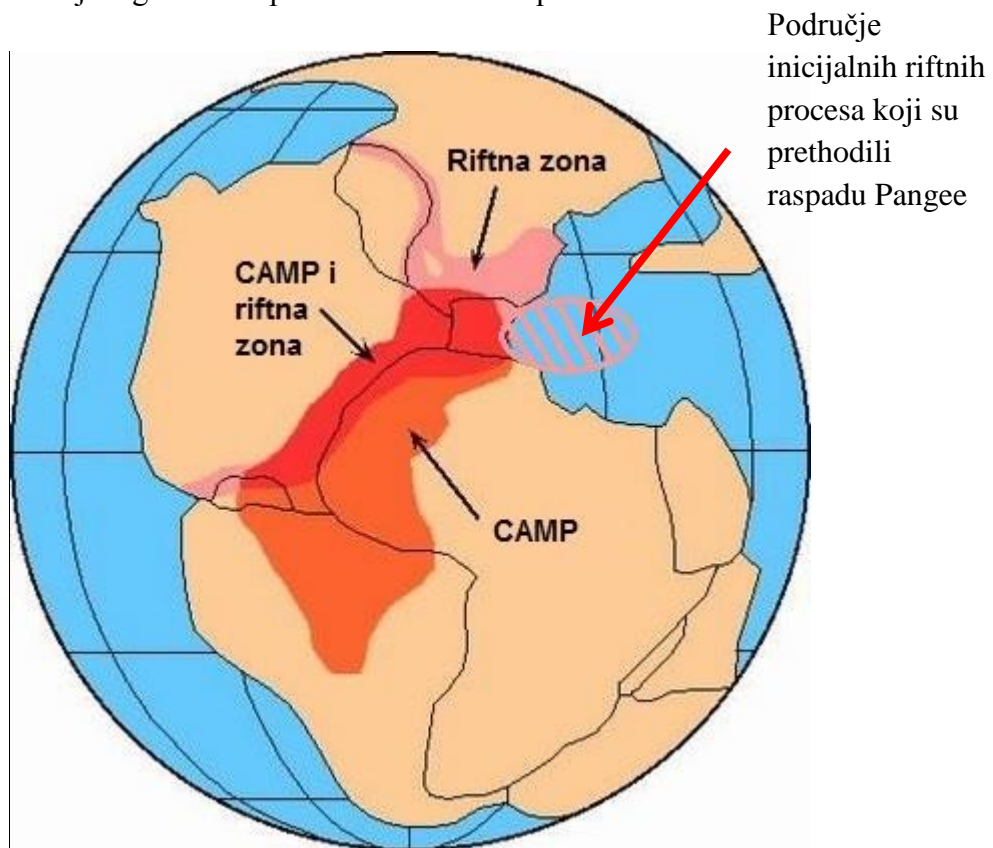
omjeri HSFE/LILE, i LREE/HREE opisuju proces prolaska magme kroz kontinentalnu koru, obogaćenje na LREE i fracionaciju izvorišne magme. Geokemijski podaci ukazuju da je izvorišni materijal porijeklom iz gornjeg plašta ili da je nastao taljenjem donjeg dijela kontinentalne kore. Uzorci s Plićine Brusnik prate trendove Jabuke i Brusnika no imaju nešto više vrijednosti što može ukazivati na intenzivniju frakcijsku kristalizaciju.

Podaci dobiveni ovim istraživanjem uspoređeni su s ranijim istraživanjem provedenim u Maroku (Bensalah i dr., 2011). Utvrđeno je da se ti podaci vrlo dobro slažu s podacima dobivenim u ovom istraživanju. Takvo preklapanje podataka je uzrokovano sličnim procesima nastanka, te sličnim sastavom izvorišne taljevine.

Sinteza ovih podataka može se utvrditi:

