GEOLOGIJA *31, 32,* 415–435 (1988/89), Ljubljana

UDK 555.4.551.763(497.13)=862

Prilog geokemijskom poznavanju gornjokredne bimodalne vulkanske asocijacije Požeške gore u Slavoniji (sjeverna Hrvatska, Jugoslavija)

Some geochemical features of the Upper Cretaceous bimodal volcanic association from the Požeška Gora Mt. in Slavonija (northern Croatia, Yugoslavia)

Jakob Pamić

Geološki zavod, Sachsova 2, 41000 Zagreb

Jasna Injuk i Milko Jakšić

Institut »Ruđer Bošković«, Bijenička c. 54, 41000 Zagreb

Sažetak

U radu se najprije kratko evaluiraju svi dosad raspoloživi geološki i petrološki podaci o stijenama bimodalne vulkanske asocijacije Požeške gore. One su gornjokredne, uglavnom senonske starosti što je dokazano geološkim i radiometrijskim metodama. Bimodalna vulkanska asocijacija izgrađena je od približno podjednake količine alkalijsko-feldspatskih riolita i ofitnih bazalta, odnosno metabazalta.

Glavni dio rada razmatra geokemijske karakteristike bazalta i riolita. Na osnovi sadržaja imobilnih elemenata u tragovima razmatrani su geotektonski uvjeti formiranja bazalta. Alkalijsko-feldspatski rioliti pripadaju varijetetima obogaćenim silicijem i ističu se povišenim sadržajem zlata i srebra. Oni pokazuju pozitivnu korelaciju u sadržaju imobilnih mikroelemenata sa okolnim, takodjer gornjokrednim alkalijsko-feldspatskim granitima. Ta činjenica, kao i isti primarni odnos $^{87}Sr/^{86}Sr$ dokazuje njihovo zajedničko porijeklo iz iste primarne A-granitoidne magme nastale taljenjem u kori. S druge strane, bazaltne taljevine potječu iz gornjeg plašta.

Na kraju se vrši korelacija s bimodalnim vulkanskim asocijacijama u svijetu, koje su vrlo često genetski vezane za završne faze subdukcije i kasnije ekstenzione procese, i daje genetska interpretacija.

Abstract

The first part of the paper deals with the evaluation of all available geological and petrological data on volcanic rocks of bimodal association of the Požeška Gora Mt. They are of Upper Cretaceous, mostly Senonian age, what is proved by geological and radiometric methods. The bimodal volcanic association is made up of approximately the same proportion of alkali feldspar rhyolite and ophitic metabasalt with relict ophitic basalt.

Geochemistry of basalts and rhyolites has been studied in detail. On the basis of immobile trace elements, geotectonic setting of the basalts has been considered. Alkali feldspar rhyolites belong to high-silica varieties which contain increased quantities of gold and silver. The rhyolites can be correlated in certain immobile trace element contents with the associated alkali feldspar granites, and both groups of rocks have the same $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratio. These two facts indicate their common origin from the same A-granitoid melt originated in crustal environment. By contrast, basalt melts are of the upper mantle origin.

Bimodal volcanic association from Požeška Gora Mt. can be correlated with identical associations in the world. Most of them are genetically related to subduction and subsequent extension processes so that they have their specific geochemical, petrological and genetical features which are discussed in detail.

Uvod

Vulkanska masa Požeške gore, sa svojom površinom od oko 30 km^2, predstavlja najveće vulkansko tijelo u Hrvatskoj. O vulkanskim stijenama Požeške gore napisan je veći broj radova. Prvi ih spominje Stur (1861) koji ih je odredio kao felzitne porfire (= kremeni porfiri bez utrusaka kremena – primjedba autora), a uz njih pripominje i crvene porfirne pršince, odnosno tufove. Koch (1916, 1919) ih je najprije nazivao porfirima, a kasnije andezitima, na osnovi petrografske obrade Tućana (1919).

Barić i Tajder (1942) određuju vulkanite Požeške gore kao albitne riolite i albitne dijabaze, odnosno dolerite, uz koje spominju i prisustvo alkalijskih granita. Iza toga slijedi serija radova Tajdera (1944, 1947, 1955 i 1959) u kojima iznosi rezultate detaljne petrografske obrade albitnih dolerita i albitnih riolita sa nekoliko lokaliteta iz istočnih dijelova vulkanske mase Požeške gore. On je već u svom prvom radu izrazio sumnju o prisustvu andezita koje je odredio Tućan, a u svom posljednjem članku to i decidirano tvrdi.

