

Petrologija amfibolitskih stijena Slavonskih planina (Sjeverna Hrvatska, Jugoslavija)

Jakob PAMIĆ¹ i Vera MARCI²

¹ Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, p.p. 283, YU-41000 Zagreb

² Zavod za mineralogiju i petrologiju Prirod.-matem. fakulteta, Demetrova 1, YU-41000 Zagreb

Ključne riječi: amfiboliti i amfibolski škriljavci, hercinski progresivnometamorfni kompleks, kemizam petrogenih minerala i stijena, izotopni sastav kisika, geneza, ortoamfiboliti

Amfiboliti i amfibolski škriljavci česti su i redoviti član hercinskog progresivnometamornog kompleksa slavonskih planina. Mineralna parageniza: hornblenda, plagioklas, biotit i granat dokumentirana je mikrosondnim kemijskim sastavom. Kemizam amfibolita i amfibolskih škriljavaca odgovara uglavnom kemizmu prosječnog bazalta i oceanskih toleita. Geotektonski položaj im se ne može jednoznačno odrediti po sadržaju kompatibilnih mikroelemenata. Po izotopnom sastavu kisika svi ispitivani amfiboliti slavonskih planina pripadaju grupi ortoamfibolita.

Key words: amphibolites and amphibole schists, Hercynian progressive metamorphic sequence, chemistry of rock-forming minerals and rocks, oxygen isotope composition, genesis, orthoamphibolites

Amphibolites and amphibole-schists are very common in the Hercynian progressively metamorphic complex of the Slavonian Mountains. Microprobe chemical composition of main rock-forming minerals and bulk rock chemistry of 30 amphibolites is presented in the paper. Based on the variation of some major elements, amphibolites can be correlated with oceanic tholeiite and average basalt. Their geotectonic setting could not be reliably determined using some compatible trace elements. Oxygen isotope composition represents evidence that all examined amphibolites originated from a primary basaltoid protolith.

Uvod

Amfiboliti i amfibolski škriljavci često se pojavljuju u hercinskom progresivnometamornom kompleksu slavonskih planina. Prvi ih je Kišpatić (1892 i 1910) detaljno petrografski opisao. Dugo iza toga Tajder (1969), Vragović (1970) i Marci (1970) daju prikaze amfibolita s Papuka i Psunja pri čemu obraćaju na ročitu pažnju na njihovu genezu i lokalne metasomatske procese. Marci i Raffaelli (1981) pokušavaju izvršiti genetsko grupiranje psunjskim amfibolita u smislu njihovog (orto ili para) porijekla na osnovi faktorske analize koja se temeljila na sadržaju makroelemenata.

Budući da amfibolitske stijene slavonskih planina nisu dosad izučavane kao jedinstvena geološko-petrološka cjelina, mi smo u težnji daljnjeg proširivanja našeg saznanja o tim stijenama naknadno izvršili terensku obradu na području Papuka i Krndije i pri tome izveli sistematsko uzorkovanje i uradili nekoliko lokalnih petrografskih stupova. Oko 30 uzoraka raznovrsnih amfibolitskih stijena detaljno je laboratorijski obrađeno pri čemu su se koristile mineraloške, geokemijske i petrološke metode.

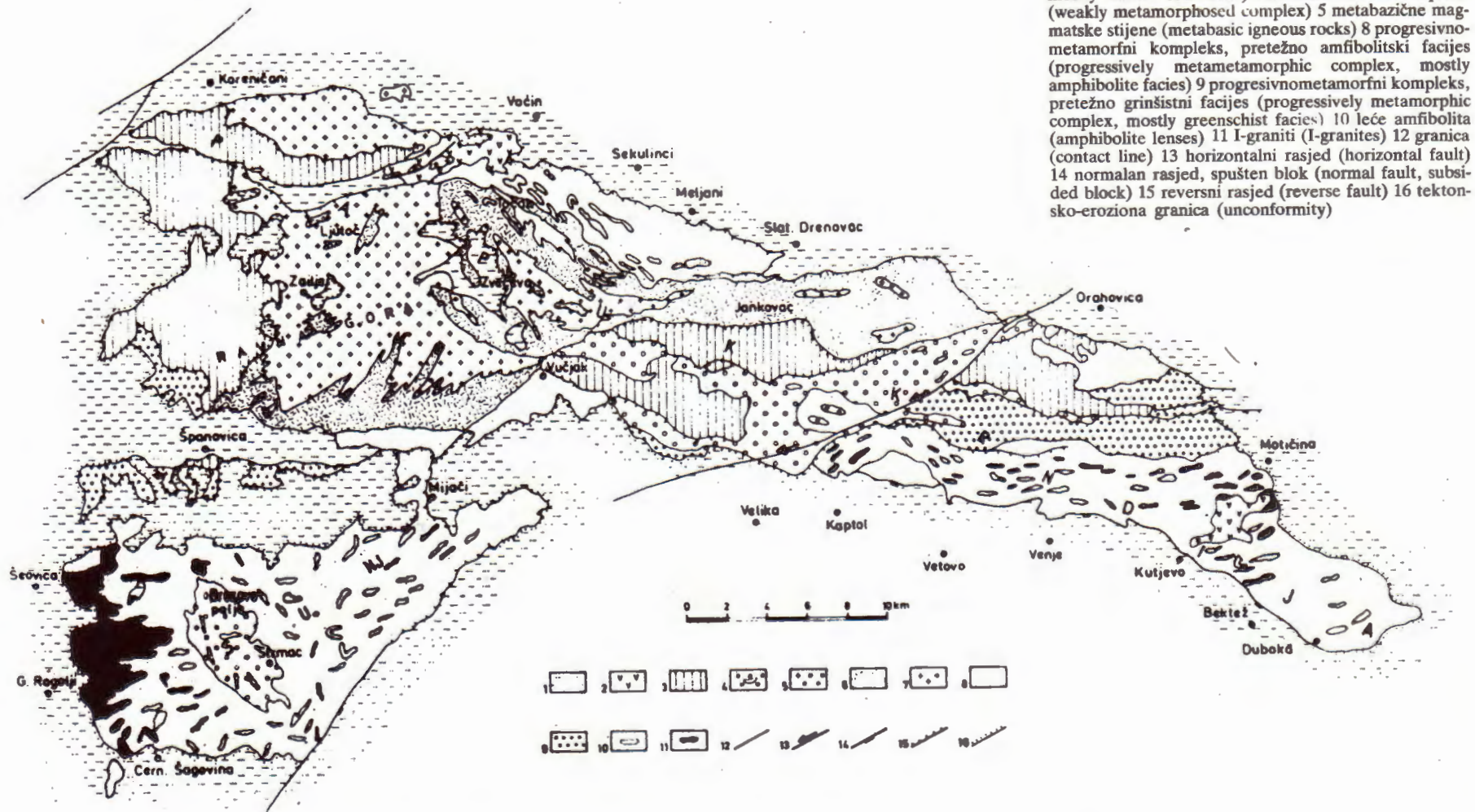
Cilj je ovog rada da dade osnovne geološke, mineraloške, geokemijske i petrološke karakteristike hercinskih amfibolitskih stijena slavonskih planina. One su produkt uglavnom hercinskog metamorfizma koji se odigravao pretežno u rasponu od 262.3 do 376.4 milijuna godina. Po sadržaju makroelemenata amfiboliti odgovaraju uglavnom oceanskim toleitima i /ili/ prosječnom bazaltu. Niski izotopni sastav kisika dokazuje da su svi ispitivani amfiboliti nastali iz primarnih bazaltoidnih stijena.

Osnovni geološki podaci

Amfibolitske stijene javljaju se u hercinskom progresivnometamornom kompleksu koji daje osnovni pečat kristalinu slavonskih planina. Naime, stijene tog kompleksa izgrađuju najveći dio Psunja odakle se nastavljaju na istok južnim i sjevernim padinama Papuka sve do Krndije koja se također sastoji uglavnom od tih stijena (slika 1).

Niže metamorfozirani dijelovi tog kompleksa izgrađeni su pretežno od filita, muskovit-kvarcni škriljavaca i zelenih škriljavaca, dok u više metamorfoziranim dijelovima dolaze pretežno paragnajsovi i tinjčevi škriljavci. U tektonski manje poremećenim dijelovima terena, koji su detaljnije petrološki obrađivani, utvrđena je jasna zonalnost s progresivnim rasporedom mineralnih parageniza u pravcu sjevera. Ona je najprije zapažena u području Ravne gore, u jugozapadnim dijelovima Papuka, a manifestira se u sukcesiji: klorit → biotit → granat → staurolit → silimanit (Raffaelli, 1965), u kojoj je nedavno u tom istom području utvrđen i andaluzit (Pamić et al., 1988). U terenima Krndije zapažena je na više profila zonalnost, doduše zbog tektonske poremećenosti u inverznom odnosu, s tim da ovdje u jače metamorfoziranim dijelovima kompleksa dolazi disten namjesto andaluzita (Pamić, 1989).

Navedeni podaci pokazuju da su stijene progresivnometamornog kompleksa slavonskih planina nastale u PT uvjetima niskog i umjerenog stupnja metamorfizma, odnosno grnšistnog i amfibolitskog facijesa (Winkler, 1974). Zbog zajedničkog pojavljivanja andaluzita i distena, ovaj geološko-petrološki jedinstveni metamorfni kompleks ne može se zasad



Slika 1. Shematizirana geološka karta Psunja, Papuka i Krndije-kompilirana prema podacima Jamičića (1988), Korolije i Jamičića (1988) i Šparice et al., (1984)

Figure 1. Schematic geological map of the Slavonian Mountains: Psunj, Papuk, and Krndija-compiled on the basis of data of Jamičić (1988), Korolija and Jamičić (1988), and Šparica et al., (1984)

pouzdanu genetski klasificirati u smislu metamorfnih serija (Miyashiro, 1961).

U progresivnometamorfnom kompleksu slavonskih planina javljaju se manja, rjeđe i veća granitoidna tijela izgrađena od granita, granodiorita i tonalita, koji su obično jako kataklazirani (Marci, 1973; Pamić, 1988). Uz njih se podređeno nailazi na monocloritne, dioritne i sasvim rijetko i na gabroidne stijene (Pamić et al., 1984).