1. Stijene Plićine Brusnik su slične onima s Jabuke i Brusnika, pripadaju istom magmatskom događaju, te su prošle kroz iste kristalizacijske i metasomatske uvjete. Razlike među njima uvjetovane su različitim intenzitetom alteracija i trošenja, te nekim razlikama u stupnjevima frakcijske kristalizacije i kontaminacije je moguć pokazatelj stratifikacije magmatskog tijela.
2. Geokemijske karakteristike stijena Jabuke, Brusnika i Plićine Brusnik (visok omjer HSFE/LILE i LREE/HREE) upućuju da su stijene tijekom kristalizacije prošle identične kroz procese parcijalnog taljenja, frakcijske kristalizacije, te da kontaminirane kontinentalnom korom. Takve karakteristike, te vrijednosti drugih mikroelemenata, ukazuju da su istraživane stijene nastale uslijed ekstenzijskih procesa, što se uklapa u hipotezu da su stijene Jabuke, Brusnika i Plićine Brusnik nastale permo-trijaskim riftnim procesima (Pamić i Balen, 2005; Palinkaš i dr., 2010).
3. Geokemijski potpis stijena Jabuke, Brusnika i Plićine Brusnik vrlo je sličan potpisu stijena istraženih u Maroku (Bensalah i dr., 2011) koje su povezane s CAMP riftnim sustavima. Permo-trijasko riftovanje na području Jadranske mikroploče potencijalno se može smatrati inicijalnim procesom koji je prethodio riftnim procesima koji su doveli do raspada superkontinenta Pangea i stvaranja CAMP-a.

Potrebno je u budućnosti izvršiti detaljna ispitivanja na pličinama u blizini Jabuke i Brusnika da bi se utvrdila njihova povezanost s stijenama Jabuke i Brusnika. Također su vrlo zanimljivi podaci iz bušotina na tom području koje su napravljene u potrazi za naftom i plinom, a mogle bi sadržavati bitne podatke o veličini magmatskog tijela čiji su dio Jabuka, Brusnik i Pličina Brusnik. Stijene Jabuke, Brusnika i okolnih pličina mogu se smatrati dijelom inicijalnih riftnih procesa koji su prethodili raspadu Pangee i stvaranju CAMP-a (Slika 61). Potrebno je dodatno istražiti i usporediti geokemijske i magnetostratigrafske karakteristike Jadranskih magmatskih stijena sa stijenama vezanim uz CAMP magmatizam. Na taj način mogao bi se otkriti karakter veze permo-trijaskih riftnih procesa na Jadranskoj mikroploči i riftnih procesa koji su doveli do raspada superkontinenta Pangee što bi dodatno upotpunilo naše znanje o globalnim procesima tektonike ploča.



Slika 61. Modificirana skica CAMP-a (*Central Atlantic Magmatic Province – centralna Atlantska magmatska provincija*)-(preuzeto s <http://chinleana.fieldofscience.com/2009/06/central-atlantic-magmatic-province-and.html>)

7. Popis literature

Balogh, K., Colantini, P., Guerrera, F., Majer, V., Ravasz-Baranyai, L., Renzulli, A., Veneri, F. i Alberini, C. (1994): The medium-grained gabbro of the Jabuka Islet („Scoglio del Pomo“, Adriatic Sea). *Giron. Geologia (Bologna)*, 56, str. 13-25.

Bensalah, M.K., Youbi, N., Mahmoudi, A., Bertrand, H., Mata, J., El Hachimi, H., Madeira, J., Martins, L., Marzoli, A., Bellon, H., Medina, F., Karroum, M., Karroum, L.A. i Ben Abbou, M. (2011): The Central Atlantic Magmatic Province (CAMP) volcanic sequences of Berrechid and Doukkala basins (Western Meseta, Morocco): volcanology and geochemistry. *Comunicações Geológicas*, Vol. 98, str. 15-27 ISSN: 0873-948X; e-ISSN: 1647-581X

Bird, D.K. i Helgeson, H.C. (1981): Chemical interaction of aqueous solutions with epidote-feldspar mineral assemblages in geologic systems. II. Equilibrium constraints in metamorphic/geothermal processes. *Am. J. Sci.; (United States); Journal Vol: 281:5 OSTI 6494772*

Boles, J. R. (1982): Active albitization of plagioclase, Gulf Coast Tertiary. *Am. J. Sci.* February 1, 1982 282:str.165-180; doi:10.2475/ajs.282.2.165

Boynton, W. V. (1984): *Geochemistry of the rare-earth elements: meteorite studies*. U: Henderson P. (ur.) *Rare Earth Element Geochemistry*, Elsevier, Amsterdam.

Brkić, M., Špoljarić, D. i Markovinović, D. (2011): Geomagnetska i GNSS izmjera vrha otočića Jabuke. *Geod. list*, 3, 195–204.

Bucher, K. i Frey, M. (2002): *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. 7th ed. xvi + 341 str. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag. ISBN 3 540 43130 6.

Coleman, R. G. (1967): Low-temperature reaction zones and alpine ultramafic rocks of California, Oregon, and Washington: U.S. Govt. Print. Off., Bulletin 1247, 49 str.