Šparica i saradnici (1980) su, prilikom izrade Osnovne geološke karte, na Požeškoj gori izdvojili unutar vulkanske mase dijabaze sa spilitima (= albitni doleriti Tajdera-primjedba autora), albitporfire (= Tajderovi albitni rioliti-primjedba autora) i vulkanske breče, pored intruzivnih granofira (= alkalijski graniti Barića i Tajdera).

Majer i Tajder (1982) objavljuju regionalno-petrološki rad o spilit-keratofirskom vulkanizmu Slavonije u kojem su objedinjeni podaci za gornjokredne vulkanite Požeške gore i miocenske vulkanske stijene okolice Voćina, na Papuku. Pored ranije publiciranih Tajderovih kemijskih analiza, u radu su uključene i nove, dotad neobjavljivane kemijske analize. U radu je fokusirana pažnja na petrokemijske karakteristike na osnovi kojih su povučeni i određeni petrogenetski zaključci.

Pamić (1988a) je dao detaljan petrološki prikaz alkalijsko-feldspatskih granita (aljaskita) i podređenijih alkalijsko-feldspatskih kvarcnih sijenita Požeške gore, u kojem je pretpostavio da su oni kogenetski s okolnim riolitima, odnosno da vuku porijeklo iz iste primarne magme.

Cilj je ovog rada da se evaluiraju dosad raspoloživi geološki i petrološki podaci koji su međusobno neusklađeni i da se dadu novi geokemijski podaci, naročito o sadržaju mikroelemenata, kao novi prilog za bolje poznavanje vulkanskih stijena Požeške gore. Na osnovi ranije objavljenih i novih geokemijskih podataka izvlači se zaključak da vulkanske stijene Požeške gore predstavljaju tipičnu bimodalnu bazaltriolitnu asocijaciju vulkanita koja se može pozitivno korelirati s identičnim bimodalnim vulkanskim tvorevinama iz drugih krajeva svijeta koje se javljaju u identičnoj geotektonskoj poziciji. Posebna je pažnja u radu posvećena distribuciji mikroeleme-

nata u požeškim vulkanitima čiji se kiseli predstavnici (alkalijsko-feldspatski rioliti) mogu pozitivno korelirati s okolnim alkalijsko-feldspatskim granitima (aljaskitima). U riolitima se ističu karakteristično povećani sadržaji zlata i srebra.

*

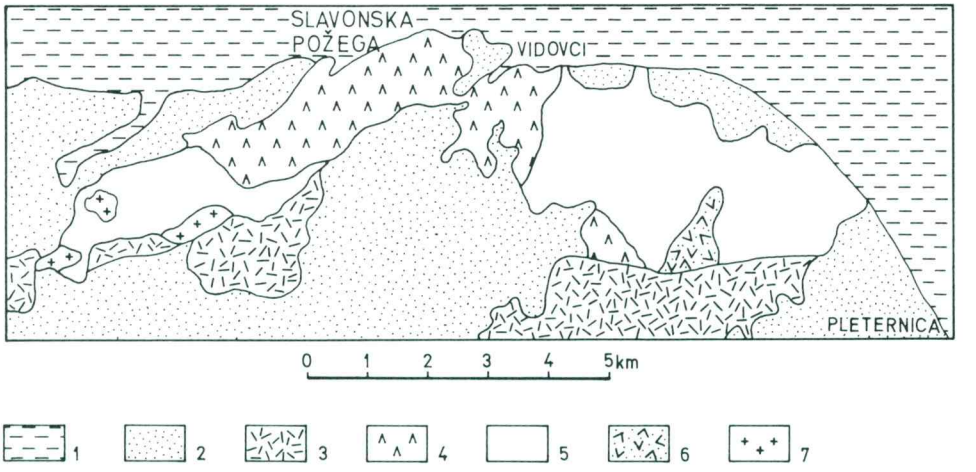
Kolega V. Majer mi je stavio na raspolaganje sve uzorke i izbruske iz zbirke pokojnog prof. Tajdera na čemu mu mnogo hvala. Na većem broju tih kemijski analiziranih uzoraka, kao i na većem broju novih, naknadno sakupljenih uzoraka, izvršena su u Institutu »Ruđer Bošković« određivanja elemenata u tragovima metodom rentgenske fluorescencije.