Način pojavljivanja amfibolita i amfibolskih škrljavaca ilustriraju dva priložena lokalna petrološka stupa (sl. 2a i b).

Prvi je stup urađen u dolinama Vojlovice i Budanice, na sjevernim padinama Papuka; približna debljina uzorkovanog dijela progresivnometamorfnog kompleksa ocjenjuje se na cca 750 m (slika 2a).

U donjim se dijelovima profila amfiboliti pojavljuju u paragnajsovima u vidu proslojaka čija debljina varira od 5–6 cm do 20 cm. Idući naviše se postupno povećava količina amfibolita, a debljine uložaka variraju od 20–30 cm do 2 m. U količinski podjednako zastupljenim paragnajsovima zapažaju se prvi znakovi migmatizacije. Još više u profilu nalazimo amfibolitska tijela debljine od nekoliko metara do 20 m, također uložena u paragnajsovima, koji su ovdje zahvaćeni višim stupnjem migmatizacije.

Medusobni odnos amfibolita i paragnajsova je konforman; folijacije u amfibolitskim stijenama i okolnim paragnajsovima redovito su konkordantne s padom kontaktnih površina amfibolitskih uložaka.

Kontakti između amfibolitskih proslojaka, bez obzira na njihovu debljinu, i paragnajsova obično je oštar s jasnim kontrastom budući da svježi i inače čvršći, tamnoobojeni amfiboliti strše iz »matriksa«
rastrušenog dezintegriranog paragnajsova. Međutim, kontakti između amfibolitskih proslojaka i hornblenda-biotitnih paragnajsova središnjih dijelova profila karakterizira se prisutnošću miješanih stijena, odnosno modalnim i kompoziciono-vrpčastim proslojavanjem. Naime, tu alterniraju vrpce milimetarskih debljina u kojima nalazimo: (1) plagioklas+biotit+sporedni kvarc±hornblenda±granat, i (2) plagioklas+zelela hornblenda+kvarc±biotit±granat. Radi se, dakle, o vrlo finom proslojavanju paragnajsova i amfibolita što bi moglo ukazivati da su amfiboliti, jednako kao i okolni paragnajsovi, sedimentnog porijekla.

Dakle, amfibolitske stijene se u području Vojlovice i Budanice javljaju unutar granatne, staurolitne i silimanitne zone, kao i u prelaznim, djelomice migmatiziranim dijelovima hercinskog progresivnometamorfnog kompleksa.

Drugi je lokalni stup urađen u području velikih kamenoloma na Krndiji (slika 2b). Ovdje je debljina snimljenog i uzorkovanog stupa oko 80 m. Tu se unutar grana t-biotitnih paragnajsova i granat-muskovit-biotit-kvarcnih škrljavaca nalaze dva veća uložaka amfibolita koji se i eksploatiraju. Donji je debljine oko 20 m, a izgrađen je od nematoblastičnih, rjeđe porfiroblastičnih amfibolitskih stijena u kojima je plagioklas znatno do potpuno klinocoizitiziran. Gornji uložak, debljine oko 15 m, izgrađen je u

donjim dijelovima od nematoblastičnih, a u gornjim od porfiroblastičnih amfibolitskih stijena u kojima je plagioklas također većim dijelom prešao u klinocoizit i prenit. Preko ovog višeg amfibolitskog uložaka leže u širem području tinjčevi škrljavci staurolitne zone.

Dakle, na snimljenom lokalnom stupu u Krndiji amfiboliti se javljaju unutar granatne i staurolitne zone.

Starost amfibolita je identična starosti cjelokupnog progresivnometamorfnog kompleksa jer su amfiboliti deformirani i metamorfozirani zajedno s okolnim dominantnim paragnajsovima i tinjčevim škrljavcima. Starost primarnog, ishodišnog magmatogenosedimentnog kompleksa, koji je predstavljao protolit za progresivnometamorfnu sukcesiju, dosad nije određena. U posljednje su se vrijeme, međutim, vršila radiometrijska određivanja koja su dala izotopnu starost metamorfizma i pratećeg granitnog magmatizma (Pamić et al., 1988).

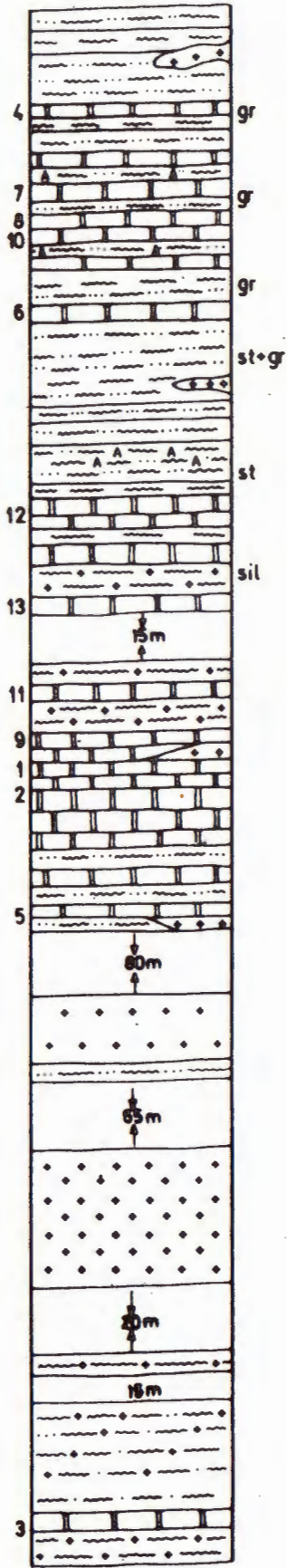
Radiometrijska određivanja K-Ar i Rb-Sr metodom zapravo su najvećim dijelom i obavljena na različitim varijetetima amfibolita i amfibolskih škrljavaca koji su uzorkovani na Pšunju, Papuku i Krndiji. Na osnovi ukupno 18 radiometrijskih određivanja mogu se izdvojiti tri K-Ar starosne grupe. U prvoj grupi s najviše uzoraka K-Ar starost pada u interval od 352.6 do 376.4 milijuna godina što odgovara stratigrafskom rasponu gornji devon-donji karbon. Rb-Sr izohrona za iste uzorke indicira starost od 317 milijuna godina. Druga, znatno manja grupa uzoraka ima K-Ar starosti u intervalu od 219.7 i 262.3 milijuna godina. To su, u stvari, podmladene hercinske starosti uvjetovane gubljenjem radiogenog argona uslijed kasnijeg zagrijavanja. U trećoj starosnoj grupi sa četiri uzorka, K-Ar starosti padaju u interval od 421.7 do 658.0 milijuna godina i te je starosti zasad vrlo teško objasniti. Ukoliko one nisu rezultat eventualnog privođenja argona, onda bi se možda moglo pretpostaviti da one indiciraju primarne starosti protolita u kojem se za vrijeme hercinskog metamorfnog događaja nije izvršilo preuranje K i Ar u hornblendama na kojima su vršena radiometrijska određivanja.

Na osnovi toga se može zaključiti, bez obzira na spomenutu nepotpunu usaglašenost radiometrijskih podataka, da su amfiboliti i amfibolski škrljavci iz progresivnometamorfnog kompleksa slavonskih planina produkt metamorfnih procesa koji su se odigrali najvećim dijelom za vrijeme hercinskog orogenetskog ciklusa.

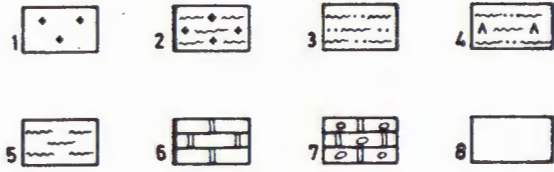
Petrološki prikaz

Detaljna mineraloška, geokemijska i petrološka ispitivanja izvršena su na 16 uzoraka koji su sakupljeni na Pšunju; radi se o onim istim uzorcima čiji je sadržaj makroelemenata poslužio za faktorsku analizu čiji su rezultati prikazani u ranijem radu (Marci i Raffaelli, 1981). Detaljno je ispitano i 13 uzoraka amfibolitskih stijena koje su uzete pri snimanju stupa u dolinama Budanice i Vojlovice, na sjevernim padinama Papuka. U težnji da se

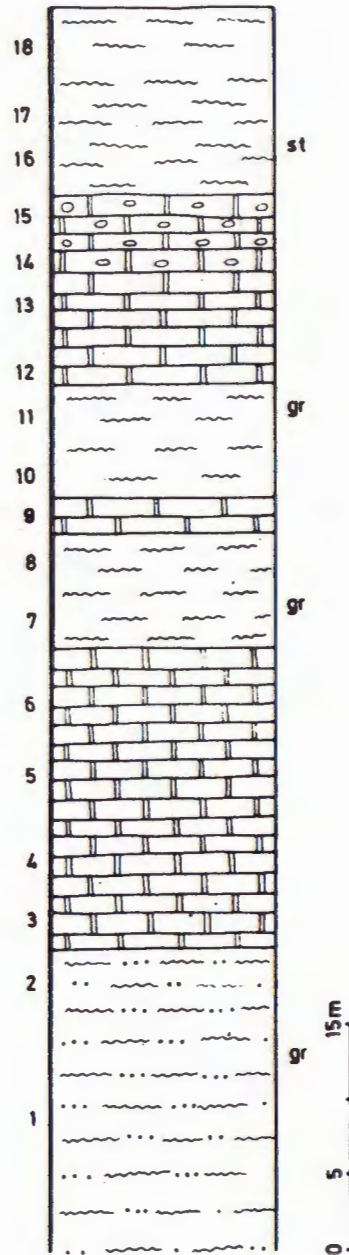
BUDANICA - VOJLOVICA



a



KRNDIJA



b

izbjegnju ponavljanja, svi će dobiveni rezultati biti prikazani kumulativno prema vrsti pojedinih specijalističkih laboratorijskih ispitivanja.

Mineralna parageneza

Bitni minerali amfibolita su hornblenda i plagioklas, uz koje mogu doći biotit, kvarc, granat i epidot. Uz njih se još javljaju brojni sekundarni i akcesorni sastojci.