Cox, K. G., Bell, J. D. i Pankhurst, R. J. (1979): *The Interpretation of Igneous Rocks*. George Allen & Unwin.

Crnjaković, M. (1998): Volcanoes on the Adriatic Islands? Catalogue to the Exhibition of the Croatian Natural History Museum. Zagreb: Croatian Natural History Museum, 40 str. (in Croatian and English).

Cumin, G. (1921): Il diabase dello scoglio Pomo (Dalmazia). Bolletino della Societa geologica Italiana, Vol. XL, Roma, str. 156-158. Preuzeto iz Golub i Vragović (1975).

De Min, A., Jourdan, F., Marzoli, A., Renne, P.R., i Juračić, M. (2009): The tholeiitic Magmatism of Jabuka, Vis and Brusnik Islands: a Carnian magmatism in the Adria Plate. Rendiconti online Soc. Geol. It., Vol. 9, str. 85-87

Garašić, V., Vrkljan, M., Tadej, N. i Majer, V. (2001): Dolerites from the islet of Brusnik (Adriatic Sea, Croatia). Berichte der Deutschen Mineralogische Gesellschaft, 13: str. 56–56.

Golub, L. i Vragović, M. (1975): Eruptivne stijene dalmatinskih otoka (Vis, Jabuka i Brusnik). Prirodoslovna istraživanja 41, Zagreb, Acta Geol., 8/4 str. 19-63.

Hauer, F. (1882): Der Scoglio Brusnik bei St. Andrea in Dalmatien. Verhandlungen der geol. Reichsanstalt, Jahrgang 1882, str. 75-77. Preuzeto iz Kišpatić (1892).

Herak, D., Herak, M., Prelogović, E., Markušić, S. i Markulin, Ž. (2005): Jabuka island (Central Adriatic Sea) earthquakes of 2003. Tectonophysics, 398, str. 167–180.

HHI (1980): Nautical chart 300–33, Pescara–Split, Scale 1:300000. Hrvatski hidrografski institut, Split. (preuzeto iz Juračić i dr., 2004)

HHI (2000): Coastal chart 100–22, Jabuka–Vis, Scale 1:100000. Hrvatski hidrografski institut, Split. (preuzeto iz Juračić i dr., 2004)

Janoušek, V., Farrow, C. M. i Erban, V. (2006): Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). Journal of Petrology 47: str. 1255-1259.

Juračić, M., Novosel, A., Tibljaš, D., i Balen, D. (2004) : Jabuka Shoal, a New Location with Igneous Rocks in the Adriatic Sea. Geologia Croatica, 57/1, str.81-85.

Kišpatić, M. (1892): Eruptivno kamenje u Dalmaciji. Rad, JAZU, 111 (15), Zagreb, str. 159-190.

Nemec, O. (1966): Plagioclase albitization in the lamprophyric and lamproid dykes at the eastern border of the Bohemian Mass, Contributions to Mineralogy and Petrology 1966, Vol: 12/4, str. 340-353

Palinkaš, L.A., Borojević Šoštarić, S., Strmić Palinkaš, S., Crnjaković, M., Neubauer, F., Molnár, F. i Bermanec, V. (2010); Volcanoes in the Adriatic Sea: Permo-Triassic magmatism on the Adriatic–Dinaridic carbonate platform. IMA2010 FIELD TRIP GUIDE HR1, Acta Mineralogica-Petrografica, Field guide series, Vol. 8.

Pamić, J. i Balen, D. (2005): Interaction between Permo-Triassic rifting, magmatism and initiation of the Adriatic-Dinaridic carbonate platform (ADCP). Acta Geologica Hungarica, 45: str. 181–204.

Pearce, J. A. i Cann, J. R. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. Earth and Planetary Science Letters 19, str. 290–300.

Peccerillo, A. i Taylor, S. R. (1976): Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology 58, str. 63–81.

Pelleri, L. C. (1942): Sulle rocce dioritiche degli scogli Pomo e Mellisello nel Mare Adriatico. Periodico di Mineralogia, anno XIII, n. 2, Roma, str. 191-199. Preuzeto iz Golub i Vragović, (1975).

Pešut, K. (2002): Izvorišne stijene otoka Jabuka i okolni marinski sedimenti. Diplomski rad, Prirodoslovno Matematički Fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 83 str.