Sumaran prikaz dosadašnjih geološko-petroloških podataka i njihova evaluacija

Kao što se vidi iz priložene geološke karte (slika 1), vulkanska masa Požeške gore stoji najvećim dijelom u kontaktu s neogenim, a manjim dijelom s gornjokrednim sedimentima. Ona je izgrađena od približno podjednake količine bazalta i riolita koji su isprobijani s manjim tijelima alkalijsko-feldspatskih granita.

O **starosti vulkanita** Požeške gore dosad su iznesena vrlo različita mišljenja.

(1) Stur (1861) ne izvodi određen zaključak, mada jasno navodi da neogeni sedimenti naliježu preko vulkanita iz čega proizilazi da su oni stariji od okolnih miocenskih sedimenata.



Sl. 1. Shematizirana geološka karta gornjokredne vulkanske mase Požeške gore (Šparica et al., 1980)

1 kvartar; *2* neogen; *3* gornjokredni sedimenti; *4* bazalti i metabazalti; *5* alkalijsko-feldspatski rioliti; *6* piroklastične stijene; *7* alkalijsko-feldspatski graniti

Fig. 1. Schematized geological map of the Upper Cretaceous volcanic mass of the Požeška Gora Mt. (Šparica et al., 1980)

1 Quaternary; *2* Neogene; *3* Upper Cretaceous sediments; *4* basalt and metabasalt; *5* alkali feldspar rhyolite; *6* pyroclastic rocks; *7* alkali feldspar granite

(2) Koch (1916, 477) navodi da su efuzivne stijene Požeške gore »svakako mlađe od gornjokrednih sedimenata, jer ih probijaju«, a kasnije iznosi mišljenje (Koch, 1919, 225 i 232) da bi se »starost ovih erupcija mogla staviti u gornji miocen«, no uz ogradu da bi se naknadno trebali prezentirati pobliži dokazi za tu starost. Njegovo su mišljenje prihvatili i neki kasniji istraživači (Tajder, 1944, 1955 i 1959; Šparica et al., 1980).

(3) Majer i Tajder (1982) uspoređuju vulkanske stijene Požeške gore u načinu pojavljivanja s trijaskim vulkanitima Dinarida, te na taj način eksplicitno ukazuju na mogućnost da su one trijaske starosti.

(4) Pamić i Šparica (1983) iznose brojne primjere konkordantnog proslojavanja vulkanita i njihovih piroklastičnih produkata sa paleontološki sigurno dokumentiranim gornjokrednim, pretežno senonskim sedimentima sa čime se dokazuje da vulkaniti Požeške gore, zajedno s okolnim gornjokrednim sedimentima, predstavljaju jedinstvenu vulkanogenu-sedimentnu formaciju. Ta formacija, prema njihovim kasnijim podacima (Šparica & Pamić, 1986), leži horizontalno-reversno (navlačno?) preko okolnih neogenih sedimenata.

(5) Najnovija radiometrijska određivanja (Pamić et al., 1988), korišćenjem Rb-Sr metode, dala su starost riolita od 71.50 milijuna godina što odgovara mastrihtu. Iste su starosti i okolni alkalijsko-feldspatski graniti (aljaskiti).

Prema tome se može zaključiti da je gornjokredna, pretežno senonska starost vulkanita Požeške gore pouzdano određena geološkim i radiometrijskim metodama.

Petrografski podaci, koji su dosad objavljeni, međusobno nisu usklađeni u terminološkom pogledu. Bazične vulkanske stijene Tajder (1944) označava albitnim doleritima, pri izradi Osnovne geološke karte (Šparica et al., 1980) označene su dijabazima i spilitima, a te iste termine koriste Majer i Tajder (1982). Kisele efuzivne stijene Tajder (1955 i 1959) naziva albitnim riolitima, Šparica i suradnici (1980) albitporfirima, a Majer i Tajder (1982) kvarcnim keratofirima, uz koje spominju i prisustvo sasvim podređenih keratofira.