Zelena hornblenda je najčešći mineral; obično je svjež, a rijetko u različitom stupnju kloritizirana. Njezin kemijski sastav je dosta ujednačen (tabela 1), sa samo manjim varijacijama u sadržaju Al, Mg i Ca. Prema postojećoj klasifikaciji (Rock and Leake, 1984), sva tri analizirana uzorka spadaju u grupu aktinolitne hornblende.

Plagioklas je redoviti pratilac hornblende. Obično je svjež, a u nekim je uzorcima potisnut s manje ili više klinocozita. Prema podacima teodolitno-mikroskopskog mjerenja plagioklas papučkih amfibolita je oligoklas ili andezin (srednji sastav An_{32}) što se sasvim dobro podudara s kemijskim sastavom jedinog kemijski analiziranog plagioklasa (tabela 1). Plagioklas psunjskih amfibolita najčešće sadrži 31 do 32% an.

Normativni sastav plagioklasa je, međutim, uvijek dosta bazičniji, obično An_{50-70} , što je uvjetovano samim načinom proračunavanja.

Biotit također dolazi kao bitan sastojak u nekim amfibolitima. Rijetko je sasvim svjež, obično je malo do znatno kloritiziran i muskovitiziran. To je 1M politip $Mg=Fe$ biotita (tabela 1).

Granat je podređeniji sastojak; obično je svjež ili manje kloritiziran. Proračunom kemijskog sastava dobiveni su sljedeći molarni procenti krajnjih komponenti granatnog niza: 73.6% almandina, 11.7% piropa, 9.6% spesartina i 5.1% grosulara (tabela 1).

Aksesorni sastojci amfibolita su apatit, cirkon, titanit, granat, coizit i metalni mineral(i).

Petrografija

Struktura amfibolita je obično nematogranoblastična i lepidogranoblastična, rijetko reliktna ofitna. Na pojedinim mjestima, primjerice na Krndiji, češće se nailazi na porfiroblastične varijetete. Pretežno su

Slika 2. Lokalni petrološki stupovi u progresivnometamorfnom kompleksu u području Budanice i Vojlovice na Papuku (a) i u području kamenoloma na Krndiji (b).

Figure 2. Columnar sections of the parts of the progressively metamorphic complex in the area of Budanica and Vojlovica in Papuk Mt. (a) and in the area of the Krndija quarries (b).

1 graniti (granites) 2 migmatiti (migmatites) 3 biotitni paragrnajsovi (biotite paragneisses) 4 hornblenda-biotitni paragrnajsovi (hornblende-biotite paragneisses) 5 tinjčevi škriljavci (mica schists) 6 amfiboliti (amphibolites) 7 pretežno porfiroblastični amfiboliti (mostly porphyroblastic amphibolites) 8 pokriveno (covered) 1 do 17 mjesta uzorkovanja (sampling locations) gr granat (garnet) st staurolit (staurolite) si silimanit (sillimanite)

Tabela 1. Kemijski sastav petrogenih minerala
Table 1. Chemical composition of rock-forming minerals

| | Ho-1 | Ho-2 | Ho-3 | Bi | Gr | Pl |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 51.16 | 51.98 | 53.47 | 35.10 | 34.61 | 60.05 |
| TiO ₂ | 0.21 | 0.38 | 0.14 | 1.70 | — | — |
| Al ₂ O ₃ | 7.78 | 3.82 | 5.61 | 18.91 | 20.63 | 24.79 |
| Fe ₂ O ₃ | 4.65 | 4.38 | 4.90 | 19.85 | 34.95 | 0.34 |
| FeO | 6.05 | 5.78 | 4.83 | — | — | — |
| MnO | 0.20 | 0.28 | 0.20 | 0.11 | 4.48 | — |
| MgO | 17.33 | 21.96 | 18.33 | 10.34 | 3.10 | — |
| CaO | 9.81 | 8.67 | 10.09 | — | 1.85 | 6.65 |
| Na ₂ O | 0.68 | 0.34 | 0.52 | 0.27 | — | 7.54 |
| K ₂ O | 0.15 | 0.10 | 0.09 | 8.45 | — | 0.40 |
| H ₂ O | 1.93 | 2.17 | 1.53 | — | — | — |
| | 99.95 | 99.86 | 99.71 | 94.73 | 99.62 | 99.77 |

Brojevi iona (Numbers of ions)

| | Ho-1 | Ho-2 | Ho-3 | Bi | Gr | Pl |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Si | 7.205 | 7.297 | 7.522 | 5.034 | 5.716 | 2.685 |
| Ti | 0.022 | 0.040 | 0.015 | 0.183 | — | — |
| Al | 1.291 | 0.632 | 0.930 | 3.197 | 4.016 | 1.307 |
| Fe ³⁺ | 0.493 | 0.463 | 0.519 | 2.142 | 4.827 | 0.013 |
| Fe ²⁺ | 0.713 | 0.679 | 0.568 | — | — | — |
| Mn | 0.024 | 0.033 | 0.024 | 0.013 | 0.627 | — |
| Mg | 3.639 | 4.596 | 3.844 | 2.211 | 0.763 | — |
| Ca | 1.480 | 1.304 | 1.521 | — | 0.327 | 0.319 |
| Na | 0.186 | 0.093 | 0.142 | 0.075 | — | 0.654 |
| K | 0.027 | 0.018 | 0.016 | 1.546 | — | 0.023 |
| H | 1.813 | 2.032 | 1.436 | 5.042 | — | — |

Ho hornblenda (hornblende) Bi biotit (biotite) Gr granat (garnet) Pl plagioklas (plagioclase)

Proračun izvršen na bazi 8 (plagioklas) i 24 (hornblenda, biotit i granat) kisikova iona.

Calculated on the basis of 8 (plagioclase) and 24 (biotite, garnet, and hornblende) oxygen ions.

Hornblenda analizirana mokrom metodom, a ostali minerali mikrosondom.

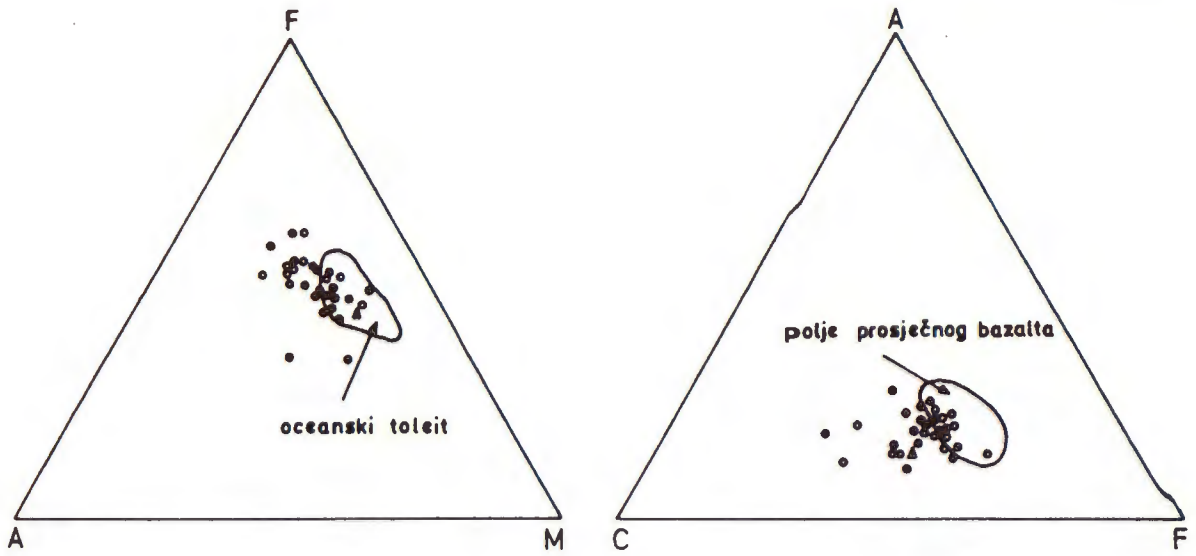
Hornblende was analyzed by wet and other minerals by microprobe methods.

sitnozrni (0.2 do 1 mm) i srednjozrni (1 do 2 mm), a rijetko krupnozrni (3 do 5 mm).

Tekstura je najčešće paralelna i izražena u folijaciji i lineaciji, rjeđe u modalno-vrpčastim izdvajanjima. Masivni teksturni varijeteti su znatno podređeniji.

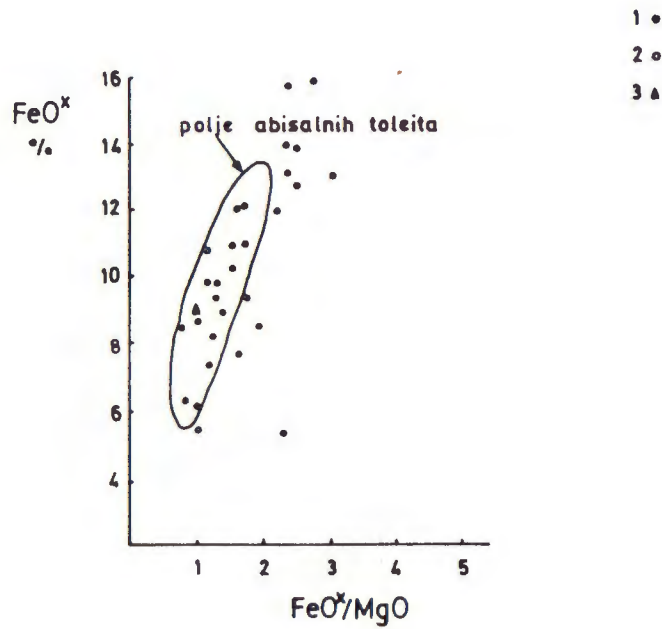
Hornblenda i plagioklas su najkarakterističniji sastojci i oni izgrađuju bimineralne *amfibolite*. Uz njih su još utvrđeni: *biotitni amfiboliti*, *kvarc-biotitni amfiboliti* i *kvarcni amfiboliti*. Podređenije se susreću *granatni amfiboliti*, *kvarc-granatni amfiboliti* i *kvarc-biotit-granatni amfiboliti*. Ovi posljednji na pojedinim mjestima prelaze u hornblenda-granat-biotitne paragrnajsove sa smanjenjem sadržaja hornblende i povećanjem udjela biotita. Još se nailazi na *epidotne amfibolite* i *epidot-biotitne amfibolite* u kojima mjestimice dolazi povećana količina titanita.