Raffaelli, P. i Mamužić, P. (1968): Explanatory notes for the geological map 1:50.000, sheet Svetac. Manuscript, Archive of the Geological Survey, Zagreb, 108 str. (in Croatian).

Raffaelli, P. (1977): Explanatory notes for the basic geological map 1:100.000, sheet Jabuka, K33-31. Geological Survey, Zagreb, 107 str. (in Croatian).

Razum, I. (2009): Magmatske stijene Brusnika i Jabuke. Diplomski rad, Prirodoslovno Matematički Fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 80 str.

Rollinson, H. R. (1993): Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. 352 str.

Schmid S.M., Bernoulli D., Fugenschum B., Matenco L., Schefer S., Schuster R., Tischler M i Ustaszewski K. (2008): The Alpine-Carpathian-Dinaric orogenic system.: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss J. Geosci.* 101, str. 139-183. (preuzeto iz De Min i dr, 2009).

Sun S.S., i McDonough W.F., (1989): Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. U: Saunders A.D. and Norry M.J. (ur.), *Magmatism in ocean basins.* Geol. Soc. London. Spec. Pub. 42, str. 313-345. Preuzeto iz Rollinson (1993).

Taylor, S.R. i McLennan, S.M. (1995): The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews in Geophysics* 33: str. 241-265.

Tučan, F. (1953): O istraživanju eruptivnih stijena otoka Jabuke, Brusnika i Visa. *Ljetopis Jug. Akad.* 57, Zagreb, str. 215-225.

Vrkljan, M. (1979): Neki mikroelementi u eruptivnim stijenama dalmatinskih otoka [Some trace elements in igneous rocks of the Dalmatian islands-in Croatian]. *Geol. Vjesnik*, 31, str. 309-314.

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

Slike preuzete s web lokacija:

<http://www.google.com/earth/index.html>

<http://www.alternatura.hr/wp-content/uploads/2012/02/brusnik.jpg>

<http://chinleana.fieldofscience.com/2009/06/central-atlantic-magmatic-province-and.html>

http://s2.pticica.com/foto/0000283455_1_0_tEWKa5.jpg

8. Sažetak

Magmatske stijene otoka i podmorja Jadranskog mora: mogući pokazatelj dezintegracije paleozojskog supekontinenta

Marko Kudrna Prašek

Pojave magmatskih stijena na otocima u Jadranskom moru su rijetke. One izgrađuju samo otoke Jabuku i Brusnik, a mogu se naći i na otoku Visu, te pličini Jabuka. Takve izolirane pojave imaju veliko značenje u razumijevanju geoloških procesa koji su se događali tijekom njihova nastanka. Podmorski lokalitet Pličina Brusnik do sada nije bio istraživan, te su njegove karakteristike uspoređene s uzorcima prikupljenim u podmorju Jabuke i na obalama Brusnika. Mikrofiziografski i geokemijski podaci pokazuju sličnosti i razlike između tih lokaliteta. One su posljedica različitog stupnja parcijalnog taljenja, kontaminacije kontinentalnom korom, frakcijske kristalizacije piroksena i plagioklasa, stratifikacije magmatskog tijela, te različitog stupnja alteracija (kloritizacija, uralitizacija, prehnitizacija, albitizacija) i trošenja. Geokemijske karakteristike (subalkalni do kalcijsko-alkalijski afinitet, visoki HSFE/LILE i LREE/HREE omjeri (La_N/Yb_N : 3.27 – 5.26), Eu anomalija (Eu/Eu^* : 0.75 – 0.93), niske koncentracije Nb (2.2 – 3.8 ppm) i visoke koncentracije Pb (2.2 – 17.8 ppm)), uz prethodno poznate starosti istraživanih stijena ukazuju na postanak vezan uz permo-trijaski riftni magmatizam. Uzorci prikupljeni u ovom radu zbog toga su uspoređeni s uzorcima lokaliteta u Maroku, povezanog s riftnim sustavom koji je doveo do raspada kontinenta i nastanka oceanskog područja. Podaci dobiveni u ovom istraživanju ukazuju na povezanost riftnih procesa, te su moguć indikator inicijalnih procesa vezanih uz dezintegraciju paleozojskog superkontinenta Pangea.

Ključne riječi: Jabuka, Brusnik, Pličina Brusnik, permo-trijas, riftni magmatizam.