Dakle, bazične vulkanske stijene Požeške gore dosad su klasificirane kao dijabazi, albitni doleriti i spiliti, a kisele kao albitni rioliti, albitporfiri i kvarcni keratofiri. Prema tome, po tri različita naziva za iste stijene što u svakom slučaju dovodi do bespotrebne konfuzije.

Prema prijedlogu Streckeisena (1967 i 1973) bazične vulkanske stijene s bazičnim plagioklasom i klinopiroksenom trebale bi se označavati bazaltima, a u slučaju da imaju ofitnu (dijabaznu) strukturu ofitnim bazaltima. Termin dijabaz ili dolerit rezervirani su, po toj klasifikaciji, samo za hipabisalne bazične stijene bazaltnog sastava. Prema tom bi kriteriju stijene koje su Majer i Tajder (1982) označili dijabazima trebalo nazivati ofitnim bazaltima.

S druge strane, bazični vulkaniti s albitom i klinopiroksenom ± sekundarni minerali, po sugestijama Streckeisena (1967 i 1973) mogle bi se nazivati spilitima, naročito kada im je jasno izražen natrijski karakter. Stvarno je činjenica da jedan, čak veći dio bazičnih vulkanita ima jasno izražen natrijski karakter zbog prisustva albita te da pripada spilitima (tabela 1). No isto je tako činjenica da drugi dio tih bazičnih vulkanita ima povećan sadržaj kalijuma koji se penje i preko 2,7 % i snižen sadržaj natrijuma (i do 1,56 %), tako da ih se nikako ne bi moglo označiti spilitima.

Zbog toga, kao i zbog toga što mineralna parageneza tih stijena nije dosad u dovoljnjoj mjeri izučena, bilo bi realnije da se u sadašnjoj situaciji te stijene označe metabazaltima, kako to predlaže i Streckeisen (1973). Naša dosadašnja saznanja o izmjenama bazičnih efuzivnih stijena u uvjetima hidrotermalnog metamorfizma

oceanskog dna pokazuju da su one rezultat, ne samo intenzivne albitizacije nego i drugih procesa, naročito zeolitizacije pri kojoj nastaju kemijski raznovrsni minerali iz grupe zeolita (Coleman, 1977).

Kisele vulkanske stijene Požeške gore, u osnovi identičnog sastava, dosad su označavane albitnim riolitima, albitporfirima i kvarcnim keratofirima.

Budući da se radi o kiselim vulkanitima prezasićenim kvarcom, uz kojeg još dominiraju alkalijski glinenci-ortoklas i albit, to bi oni po prvem prijedlogu Streckeisena (1967) pripadali alkalijskim riolitima kao efuzivni ekvivalenti alkalijskih granita. No s druge strane, Streckeisen naglašava da alkalijski karakter magmatskih stijena prvenstveno definira prisustvo feldspatoida kojih nema u požeškim vulkanitima. Vjerojatno uviđajući i sâm svoju klasifikacijsku nedosljednost, on alkalijske granite u definitivno prihvaćenoj klasifikaciji plutonskih stijena označava alkalijsko-feldsatskim granitima (Streckeisen, 1973). Mada još ne postoji opća definitivno prihvaćena sistematika efuzivnih stijena, ipak bismo mogli, analogno navedenom kriteriju za intruzivne stijene, namjesto naziva alkalijski rioliti upotrijebiti adekvatniji termin alkalijsko-feldspatski riolit. Isto tako bi se onda moglo i intermedijarne efuzivne ekvivalente alkalijsko-feldspatskih sijenita označiti alkalijsko-feldspatskim trahitima.

Naziv alkalijsko-feldspatski riolit je zaista adekvatniji od naziva albitni riolit zato što u tim stijenama jako varira odnos između ortoklasa i albita, tako da kod nekih količina albita pada na svega 10–15 %, i obrnuto. Nazivi albitporfir i kvarcni keratofir, naročito onaj prvi, sve se manje primjenjuju u petrografskim klasifikacijama, i to samo za starije i izmijenjene vulkanske stijene koje su bile zahvaćene procesima albitizacije. Kako to nije slučaj s kiselim vulkanitima Požeške gore, to je onda najlogičnije, imajući u vidu sve gore navedeno, da ih se naziva alkalijsko-feldspatskim riolitima.