Unutar amfibolitskih tijela, bez obzira na njihove debljine, često se javljaju milimetarski do centimetarski proslojci monomineralnih *amfibolskih škriljavaca*; mjestimice sadrže malo kvarca i plagioklasa (prijelaz u kvarcne amfibolite).



a

b



c

Slika 3. Trokomponentni dijagrami AFM i ACF i dvokomponentni dijagram $FeO^x:FeO^x/MgO$

Figure 3. AFM and ACF triangles and $FeO^x:FeO^x/MgO$ diagram
 1 Papuk 2 Psunj 3 prosječni metabazit iz semimetamorfnog kompleksa (average metabasite from the semi-metamorphic complex)

Amfibolitske stijene iz područja rasjednih zona često su milionizirane i filonizirane. One su obično malo do znatno kataklazirane i u njima je feldspat znatno do potpuno sericitiziran, biotit jako muskovitiziran, a hornblenda kloritizirana.

Geokemijske karakteristike

Sadržaji makroelemenata i mikroelemenata, normativni CIPW sastav i izotopni sastav kisika prikazani su u tabeli 2 za psunjske, a u tabeli 3 za papučke amfibolitske stijene.

Sadržaj makroelemenata

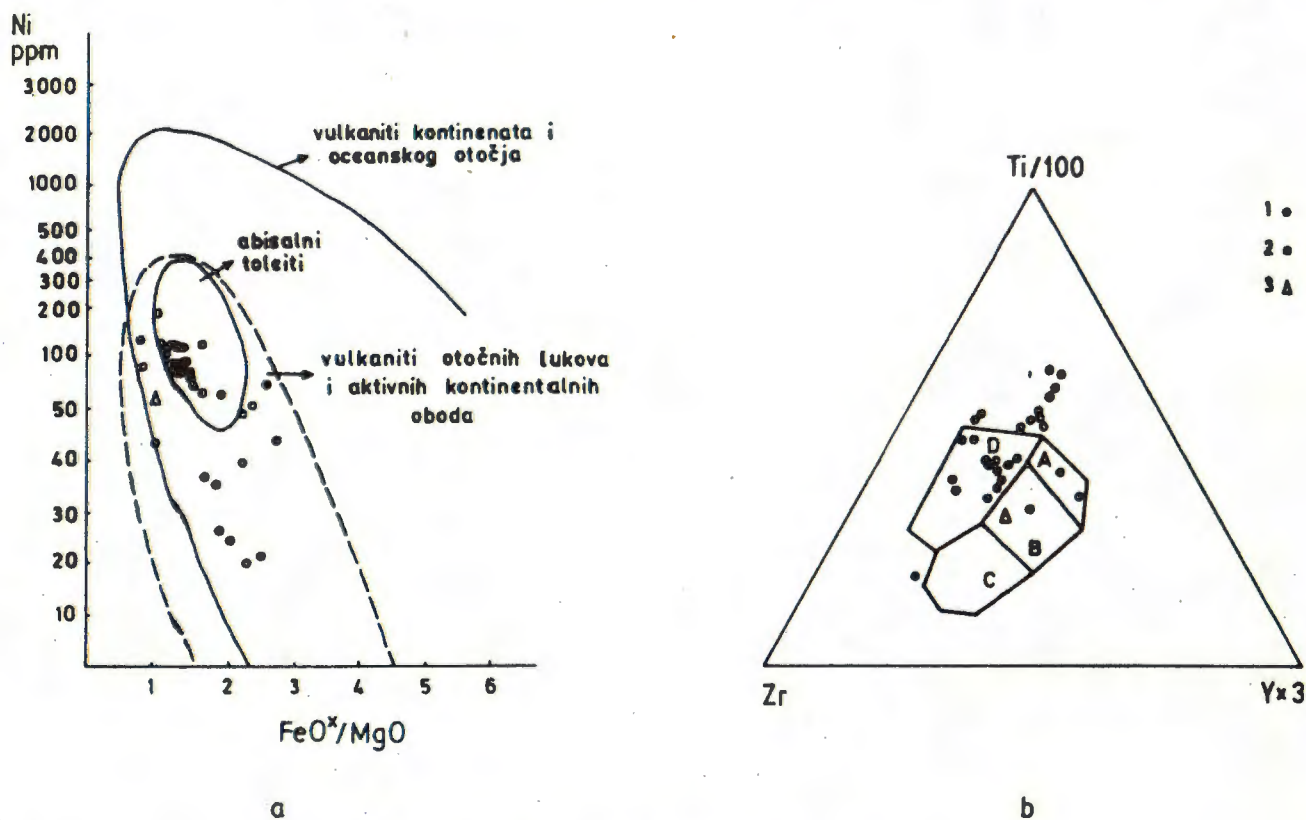
Većina amfibolita ima po sadržaju makroelemenata bazaltni, a samo neki imaju dioritni kemizam. Količine glavnih komponenti pokazuju određene varijacije karakteristične za bazaltoidne, odnosno andezitne stijene. No i pored tih varijacija, ako se usporede srednji sastavi psunjskih i papučkih amfibolita, onda se vide tek male razlike u srednjim sadržajima glavnih komponenti. Papučki amfiboliti su nešto »kiseliji« (sred. sadržaj 51.93% SiO₂) zbog čestog pojavljivanja amfibolita dioritnog kemizma. I jedni i drugi imaju ujednačen odnos FeO:MgO (1.3) i Fe₂O₃ (0.6).

Varijacije u kemizmu amfibolita prikazane su na dijagramima (slika 3). Većina točaka ispitivanih papučkih amfibolita nagomilava se na AFM i AFC

trokutima u relativno malom polju koje se podudara, doduše ne baš idealno, s poljem oceanskih toleita (Shido et al., 1971) i prosječnog bazalta (Ernst et al., 1981). Na tim istim trokomponentnim dijagramima točke ispitivanih psunjskih amfibolita, pored manjeg rasipanja, formiraju dosta gusta polja koja se također dosta dobro poklapaju s poljima oceanskih toleita i prosječnog bazalta. Na dvokomponentnom dijagramu FeO^x : FeO^x/MgO (Miyashiro and Shido, 1975) papučki amfiboliti najvećim dijelom padaju u područje abisalnih, odnosno oceanskih toleita. Točke psunjskih amfibolita pokazuju veće rasipanje s tim da se one uglavnom podudaraju s poljem abisalnih toleita.

Prema tome, amfibolitske stijene i Papuka i Psunja mogu se korelirati po kemijskom sastavu s prosječnim bazaltom i recentnim oceanskim toleitima. Spomenuta rasipanja točaka na prikazanom dijagramu vjerojatno su uvjetovana prisustvom amfibolita dioritnog kemizma.

Normativni CIPW sastav amfibolita bazalnog kemizma s Papuka pokazuje dominantnost toleita i olivinskih toleita, uz podređene olivinske bazalte i alkalijske bazalte (tabela 2). Normativni CIPW sastav psunjskih amfibolita je raznovrsniji jer, pored olivinskih toleita i toleita, dosta su česti i alkalijski bazalti, tj. stijene s normativnim nefelinom (tabela 3). Međutim, prosječni sastavi i psunjskih i papučkih amfibolita odgovaraju olivinskom tolitu.



Slika 4. Dijagrami Ni:FeO^x/MgO (a) i Ti-Zr-Y (b)

Figure 4. Ni versus FeO^x/MgO (a) and Ti-Zr-Y (b)

1 Papuk 2 Psunj 3 prosječni metabazit iz semimetamorfno kompleksa (average metabasite from the semi-metamorphic complex)

Tabela 2. Sadržaj makroelemenata (u tež. %), mikroelemenata (u ppm), normativni CIPW sastav* i izotopni sastav kisika amfibolskih stijena s Pšunja
 Table 2. Major (in weight %) and trace (in ppm) element contents, CIPW norms* and oxygen isotope composition of amphibolites from Mt. Pšunja