9. Summary

Occurrences of igneous rocks in the Adriatic Sea: a possible indicator of the Paleozoic supercontinent disintegration

Marko Kudrna Prašek

Occurrences of igneous rocks on the islands of the Adriatic Sea are extremely rare. Igneous rocks form Jabuka and Brusnik islands, and can also be found on the island of Vis and on the Jabuka Shoal. Such isolated occurrences have great relevance in the understanding of geological processes that took place during their formation. Brusnik Shoal is an underwater location that has previously not been explored and its characteristics are compared to samples taken from the underwater of Jabuka and shores of Brusnik. Microphysiographical and geochemical data display similarities and differences between these localities. They are the consequence of different degree of partial melting, crustal contamination, pyroxene and plagioclase fractional crystallization, stratification, varying degree of alteration (chloritization, uralitization, prehnitization, albitization) and weathering of the incipient magmatic body. Geochemical characteristics (subalkaline to calc-alkaline affinity, high HSF/LILE and LREE/HREE ratios (La_N/Yb_N : 3.27 – 5.26), Eu anomaly (Eu/Eu^* : 0.75 – 0.93), low Nb (2.2 – 3.8 ppm) and high Pb (2.2 – 17.8 ppm) concentrations) studied in this research together with previously known ages of these rocks suggest formation related to Permian-Triassic rifting magmatism. The samples gathered during this research are compared to those of a Moroccan locality connected to the rifting system that led to the break up of the continent and the formation of the oceanic domain. Data obtained by this research indicate a connection of the rifting processes and are a possible indicator of the processes that led to the disintegration of the Paleozoic supercontinent Pangea.

Key words: Jabuka, Brusnik, Brusnik Shoal, Permian-Triassic, rifting magmatism.

10. Zahvale

Zahvaljujem:

Prof. Dr. sc. Draženu Balenu, redovitom profesoru i mentoru, na savjetima, pomoći u odabiru literature, strpljenju i vremenu utrošenom na mnogobrojne konzultacije i diskusije tijekom izrade ovog rada. Posebno zahvaljujem na želji i trudu da se uzorci prikupljeni na ronilačkom izletu iskoriste i pretvore u ovakvo istraživanje.

Dr. sc. Zorici Petrincec na pomoći pri fotografiranju i obradi mikroskopskih preparata, te pomoći pri korištenju, uređivanju i razumijevanju geokemijskih dijagrama i programa.

Prof. Dr. sc. Ladislavu Palinkašu, redovitom profesoru, na pomoći pri odabiru literature.

Doc. Dr. sc. Sabini Strmić-Palinkaš, na pomoći pri razumijevanju geokemijskih podataka.

Svim ostalim djelatnicima Mineraloško-petrografskog zavoda Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu na strpljenju i pomoći u ljetnim mjesecima tijekom obrade uzoraka.

Mag. geol. Pii Pleše na stalnoj podršci, pomoći tijekom terenskog rada i savjetima o uređivanju teksta.

Ronilačkom centru Pongo, pogotovo mag. ing. admin. nav. Borku Pusiću, na strpljenju i pruženoj prilici da sudjelujem u ronjenjima na prekrasnim lokalitetima i istražujem podmorje Jadranskog mora.

Mag. ing. arh. Sari Renar na pomoći pri uređivanju slika i topografskih skica.

11. Životopis

Marko Kudrna Prašek

Rođen u Zagrebu, 24. siječnja 1987. godine, gdje je završio osnovnu školu. Tijekom osnovne škole bavio se veslanjem, te je tri godine zaredom bio državni prvak u četvercu na pariće. 2001. godine upisao je klasičnu gimnaziju u Zagrebu, te počeo volontirati u ronilačkom centru Pongo, u kojem neprekidno volontira do danas. Stekao certifikat voditelja ronjenja 2004 godine. Preddiplomski studij geologije upisuje 2005. godine. 2009. godine stječe zvanje instruktora ronjenja, te postaje najmlađi certificirani instruktor ronjenja u trenutku stjecanja certifikata. Završava preddiplomski studij geologije na Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu, 2011. godine, stjecanjem titule prvostupnika geologije (*univ.bacc.geol.*). Iste godine upisuje diplomski studij geologije (smjer: geologija i paleontologija), te odlazi na ronilački izlet na Jabuku i Brusnik gdje prikuplja uzorke koji su korišteni u radu predanom na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2012./2013. Trenutačno je student diplomskog studija geologije s prosjekom ocjena 4.5, i izrađuje diplomski rad na temu: „Gornjokredni sedimenti područja Veli Rat na Dugom otoku“ pod vodstvom prof. dr. sc. Alena Mora.