Na osnovi svega navedenog može se zaključiti da bi bazične vulkanske stijene Požeške gore trebalo nazivati ofitnim bazaltima, kada su svježe, i metabazaltima, kada su izmijenjene, dok bi kiselim pratiocima najviše odgovarao termin alkalijsko-feldspatski riolit.

Petrokemijsko-petrogenetska razmatranja proističu iz navedenih petrografskih podataka. Interesantno je istaći da je Tajder (194, 1955 i 1959) detaljno razmatrao složen problem geneze albita pri čemu se opredijelio za njegovo primarno, magmatsko porijeklo. Inače, on vulkanite Požeške gore nije promatrao cjelovito s pozicije formacija i vulkanskih serija.

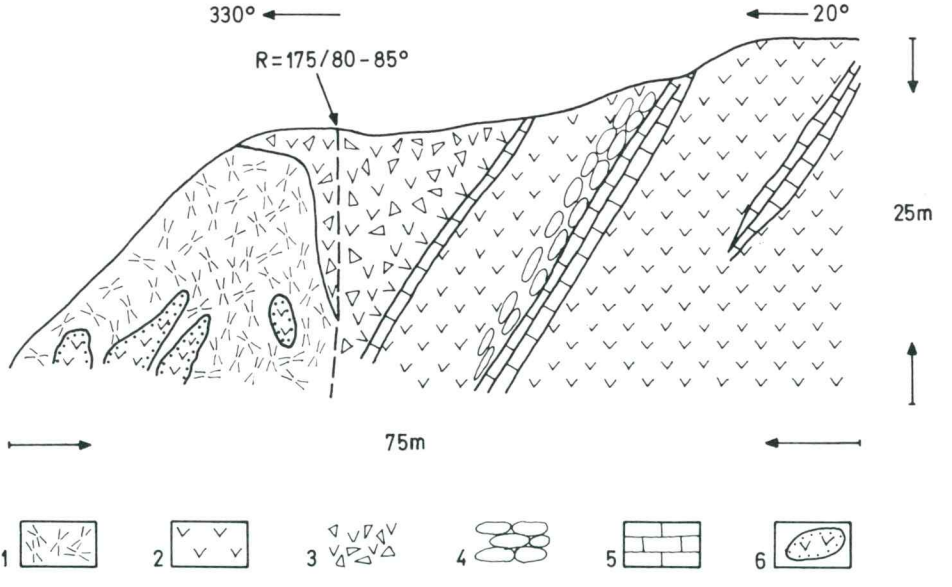
Taj je problem detaljnije obrađivan u radu Majera i Tajdera (1982) u kojem se tvrdi da vulkanske stijene Požeške gore pripadaju spilit-keratofirskoj asocijaciji stijena, koja se korelira s petrografski odgovarajućim, naročito trijaskim formacijama Dinarida. Oni daju brojne petrokemijske dijagrame koji pokazuju da ti vulkaniti imaju određene karakteristike i kalcijsko-alkalijskih, toleitskih i alkalijskih serija, i pri tome ne povlače neki decidirani zaključak. Razmatraju i mogućnost kristalizacijske diferencijacije iz neke primarne (kisele?) magme, ali ipak smatraju da su procesi parcijalnog taljenja igrali presudnu ulogu u njihovom postanku. A što se tiče geneze albita, oni zaključuju »da ove stijene moramo smatrati primarnim produktima jedne taljevine koje nisu u toku glavne magmatske faze ničim izmijenjene« (Majer & Tajder, 1982, 18).

Novi podaci

Prostorni odnos riolita i bazalta

Prema podacima Osnovne geološke karte (Šparica et al., 1980), rioliti i bazalti se javljaju kao zasebna veća, kilometarska tijela, tako da se mogu lako kartografski odvojiti (slika 1). Unutar riolita izdvojili su tri manja granitna tijela. Po novijim podacima granitne stijene zauzimaju veće površine (Pamić, 1988a), a rioliti i bazalti češće se izmjenjuju na manjim razmacima, uz često proslojavanje s gornjokrednim sedimentima (Pamić & Šparica, 1983). Zbog pokrivenosti nigdje se nije mogao na prirodnim izdancima pratiti izravan kontakt izmedju bazalta i riolita. U novije je vrijeme u danas jedino aktivnom kamenolomu u vulkanskim stijenama Požeške gore u potoku Pako, kod Vidovca, lijepo otkriven profil u kojem je moguće promatrati odnose izmedju bazalta i riolita (slika 2).