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
| SiO ₂ | 48.06 | 46.92 | 48.23 | 47.13 | 56.02 | 44.20 | 47.98 | 47.50 | 45.21 | 41.25 | 49.29 | 45.68 | 45.45 | 48.80 | 47.31 | 56.47 | 47.59 | 49.05 |
| TiO ₂ | 1.90 | 2.64 | 3.64 | 2.15 | 1.25 | 3.08 | 0.59 | 0.07 | 2.37 | 0.77 | 2.15 | 2.58 | 1.90 | 2.46 | 1.85 | 0.71 | 1.88 | 1.13 |
| Al ₂ O ₃ | 17.82 | 15.84 | 14.52 | 16.25 | 17.42 | 15.30 | 19.85 | 20.20 | 15.18 | 18.48 | 15.59 | 14.22 | 14.38 | 14.95 | 14.82 | 19.85 | 16.54 | 18.56 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.22 | 3.57 | 3.17 | 3.26 | 2.36 | 7.95 | 7.00 | 4.71 | 9.13 | 7.82 | 4.20 | 3.35 | 4.25 | 3.24 | 4.65 | 2.40 | 4.58 | 3.40 |
| FeO | 6.49 | 7.04 | 9.17 | 6.94 | 5.25 | 10.30 | 3.10 | 4.40 | 7.85 | 4.92 | 6.99 | 10.77 | 10.11 | 9.64 | 9.25 | 2.93 | 7.59 | 5.45 |
| MnO | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.03 |
| MgO | 7.38 | 8.36 | 7.25 | 7.69 | 4.70 | 6.32 | 5.06 | 4.35 | 5.18 | 7.52 | 5.52 | 5.57 | 5.48 | 4.78 | 5.54 | 2.32 | 5.81 | 7.41 |
| CaO | 9.57 | 9.91 | 8.22 | 9.44 | 8.18 | 4.63 | 9.12 | 13.03 | 9.05 | 12.49 | 7.80 | 9.54 | 10.08 | 7.51 | 8.37 | 7.55 | 9.09 | 8.07 |
| Na ₂ O | 1.64 | 1.23 | 1.83 | 2.41 | 2.69 | 2.48 | 2.88 | 2.72 | 3.37 | 3.04 | 4.76 | 3.70 | 4.27 | 4.46 | 4.18 | 3.13 | 3.05 | 1.68 |
| K ₂ O | 0.80 | 1.04 | 1.19 | 0.95 | 0.36 | 0.21 | 0.44 | 0.33 | 0.31 | 0.36 | 1.11 | 0.78 | 1.16 | 1.06 | 1.54 | 0.70 | 0.77 | 0.79 |
| P ₂ O ₅ | - | - | 0.14 | - | - | 0.15 | 0.05 | 0.08 | 0.11 | 0.12 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.12 | 0.20 | 0.08 | 0.06 |
| H ₂ O | 3.63 | 3.74 | 3.11 | 3.99 | 2.41 | 5.27 | 3.16 | 2.21 | 2.69 | 3.24 | 2.90 | 3.17 | 3.05 | 2.39 | 2.62 | 3.40 | 3.19 | 4.23 |
| | 99.52 | 100.30 | 100.48 | 100.22 | 100.65 | 99.93 | 99.25 | 99.62 | 100.48 | 100.03 | 100.40 | 99.45 | 100.21 | 99.45 | 100.28 | 99.67 | 100.19 | 99.86 |
| FeO ^x /MgO | 1.1 | 1.2 | 1.6 | 1.3 | 1.6 | 2.6 | 1.8 | 2.0 | 3.1 | 1.6 | 1.1 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.4 | 2.3 | 2.0 | 1.3 |
| Fe ₂ O ₃ /FeO | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.8 | 0.2 | 1.1 | 1.1 | 1.6 | 0.6 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.5 | 0.9 | 0.6 | 0.6 |
| Normativni CIPW sastav - CIPW norms | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Q | 0.1 | - | 0.3 | - | 10.8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 13.3 | - | - |
| C | - | - | - | - | - | 3.1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.7 | - | - |
| Or | 4.9 | 6.4 | 7.2 | 5.9 | 2.2 | 1.3 | 2.7 | 2.0 | 1.9 | 2.1 | 6.8 | 4.8 | 7.1 | 6.5 | 9.4 | 4.3 | 4.7 | - |
| Ab | 14.5 | 10.8 | 16.0 | 21.3 | 23.2 | 22.4 | 25.5 | 19.9 | 24.2 | - | 30.7 | 20.9 | 12.7 | 32.7 | 20.7 | 27.6 | 26.7 | - |
| An | 40.7 | 36.0 | 28.7 | 32.0 | 35.1 | 23.4 | 41.9 | 43.3 | 26.2 | 37.2 | 18.4 | 30.7 | 17.2 | 18.2 | 17.6 | 37.6 | 30.2 | - |
| Lc | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.1 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ne | - | - | - | - | - | - | - | 2.1 | 2.9 | 14.5 | 5.8 | 6.3 | 13.4 | 3.4 | 8.5 | - | - | - |
| DiWo | 3.7 | 6.3 | 5.2 | 7.0 | 2.6 | - | 2.2 | 9.6 | 8.1 | 11.1 | 8.8 | 11.8 | 14.3 | 8.1 | 10.1 | - | 6.7 | - |
| Di | 2.1 | 3.6 | 2.7 | 3.8 | 1.3 | - | 0.9 | 3.9 | 2.8 | 5.2 | 4.0 | 4.7 | 5.5 | 3.2 | 4.0 | - | 2.9 | - |
| DiFs | 1.4 | 2.5 | 2.4 | 2.9 | 1.3 | - | 1.2 | 5.7 | 5.5 | 5.7 | 4.7 | 7.2 | 9.0 | 5.1 | 6.3 | - | 3.7 | - |
| Hy | 17.1 | 15.0 | 16.0 | 4.3 | 10.6 | 13.3 | 5.6 | - | - | - | - | - | - | - | - | 6.0 | 1.4 | - |
| HyFs | 11.6 | 10.4 | 14.2 | 3.2 | 10.4 | 22.8 | 7.3 | - | - | - | - | - | - | - | - | 8.5 | 1.8 | - |
| Fo | - | 2.2 | - | 8.3 | - | 2.4 | 4.6 | 5.1 | 7.4 | 10.0 | 7.1 | 6.8 | 6.1 | 6.4 | 7.1 | - | 7.5 | - |
| Fa | - | 1.7 | - | 7.0 | - | 4.6 | 6.6 | 8.2 | 16.2 | 12.2 | 9.3 | 11.5 | 11.0 | 11.3 | 12.4 | - | 10.5 | - |
| Il | 3.8 | 5.2 | 7.1 | 4.3 | 2.4 | 6.2 | 1.2 | 0.1 | 4.6 | 1.5 | 4.2 | 5.1 | 3.7 | 4.8 | 3.6 | 1.4 | 3.7 | - |
| ap | - | - | 0.3 | - | - | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.2 | - |
| Norm.pl. | An ₇₁ | An ₇₈ | An ₆₄ | An ₆₀ | An ₆₀ | An ₅₁ | An ₆₂ | An ₆₈ | An ₅₂ | - | An ₃₇ | An ₅₉ | An ₅₈ | An ₃₆ | An ₄₆ | An ₅₈ | An ₅₃ | - |
| Mikroelementi - Trace elements | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ce | <30 | 32 | 30 | <30 | <30 | 38 | <30 | <30 | <30 | <30 | 60 | <30 | <30 | 72 | 48 | - | - | - |
| Cr | 84 | 154 | 86 | 200 | 62 | 20 | 40 | 150 | 32 | 220 | 44 | 58 | 40 | 20 | 72 | - | 85 | 304 |
| Nb | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | 12 | <10 | <10 | 18 | 12 | - | - | 19 |
| Ni | 92 | 106 | 80 | 106 | 38 | 58 | 34 | 58 | 42 | 112 | 44 | 50 | 20 | 18 | 38 | - | 60 | 22 |
| Zr | 130 | 110 | 162 | 134 | 54 | 156 | 48 | 64 | 130 | 94 | 225 | 108 | 120 | 275 | 245 | - | 137 | 107 |
| Y | 32 | 36 | 44 | 40 | 16 | 56 | 12 | 16 | 42 | 30 | 52 | 40 | 32 | 48 | 46 | - | 37 | 28 |
| Izotopni sastav kisika - Oxygen isotope composition | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ¹⁸ O _{SMOW} | - | 6.7 | 6.4 | 6.5 | 6.0 | 6.7 | - | 5.0 | 5.8 | 4.9 | - | 6.2 | 7.9 | - | 6.1 | 6.2 | 6.2 | - |

1 do 16 različiti varijeteti amfibolita i amfibolskih škriljavaca (1 do 16 varieties of amphibolites and amphibolite schists); 17 prosječni sastav pšunjskih amfibolita (average amphibolite composition); 18 prosječni sastav metadijabaza i metagabra iz hercinskog semimetamorfno kompleksa (average composition of metadiabases and metagabbros from the Hercynian semimetamorphic complex).

* Cjelokupno željezo je uključeno u molekule ilmenita, piroksena i olivina (All iron is included in ilmenite, olivine and pyroxene molecules).

Analičar (analyst): V. Jurišić, Institut za geološka istraživanja, Zagreb

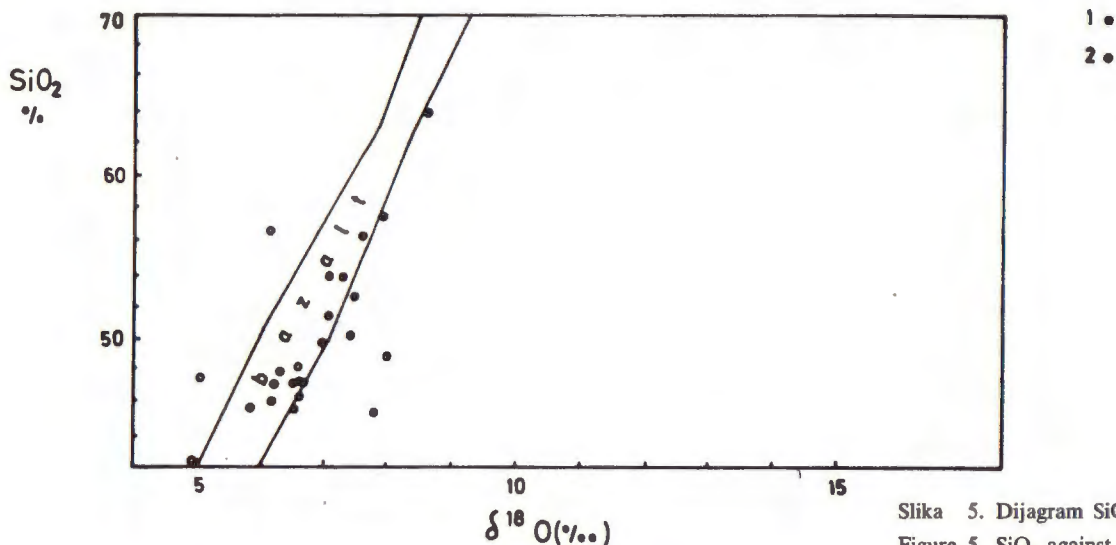
Tabela 3. Sadržaj makroelemenata (u tež. %), mikroelemenata (u ppm), normativni CIPW sastav* i izotopni sastav kisika amfibolitskih stijena s Papuka
 Table 3. Major (in weight %) and trace (in ppm) element contents, CIPW norms* and oxygen isotope composition of amphibolites from Mt. Papuk