Na tom se profilu jasno vidi tektonski (rasjedni) karakter kontakta izmedju riolita i bazalta. Ovo je, u stvari, kontakt izmedju većih i jasno individualiziranih vulkanskih tijela jer se bazalti protežu daleko na jug, a rioliti na sjever i naročito na istok, sve do Pleternice. U južnom krilu rasjeda, koji pada 175/70–85°, dolaze zeleni metabazalti, mjestimice kao jastučastne lave, sa metarskim proslojcima crvenih globotrunkastih vapnenaca i šejlova. Metabazalti su u kontaktnom području intenzivno kataklazirani i milonitizirani, bliže kontaktu i jasno škriljavi. U sjevernom krilu rasjeda dolaze nekataklazirani rioliti koje u vršnim dijelovima prekrivaju



Sl. 2. Shematizirani geološki profil u kamenolomu Pako
1 alkalijsko-feldspatski rioliti; *2* bazalti i metabazalti; *3* rasjedna zona; *4* jastučaste bazaltne lave; *5* proslojci gornjokrednih sedimenata; *6* pokriveno

Fig. 2. Schematized geological cross-section in the Pako quarry
1 alkali feldspar rhyolite; *2* basalt and metabasalt; *3* fault zone; *4* basalt pillow lavas; *5* interlayers of Upper Cretaceous sediments; *6* covered

kataklazirani i djelomice škriljavi metabazalti rasjedne zone pa se dobiva utisak da su metabazalti nagurivani u pravcu sjevera preko riolita.

Već je ranije istaknuto (Pamić & Šparica, 1983) da konkordantno proslojavanje gornjokrednih, uglavnom senonskih globotrunkanskih vapnenaca i vulkanita (pretežno bazalta) dokazuje gornjokrednu starost submarinskog vulkanizma. Navedeni odnosi na prikazanom profilu pokazuju, i pored jasno izraženog rasjednog kontakta, da su izljevi bazalta i riolita produkti odvojenih i naizmjeničnih faza izljevanja i da su bazalti anklavirani u riolitima što dokazuje, bar na ovom profilu, da su bazaltni izljevi stariji od riolitnih. Budući da se radi o proslojavanju samo gornjokrednih globotrunkanskih vapnenaca na brojnim mjestima, to se ne može govoriti o nekim, vremenski jako odvojenim fazama izljevanja bazaltnih i riolitnih lava koja su se morala odvijati bez neke veće pravilnosti. Neke veće zakonitosti u toj polifaznosti teško je izvlačiti i zbog toga što je, kako je to već naprijed naglašeno, cjelokupni gornjokredni vulkanogeno-sedimentni kompleks alohtonog karaktera i time samo fragmentarno sačuvan.

Geokemijski podaci

Geokemijski podaci, odnosno sadržaji makroelemenata i mikroelemenata prikazani su u tabeli 1. Prvih se 19 analiza odnose na uzorke ofitnih bazalta i metabazalta te alkalijsko-feldspatskih riolita koje je ustupio kolega Majer za određivanje elemenata u tragovima. Analize 20 do 31 odnose se na naknadno sakupljene i analizirane uzorke samo riolitnih stijena.

Makroelementi. Prvih 10 analiza u priloženoj tabeli prikazuju kemizam bazalta i metabazalta. Sadržaji glavnih komponenti pokazuju uobičajene varijacije karakteristične za bazične stijene. Dok bazalti imaju ujednačeniji sadržaj alkalijskih elemenata i dosta visok odnos Na_2O:K_2O, dotle metabazalti imaju najčešće dosta povećanu količinu alkalijskih elemenata, uz promjenljiv odnos natrija i kalija, vjerojatno kao rezultat naknadnih postkonsolidacionih promjena.

Od ostalih stijena, samo jedna (analiza 11, tabela 1) odgovara neutralnim, a sve ostale (analize 12 do 31) pripadaju kiselim vulkanitima – alkalijsko-feldspatskim riolitima. Na priloženom dijagramu SiO_2 : Na_2O+K_2O (Le Bas et al., 1986) najveći dio tih stijena pada u polje riolita (slika 3). Sadržaji SiO_2 tih stijena najčešće kolebaju u rasponu od 73 do 77 %, a srednja vrjednost iznosi oko 74 % (bez sadržaja vode) po čemu pripadaju visokosilicijskim, odnosno silicijem bogatim riolitima (Hildereth, 1981). Alkalijsko-feldspatski rioliti Požeške gore odlikuju se sniženim udjelom CaO (srednja vrjednost 0,65 %) i povišenim sadržajem alkalijskih elemenata (srednji sadržaji: Na_2O = 4,34 % i K_2O = 4,13 %) po čemu se jasno razlikuju od riolita kalcijsko-alkalijskih serija. To nam najbolje ilustrira priloženi dijagram SiO_2 : Na_2O+K_2O (Miyashiro, 1874), na kojem sve točke bazalta, metabazalta i najveći dio alkalijsko-feldspatskih riolita padaju u polje stijena alkalijskih vulkanskih serija (slika 4). Pri tome treba imati na umu da je ovakvo ponašaje bazaltnih stijena prvenstveno uvjetovano naknadnim obogaćenjem alkalijskim elementima, posebno natrijem.

Alkalijsko-feldspatski rioliti Požeške gore po kemijskom sastavu jako su slični okolnim alkalijsko-feldspatskim granitima (aljaskitima) što ilustriraju njihove srednje vrjednosti (analize 32 i 33, tabela 1). Suma alkalija je gotovo identična (oko 8,5 %) s malim razlikama u odnosu na sadržaj SiO_2.

Iz iznesenih podataka o sadržaju glavnih komponenti vidi se jasno da među vulkanitima Požeške gore dolaze praktički samo bazaltne i riolitne stijene. Mada se

Tabela 1. Sadržaj makroelemenata (u %) i mikroelemenata (u ppm) požeških bazalta, metabazalta i alkalijsko-feldspatskih riolita

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O
1.	45,79	1,59	18,76	1,68	7,30	0,13	7,77	9,53	2,54	0,88	0,22	4,89
2.	47,50	1,66	15,81	5,04	6,18	0,11	7,35	10,61	2,87	0,59	0,20	2,43
3.	47,60	1,44	16,35	3,26	9,10	0,24	10,16	0,67	1,56	2,51	0,15	6,95
4.	51,93	1,50	17,19	2,22	5,41	0,10	4,58	6,52	4,12	1,94	0,43	3,73
5.	48,66	2,23	15,58	4,30	6,06	0,13	4,56	6,64	5,32	0,87	0,28	5,11
6.	47,27	1,64	18,41	2,52	5,08	-	6,40	7,80	4,12	1,30	0,29	5,38
7.	49,25	2,08	15,86	5,19	6,47	0,16	5,08	6,27	4,44	1,54	0,61	3,10
8.	46,02	1,89	15,29	3,52	7,03	0,09	5,59	10.13	4,02	0,97	0,38	5,38
9.	45,64	3,11	19,64	1,21	8,00	0,04	7,20	3,87	3,16	2,78	0,18	5,37
10.	50,42	1,22	15,61	1,95	5,64	0,07	5,51	0,45	4,26	3,11	0,32	3,85
11.	59,28	0,79	19,69	1,56	2,27	0,03	3,15	0,57	4,35	5,26	0,20	2,68
12.	68,07	0,51	15,60	0,91	2,18	0,04	1,23	0,53	4,66	4,79	0,14	1,25
13.	71,19	0,35	14,95	1,51	0,42	-	-	0,07	3,08	7,68	0,13	0,76
14.	71,56	0,42	15,02	2,08	0,42	-	0,17	0,27	5,30	4,53	0,19	0,77
15.	71,44	0,59	15,40	1,09	0,85	-	0,12	0,53	5,28	3,87	0,05	0,88
16.	73,25	0,60	12,35	2,86	0,60	0,04	1,40	1,44	5,32	0,51	0,27	1,24
17.	74,62	0,46	14,01	1,06	1,07	0,02	0,80	0,40	6,35	0,32	0,17	0,68
18.	69,86	0,80	14,09	1,86	1,41	0,04	1,21	3,45	4,16	1,48	0,24	1,31
19.	72,22	0,51	12,43	2,16	0,86	-	0,44	0,93	3,08	6,59	0,48	0,60
20.	71,65	0,24	14,28	2,52	0,82	0,01	0,20	0,42	4,00	4,04	0,25	1,41
21.	69,48	0,29	14,41	2,64	1,72	0,02	0,25	0,73	4,00	4,14	0,41	1,81
22.	84,36	0,08	4,96	2,19	0,18	0,02	0,16	0,60	3,24	2,92	0,14	0,45
23.	71,64	0,20	13,39	2,18	0,91	0,01	0,22	0,62	1,72	7,98	0,33	0,59
24.	70,95	0,19	13,26	2,56	1,65	0,04	1,55	0,75	6,27	0,89	0,33	1,62
25.	76,52	0,18	9,05	1,53	1,22	0,02	0,18	0,80	3,36	5,48	0,22	1,13
26.	73,35	0,11	10,18	1,62	0,78	0,03	0,93	1,06	3,62	4,42	0,16	3,46
27.	73,53	0,14	12,49	1,81	1,24	0,01	0,13	0,69	3,92	4,82	0,12	0,81
28.	76,51	0,10	12,24	1,17	0,75	0,01	0,11	0,59	3,58	3,78	0,06	0,99
29.	81,16	0,09	8,42	1,61	0,16	0,01	0,10	0,46	1,50	5,68	0,11	0,53
30.	77,05	0,16	9,18	1,71	1,51	0,01	0,07	0,49	2,94	5,48	0,19	1,22
31.	77,97	0,16	9,44	1,19	0,55	0,02	0,12	0,58	3,74	4,92	0,27	0,75
32.	73,06	0,36	13,00	1,69	0,95	0,02	0,51	0,64	4,34	4,13	0,18	1,04
33.	70,20	0,37	15,34	2,70	0,29	-	0,27	0,50	5,06	3,36	-	1,74