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| SiO ₂ | 45.01 | 46.91 | 47.84 | 48.61 | 49.83 | 49.91 | 50.92 | 51.92 | 53.35 | 53.98 ^a | 56.10 | 56.90 | 63.85 | 51.93 |
| TiO ₂ | 2.95 | 2.46 | 2.28 | 1.04 | 1.13 | 0.20 | 0.68 | 0.65 | 0.64 | 0.25 | 0.42 | 0.55 | 0.27 | 1.04 |
| Al ₂ O ₃ | 17.08 | 15.68 | 16.57 | 16.83 | 15.93 | 19.68 | 18.23 | 15.93 | 14.66 | 4.08 | 16.88 | 16.06 | 14.75 | 15.58 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.68 | 4.23 | 6.46 | 3.77 | 4.10 | 2.25 | 3.26 | 3.79 | 3.82 | 6.15 | 3.06 | 2.00 | 1.74 | 3.72 |
| FeO | 9.20 | 7.34 | 7.22 | 8.27 | 5.91 | 3.58 | 6.63 | 5.98 | 5.19 | 3.60 | 5.12 | 5.06 | 3.54 | 5.90 |
| MnO | 0.21 | 0.19 | 0.19 | 0.20 | 0.16 | 0.09 | 0.15 | 0.16 | 0.18 | 0.23 | 0.09 | 0.14 | 0.08 | 0.16 |
| MgO | 5.60 | 8.58 | 4.57 | 7.65 | 7.66 | 8.10 | 5.64 | 7.62 | 8.44 | 17.83 | 6.15 | 5.94 | 4.23 | 7.53 |
| CaO | 9.31 | 7.85 | 8.62 | 9.42 | 8.83 | 10.65 | 9.11 | 9.03 | 8.30 | 11.36 | 5.33 | 7.43 | 6.17 | 8.66 |
| Na ₂ O | 3.20 | 3.05 | 3.75 | 2.50 | 2.65 | 2.00 | 3.10 | 2.55 | 2.35 | 0.35 | 2.90 | 2.35 | 2.50 | 2.58 |
| K ₂ O | 1.05 | 1.00 | 0.95 | 0.60 | 1.50 | 1.25 | 0.75 | 0.70 | 1.35 | 0.08 | 1.50 | 1.20 | 0.60 | 0.99 |
| P ₂ O ₅ | 0.20 | 0.13 | 0.05 | 0.14 | 0.02 | 0.07 | 0.15 | 0.38 | 0.24 | 0.06 | 0.28 | 0.03 | 0.49 | 0.14 |
| H ₂ O | 2.33 | 2.47 | 1.21 | 1.02 | 2.01 | 2.08 | 1.38 | 1.35 | 1.65 | 1.68 | 1.97 | 2.08 | 1.87 | 1.78 |
| | 99.82 | 99.89 | 99.71 | 100.05 | 99.59 | 99.86 | 100.00 | 100.06 | 100.17 | 99.65 | 99.80 | 99.74 | 100.09 | 100.01 |
| ¹⁸ O | 6.4 | 6.5 | 6.1 | 6.6 | 6.9 | 7.5 | 7.2 | 7.7 | 7.2 | 8.1 | 7.5 | 8.3 | 8.8 | 6.9 |
| D.L | 33.3 | 31.8 | 38.3 | 28.0 | 33.3 | 25.6 | 35.5 | 33.1 | 35.7 | 14.4 | 47.2 | 42.5 | 53.6 | 32.9 |
| FeO ^X /MgO | 2.3 | 1.3 | 3.0 | 1.6 | 1.3 | 0.7 | 1.7 | 1.3 | 1.1 | 0.5 | 1.3 | 1.2 | 1.2 | 1.3 |
| Fe ₂ O ₃ /FeO | 0.4 | 0.6 | 0.9 | 0.5 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 1.7 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.6 |
| Normativni CIPW sastav (CIPW norms) | | | | | | | | | | | | | | |
| Q | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.0 | 3.6 | 7.8 | 10.6 | 24.8 | - |
| C | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.5 | - | - | - |
| Or | 6.4 | 6.1 | 5.7 | 3.6 | 9.1 | 7.6 | 4.5 | 4.2 | 8.1 | 0.5 | 9.1 | 7.3 | 3.6 | 6.0 |
| Ab | 19.6 | 26.5 | 27.5 | 21.4 | 23.1 | 17.4 | 26.7 | 21.9 | 20.3 | 3.0 | 25.3 | 20.5 | 21.6 | 22.4 |
| An | 30.0 | 26.9 | 26.1 | 33.4 | 28.0 | 42.2 | 34.2 | 30.4 | 26.0 | 9.6 | 25.3 | 30.6 | 27.9 | 29.3 |
| Ne | 4.5 | - | 2.6 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| DIwo | 6.8 | 5.2 | 7.2 | 5.5 | 7.1 | 4.9 | 4.5 | 5.2 | 6.0 | 20.1 | - | 3.0 | 0.1 | 5.8 |
| Dlen | 3.0 | 2.8 | 2.7 | 2.7 | 3.8 | 3.1 | 2.1 | 2.7 | 3.4 | 13.5 | - | 1.6 | 0.1 | 3.1 |
| Difs | 3.8 | 2.1 | 4.7 | 2.7 | 3.1 | 1.5 | 2.4 | 2.4 | 2.4 | 5.0 | - | 1.2 | - | 2.5 |
| Hyen | - | 0.3 | - | 5.8 | 5.0 | 9.3 | 7.2 | 16.1 | 18.1 | 32.2 | 15.8 | 13.6 | 10.7 | 13.0 |
| Hyfs | - | 0.3 | - | 6.1 | 4.1 | 4.7 | 8.6 | 14.3 | 13.1 | 11.9 | 14.6 | 10.3 | 10.0 | 10.2 |
| Fo | 8.0 | 13.5 | 6.3 | 7.6 | 7.6 | 5.8 | 3.5 | 0.3 | - | - | - | - | - | 2.7 |
| Fa | 11.8 | 11.7 | 12.5 | 8.8 | 6.9 | 3.2 | 4.6 | 0.3 | - | - | - | - | - | 2.4 |
| Il | 5.8 | 4.8 | 4.4 | 2.0 | 2.0 | 0.4 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 0.5 | 0.8 | 1.1 | 0.5 | 2.2 |
| ap | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.9 | 0.6 | 0.1 | 0.7 | 0.1 | 1.2 | 0.3 |
| Norm.pl | An ₅₀ | An ₅₀ | An ₄₉ | An ₆₁ | An ₅₅ | An ₇₀ | An ₅₆ | An ₅₈ | An ₅₆ | An ₇₅ | An ₅₀ | An ₆₀ | An ₅₆ | An ₅₇ |
| Mikroelementi (Trace elements) | | | | | | | | | | | | | | |
| Ce | 78 | 80 | 64 | <30 | <30 | <30 | <30 | <30 | <30 | <30 | <30 | <30 | <30 | 34 |
| Cr | 50 | 350 | 90 | 240 | 460 | 260 | 134 | 375 | 750 | 1.550 | 310 | 450 | 460 | |
| Ga | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| Nb | 40 | 48 | 32 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | |
| Ni | 26 | 196 | 64 | 72 | 88 | 104 | 24 | 84 | 100 | 300 | 82 | 68 | 60 | |
| Zr | 235 | 300 | 290 | 58 | 76 | 20 | 66 | 38 | 38 | 16 | 48 | 46 | 84 | |
| Y | 28 | 30 | 36 | 30 | 24 | 10 | 16 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | |

1 i 4 granatni amfibolit (garnet amphibolite); 2, 3 i 5 biotitni amfiboliti (biotite amphibolites); 6 epidotski amfibolit (epidote amphibolite); 7 i 8 amfiboliti (amphibolite), 10 monomineralni amfibolitski škriljavac (monomineralic amphibole schist); 9 i 11 kvarcni amfiboliti (quartz amphibolite), 12 i 13 kvarc-biotitni amfiboliti (quartz-biotite amphibolite), 14 prosječni sastav papučkih amfibolita (average amphibolite composition).

* Sve željezo je uključeno u molekule ilmenita, piroksena i olivina (All iron is included in ilmenite, olivine and pyroxene molecules).

Analitičar (analyst): V. Juričić, Institut za geološka istraživanja, Zagreb

Slika 5. Dijagram SiO_2 : $\delta^{18}\text{O}$.Figure 5. SiO_2 against $\delta^{18}\text{O}$ diagram

Sadržaji mikroelemenata

Sadržaji nekih karakterističnih elemenata u tragovima korišćeni su u razmatranju geotektonskog položaja u kojem su nastali primarni bazaltni protoliti. Na diskriminacionom dijagramu $\text{Ni}:\text{FeO}^*/\text{MgO}$ (Miyashiro and Shido, 1975) točke papučkih amfibolita pokazuju mala rasipanja i najvećim dijelom padaju u polje abisalnih toleita (slika 4a). Psnunjski amfiboliti se na tom istom dijagramu koncentriraju, uz dosta veliko rasipanje točaka, samo polovično u polje recentnih abisalnih toleita ili pak u njegovoj neposrednoj blizini.

Na diskriminacionom dijagramu $\text{Ti}:\text{Zr}:\text{Y}$ (Pearce and Cann, 1973) ne može se izvesti jednoznačan zaključak (slika 4b). Točke papučkih amfibolita gotovo se idealno podudaraju s poljem bazalta iz unutrašnjosti ploča. Međutim, točke psunjskih amfibolita, koje su dosta gusto koncentrirane, leže samo jednim manjim dijelom u tom polju, a većina izvan njega u pravcu pola Ti.

Izotopni sastav kisika

Vrijednosti izotopnog sastava kisika, koje su prikazane u tabelama 2 i 3, pokazuju varijacije od 6.1 do 8.8‰ (srednja vrijednost 6.9‰) za papučke amfibolite, odnosno 4.9 do 7.9‰ (srednja vrijednost 6.2‰) za psunjske amfibolite. Zapaža se da amfiboliti dioritnog kemizma imaju više vrijednosti izotopnog sastava kisika; primjerice, kod takvih amfibolita s Papuka on varira u intervalu od 7.2 do 8.8‰.

Dijagram Schwarza i Claytona (1965) pokazuje da najveći broj točaka i papučkih i psunjskih amfibolitskih stijena pada u polje bazalta i ortoamfibolita (slika 5). Samo manji broj amfibolita, uglavnom dioritnog kemizma, leži duž granične linije koja definira polje ortoamfibolita.

Diskusija

Ispitivani se amfiboliti javljaju u regionalnometamorfnom kompleksu slavonskih planina koji je uglavnom metamorfoziran za vrijeme hercinskog oroge-

netkog ciklusa. Na cijelom području pojavljivanja, od Psnunja, na zapadu, preko Papuka i Krndije, na istoku, amfibolitske stijene dolaze kao centime tarski prosljoci i metarsko-dekametarski ulošci u paragnajsovima i tinjčevim škriljalcima koji su metamorfozirani u P-T uvjetima umjerenog stupnja metamorfizma (amfibolitski facijes).

Sve ispitivane amfibolitske stijene Psnunja, Papuka i Krndije imaju ujednačene petrografske karakteristike s određenim strukturno-teksturnim i kompozicionim varijacijama. Prikazani geokemijski podaci dokazuju da najveći dio detaljno ispitivanih amfibolita ima bazaltni kemizam i da oni po normativnom CIPW sastavu u prosjeku odgovaraju olivinskim toleitima. Po srednjim sadržajima nekih makroelemenata i kompatibilnih mikroelemenata, oni se mogu pozitivno korelirati s recentnim oceanskim toleitima i prosječnim bazaltom. No sve te činjenice ne omogućavaju povlačenje pouzdanog petrogenetskog zaključka o primarnom protolitu iz kojeg su nastale amfibolitske stijene iz kristalinog kompleksa slavonskih planina.

U novije se vrijeme s mnogo uspjeha koriste metode stabilnih izotopa za egzaktnija i dokumentiranija rješavanja genetskih problema u različitim oblastima geoznanosti. U našem konkretnom slučaju razrješavanja geneze amfibolitskih stijena iz regionalnometamorfog kompleksa slavonskih planina naročito je kritičan izotopni sastav kisika. Naime, prema svim dosad raspoloživim podacima, paraamfiboliti imaju redovito visok izotopni sastav kisika: 10.2 do 14.6‰ jer vuku porijeklo iz sedimentnih stijena. Nasuprot tome, ortoamfiboliti imaju znatno niži izotopni sastav kisika: 4.9 do 7.2‰, jednako kao i bazaltoidne stijene koje su njihov najčešći protolit (Sidorenko et al., 1973). Za razliku od paraamfibolita, ortoamfiboliti imaju konstantan izotopni sastav kisika koji se ne mijenja prilikom naknadnih metamorfnih procesa (Valley, 1986).

Dakle, prema dobivenim podacima izotopnog sastava kisika ispitivani hercinski amfiboliti iz regionalnometamorfog kompleksa slavonskih planina potječu od primarnih bazaltoidnih stijena. Ispitivani

amfiboliti imaju nešto viši izotopni sastav kisika: 6.9‰ u odnosu na svježe bazalte kod kojih je $6.5 \pm 5\%$ (Taylor, 1968). Ove povećane vrijednosti izotopnog sastava kisika ukazuju na mogućnost da je primarni bazaltni protolit mogao biti zahvaćen procesima hidrotermalnog metamorfizma oceanskog dna prije negoli se odigrao glavni metamorfni proces. Naime, dokazano je da se pri hidrotermalnom metamorfizmu bazalta blago povećava izotopni sastav kisika (Coleman, 1977). Povećane vrijednosti izotopnog sastava kisika (oko 8‰), dobivene na malom broju slavonskih amfibolita dioritnog kemizma, upućuju na zaključak o primarnom dioritnom protolitu.

Način pojavljivanja vrpčastih amfibolitskih stijena iz središnjeg dijela prikazanog stupa na Papuku, kao i na brojnim drugim mjestima i na Pšunju i na Krndiji, gdje se oni smjenjuju s milimetarsko-centimetarskim slojčima hornblenda-biotitnih paragnejsova, mogao bi upućivati na njihovo eventualno sedimentno porijeklo. Međutim, i uzorci takvih amfibolitskih stijena (uzorci 4, 7 i 8, tabela 2) imaju također niski izotopni sastav kisika koji dokazuje njihovo bazaltno porijeklo. Spomenuto milimetarsko-centimetarsko smjenjivanje amfibolitskih škrljavaca, koji imaju niski izotopni sastav kisika, i paragnejsova upućuje na zaključak da se tu prvotno radilo o smjenjivanju slojeva arenita ili, vjerojatnije, bazaltnih tufova, a možda i tufitičnih stijena.

Dakle, sva prikazana faktografija dokazuje da je hercinski progresivnometamorfni kompleks slavonskih planina nastao iz nekog magmatogeno-odnosno vulkanogeno-sedimentnog kompleksa, kako je to pretpostavljao Jamičić (1983). Na ovaj pouzdano izvedeni zaključak nadovezuje se i pitanje o mogućnosti razmatranja tog primarnog (ishodišnog) magmatogeno-sedimentnog kompleksa.

Naime, u slavonskim planinama nailazimo na komplekse semimetamorfni stijena, pretežno slejtova i škrljavih metapješčenjaka, u kojima se dosta često javljaju manja tijela metadijabaza i ofitskih metagabra (Pamić and Jamičić, 1986). Taj magmatisko-semimetamorfni kompleks izgrađuje središnje dijelove Pšunja, a veće rasprostiranje ima na Papuku i često je u izravnom kontaktu s progresivnometamorfni kompleksom u kojem se javljaju amfibolitske stijene. Jamičić (1983) naziva taj semimetamorfni kompleks radlovačkom serijom za koju smatra, po paleontološkim odredbama (Brkić et al., 1974) i vlastitim terenskim podacima, da ima stratigrafski raspon od gornjeg devona do gornjeg perma.

Raffaelli (1965) je prvi pretpostavio da je regionalnometamorfna sukcesija na Ravnoj gori, na Papuku mogla nastati regionalnim metamorfizmom, koji se odigrao za vrijeme hercinske orogeneze pod P-T uvjetima grnšistnog i amfibolitskog facijesa, iz spomenutog magmatisko-semimetamorfni kompleksa. Po ovoj pretpostavci, koju još do danas nitko nije dokumen tirao, ortoamfibolitske stijene iz hercinskog regionalnometamorfni kompleksa slavonskih planina mogle bi imati svoj protolit u spomenutim metadijabazima i metagabrima semimetamorfni (radlovačkog) kompleksa.

U takvim petrogenetskim razmatranjima je posebno interesantna geološko-petrološka korelacija

ispitivanih amfibolita iz hercinskog regionalnometamorfni kompleksa, s jedne strane, i metabazita iz prostorno udruženog semimetamorfni kompleksa, s druge strane.

U geološkom načinu pojavljivanja postoje razlike jer se amfiboliti najčešće javljaju kao centimetarski proslojci i metarsko-dekametarski ulošci, a metabazične stijene kao dekametarski silovi čak i do 70–80 m debljine. Pozitivne korelacije nema ni u kemizmu te dvije grupe stijena. Metabaziti semimetamorfni kompleksa imaju izraziti toleitski karakter, a amfiboliti odgovaraju uglavnom olivinskim toleitima, a dosta često i alkalijskim bazaltima. Ovu nepodudarnost lijepo ilustriraju dijagrami AFM, ACF i $FeO^x : FeO^x/MgO$ (slika 3) na kojima je ucrtan i prosječan sastav metabazita iz semimetamorfni kompleksa. Konačno, pozitivna korelacija ne postoji ni u sadržaju mikroelemenata što se vidi iz tabele 2 (analize 17 i 18) i Ti-Zr-Y trokomponentnog dijagrama (slika 4b).

Na osnovi navedene korelacije malo je vjerojatno da su bazične magmatske stijene iz semimetamorfni kompleksa slavonskih planina mogle predstavljati protolit za ortoamfibolite iz okolne regionalnometamorfne sukcesije. Mnogo je vjerojatnije da ispitivane amfibolitske stijene vuku svoje porijeklo od nekih drugih starijih bazaltoidnih stijena koje dosad nisu identificirane u kristalinom kompleksu slavonskih planina.

Primljeno: 10. XII. 1989.

Prihvaćeno: 7. V. 1990.

LITERATURA

- Brkić, M., Jamičić, D. i Pantić, N. (1974): Karbonske naslage u Papuku (sjeveroistočna Hrvatska). Geol. vjesn., 27, 53–58, Zagreb.
- Coleman, R. G. (1977): Ophiolites. p. 229. Springer Verlag, Berlin-Hidelberg-New York.
- Ernst, W. G., Liou, J. G. and Moore, D. E. (1981): Multiple metamorphic events recorded in Tiluko amphibolites and associated rocks of the Suao-Nanao area, Taiwan. Geol. Soc. China, Mem., 4, 391–444.
- Jamičić, D. (1983): Strukturni sklop metamorfni stijena Krndije i južnih padina Papuka. Geol. vjesn., 36, 51–72, Zagreb.
- Jamičić, D. (1988): Strukturni sklop slavonskih planina. Disertacija, p. 152, Zagrebačko sveučilište, Zagreb.
- Kišpatić, M. (1892): Prilog geološkom poznavanju Pšunja. Rad JAZU, 109, 1–57, Zagreb.
- Kišpatić, M. (1910): Brucitamphibolit aus Krndija in Kroatien. Centralbl. Miner., 5, 153–155, Stuttgart.
- Korolija, B. i Jamičić, D. (1988): Tumač za list Osnovne geološke karte SFRJ 1:100.000, list Našice, Sav. geol.zav., Beograd.
- Leake, B. E. (1964): The chemical distinction between ortho- and para-amphibolites. Jour. Petrol., 5, 238–254, Cambridge.
- Marci, V. (1970): Metasomatski procesi u kontaktnim zonama granita i amfibolita na području Donje Rašaške (Pšunj). Geol. vjesn., 24, 123–131, Zagreb.
- Marci, V. (1973): Geneza granitnih stijena Pšunja. Acta geol., 7, 95–131, Zagreb.
- Marci, V. i Raffaelli, P. (1981): Kemijske karakteristike amfibolitskih stijena sjeverozapadnog dijela Pšunja. Razlikovanje orto i para varijeteta. Geol. vjesn., 33, 133–143, Zagreb.
- Miyashiro, A. (1961): Evolution of metamorphic belts. Jour. Petrol., 2, 277–311, Cambridge.

- Miyashiro, A. and Shido, F. (1975): Tholeiitic and calc-alkalic series in relation to the behaviours of titanium, vanadium, chromium, and nickel. *Amer. Journ. Scie.*, 275, 265–277, New York.
- Pamić, J. (1988): Stijene granit-granodioritne asocijacije Krndije u Slavoniji (sjeverna Hrvatska, Jugoslavija). *Rad JAZU*, 441 (23), 97–114, Zagreb.
- Pamić, J. and Jamičić, D. (1986): Metabasic intrusive rocks from the Paleozoic Radlovac complex of Papuk Mt. in Slavonia (Northern Croatia, Yugoslavia). *Rad JAZU*, 424 (21), 97–127, Zagreb.
- Pamić, J., Jamičić, D. i Crnko, J. (1984): Bazične i intermedijarne magmatske stijene iz metamorfita središnjih dijelova Pšunja u Slavoniji. *Geol. vjesn.*, 37, 127–144, Zagreb.
- Pamić, J., Lelkes-Felvary, Gy. and Raffaelli, P. (1988): Andalusite-bearing schists from southwestern parts of Papuk Mt. in Slavonia (Northern Croatia). *Geol. vjesn.*, 41, 145–157, Zagreb.
- Pamić, J., Lanphere, M. and McKee, E. (1988): Radiometric ages of metamorphic and associated igneous rocks of the Slavonian Mountains in the southern part of the Pannonian Basin. *Acta geol.* 18, 13–39, Zagreb.
- Pearce, J. A. and Cann, J. R. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth Plan. Scie. Lett.*, 19, 290–300, Amsterdam.
- Raffaelli, P. (1965): Metamorfizam paleozojskih škrljaca u području Ravne gore (Papučko gorje). *Geol. vjesn.*, 18, 61–111, Zagreb.
- Rock, N. M. S. and Leake, B. F. (1984): The International Mineralogical Association amphibole nomenclature scheme: computerization and its consequences. *Miner. Mag.*, 48, 211–227, London.
- Schwarz, H. P. and Clayton, R. N. (1965): Oxygen isotopic studies of amphibolites. *Canad. Jour. Earth Scie.*, 2, 72–84, Ottawa.
- Shido, F., Miyashiro, A. and Ewing, A. (1971): Crystallization of abyssal tholeiites. *Contrib. Miner. Petrof.*, 31, 251–266, Stuttgart.
- Sidorenko, A. V., Borshevsky, Yu. A., Borisova, S. L. Ustinov, V. I. i Savchenko, Y. I. (1973): Izotopno-kislorodnaya diagnostika orto- i paraamfibolitov. *Dokladi, ANSSSR*, 211 (1), 208–211, Moskva.
- Šparica, M., Buzaljko, R. i Jovanović, Č. (1984): Tumač za Osnovnu geološku kartu SFRJ 1:100.000, list Nova Gradiška. *Sav. geol. zav.*, Beograd.
- Tajder, M. (1969): Geneza blastoporfirnog epidot-amfibolita na području Omanovca u Pšunju. *Acta geol.*, 6, 6–16, Zagreb.
- Taylor, H. P. (1968): The oxygen isotope geochemistry of igneous rocks. *Contrib. Miner. Petrof.*, 19, 1–71, Stuttgart.
- Valley, J. W. (1986): Stable isotope geochemistry of metamorphic rocks. In J. W. Valley, H. P. Taylor and J. R. O'Neil (eds.) »Stable isotopes«, *Review in Miner.*, 16, 445–490, *Miner. Soc. Amer.*, Washington, D. C.
- Vragović, M. (1970): Granat-biotitski amfibolit iz potoka Brzaje (Papuk). *Zbor. rad. RGN fak. u povodu 30 godina rada*, 129–131, Zagreb.
- Winkler, H. G. F. (1979): Petrogenesis of metamorphic rocks. p. 237, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.

Petrology of amphibolites from the Slavonian Mountains in Northern Croatia (Yugoslavia)

J. Pamić and V. Marci

Though amphibolites are very common members of many metamorphic complexes, as yet, there is not enough detailed geochemical data relevant for reliable conclusions on their genesis. Such data are also lacking for amphibolites which occur frequently in the metamorphic complex of the Slavonian Mountains: Pšunj, Papuk and Krndija (Fig. 1) where a systematic sampling along several profiles was carried out.

Basic Geological Data

Amphibolite occur in the Hercynian progressively metamorphic sequence which is made up mostly of paragneiss, mica schist, greenschist, and phyllite which are intruded by I-type granites. In tectonically undisturbed areas, the progressively metamorphic sequence shows a distinct zonation: chlorite to biotite to garnet to staurolite to sillimanite, in some places with kyanite and in some places with andalusite. Its highest-grade parts grade into penecontemporaneous migmatites.

Mode of occurrence of amphibolites is presented in columnar sections (Fig. 2). The amphibolites occur as thin interlayers, 5–6 to 15–20 cm thick to bodies a few metres to 20 m thick that are distinctly conformable with the overlying and underlying paragneisses and mica schists. Amphibolite bodies are interlayered within the garnet, staurolite, and sillimanite zones but they also occur within partly migmatitized parts of the progressively metamorphic complex.

Age of amphibolites was determined both by K-Ar and Rb-Sr methods. Most of the K-Ar measurements fall in the span between 352.6 and 376.4 Ma and Rb-Sr isochron indicates an age of 317 Ma. The K-Ar measurements on a few amphibolites gave reset ages ranging from 219.7 to 262.3 Ma due to the subsequent heating and a few of them gave K-Ar ages up to 658.9±20 Ma which could not be properly interpreted (Pamić et al., 1988).

Petrology

Mineral paragenesis of amphibolites includes hornblende and plagioclase with subordinate biotite, quartz, garnet, and epidote, and accessory apatite, zircon, titanite, zoisite, and metallic mineral(s). Microprobe chemical composition of the most important rock-forming minerals is presented in Table 1.

Petrography. Most of amphibolites are nematogranoblastic and lepidoblastic, rarely porphyroblastic in texture. Structure is mostly parallel due to foliation and lineation. Varieties homogeneous in structure are scarce as well as the striped amphibolites with modal and compositional layering.

Based on mineral composition, the following varieties were determined: bimineralic amphibolite, biotite amphibolite, quartz-biotite amphibolite, and quartz amphibolite with subordinate garnet amphibolite, quartz-garnet amphibolite, quartz-biotite-garnet amphibolite, epidote amphibolite, and epidote-biotite amphibolite. These varieties include in some places fine-scale millimetre to centimetre interlayers of monomineralic amphibole schist. Some amphibolites are also affected by phyllonitization.

Geochemistry. Major and trace element contents, CIPW norms, and oxygen isotope composition is presented in Table 2 for the Pšunj amphibolites and in Table 3 for the Papuk amphibolites. Most amphibolites are basaltic and only a few of them are dioritic in composition. Variations in major element content is illustrated by the AFM and AFC triangles (Fig. 3) on which most of the points are gathered in comparatively small fields of oceanic tholeiites (Shido et al., 1971) and the average basalt (Ernst et al., 1981). Most of the points of amphibolites fall in the field of abyssal tholeiites on the $FeO^*/FeO^*/MgO$ diagram (Fig. 3c) proposed by Miyashiro and Shido (1975).

CIPW norms of amphibolites of basic composition show that most of them belong to tholeiite, olivine tholeiite, and alkalic tholeiite. Average compositions both of the Pšunj and Papuk amphibolites belong to olivine tholeiite.

Distribution of certain trace elements also indicates basaltic origin of amphibolites (Fig. 4a). Most of the points of the Papuk amphibolites fall in the Ti-Zr-Y diagram (Pearce and Cann, 1973) in the field of »within plate basalts« and the ones of the Pšunj amphibolites are scattered in the direction of the Ti pole (Fig. 4b).

Oxygen isotope composition of amphibolites varies in the span between 6.1 and 8.8‰ (Papuk Mt.) and 4.9 and 7.9‰ (Pšunj Mt.). The amphibolites of dioritic composition have higher values ranging from 7.2 and 8.8‰. The diagram proposed by Schwarz and Clayton (1965) illustrates that most points of amphibolites fall in the field of basalts and orthoamphibolites, respectively (Fig. 5).

Discussion

Amphibolites from the Slavonian Mountains can be correlated by their variation of some major and trace element contents with average basalt and recent oceanic tholeiite compositions. But all these facts do not make possible a reliable conclusion for their igneous origin.

Oxygen isotope composition is critical for genetic consideration. Paraamphibolites usually have high $\delta^{18}\text{O}$ values (10.2 to 14.6‰) and orthoamphibolites are characterized by much lower values of $\delta^{18}\text{O}$ ranging between 4.9 and 7.2‰ (Sidorenko et al., 1973). As distinguished from paraamphibolites, orthoamphibolites have constant isotope composition which does not change during later metamorphic processes (Valley, 1986).

Consequently, the oxygen isotope data represent evidence that the examined amphibolites derived from primary basalts. Our basaltic amphibolites have slightly increased $\delta^{18}\text{O}$ values (the average is 6.9‰) when compared with fresh basalts averaging 6.5‰ (Taylor, 1968). These increased values indicate that the

primary basaltic protolith might have been affected by ocean-floor hydrothermal metamorphism before main metamorphic event had taken place. Increased values of $\delta^{18}\text{O}$ (about 8‰) obtained on a few amphibolite samples with higher SiO_2 content indicate that they were originated from dioritic igneous rocks.

The mode of occurrence of striped biotite amphibolites in middle parts of the sampled profile in Papuk Mt. (Fig 2a), where they display fine-scale interlayering with hornblende-biotite paragneisses, suggests that they might be of sedimentary origin. However, these amphibolites (samples 4, and 8, Table 2) have also low $\delta^{18}\text{O}$ values indicating basaltic origin. The mentioned fine-scale interlayering of amphibolites with low $\delta^{18}\text{O}$ values and paragneisses suggests that they originally represented basalts and/or basaltic tuffs.

Consequently, all data presented above represent evidence that the progressively metamorphic sequence of the Slavonian Mountains originated from a volcanic(magmatic)-sedimentary complex as was presumed by Jamičić (1988).