Table 1. Major element (in wt. percents) and trace element contents (in ppm) of basalts, metabasalts and alkali feldspar rhyolites

Suma	Ag	Au	Ba	Ce	Cu	Cr	Ga	La	Nb	Ni	Pb	Rb	Sr	Zn	Zr	Y
100,24	nd	nd	61	8	179	223	6	-	-	26	64	21	152	134	95	20
100,33	nd	nd	46	8	44	365	-	5	-	35	72	13	24	361	80	28
99,99	nd	nd	399	45	34	-	18	-	-	-	60	84	64	122	154	30
100,39	nd	nd	107	12	43	185	-	-	-	20	43	48	195	300	63	39
99,75	nd	nd	64	10	646	199	-	-	-	18	79	15	202	506	70	27
100,30	nd	nd	80	-	198	448	13	-	-	68	72	58	311	139	142	35
100,05	nd	nd	136	20	80	190	-	18	-	22	89	29	381	205	130	30
100,28	nd	nd	67	12	165	461	-	3	30	44	56	18	366	156	33	32
100,20	nd	nd	2304	30	216	-	-	-	-	-	-	28	48	129	230	31
100,41	nd	nd	335	27	39	-	6	-	37	-	47	76	58	97	167	31
99,77	nd	nd	296	42	135	-	14	22	44	-	20	115	51	135	450	42
100,01	nd	nd	371	60	248	41	7	22	-	-	7	91	26	169	295	30
100,14	nd	nd	441	46	61	-	11	18	-	-	-	122	38	69	225	31
100,73	nd	nd	406	38	61	-	-	4	-	-	16	86	28	-	309	29
100,10	nd	nd	228	50	20	-	10	14	-	-	-	69	26	11	243	25
99,90	nd	nd	134	19	283	24	-	13	34	-	-	89	63	178	149	16
99,96	nd	nd	43	28	34	-	-	13	48	-	29	30	25	42	153	27
99,91	nd	nd	203	34	27	-	10	10	-	-	10	28	138	35	299	20
100,30	nd	nd	339	49	76	-	6	8	-	-	-	79	37	63	194	28
99,89	-	10	40	nd	18	-	nd	nd	22	-	24	37	1075	22	949	18
99,90	11	-	396	nd	81	-	nd	nd	-	-	36	15	339	87	1546	22
99,60	-	9	-	nd	15	-	nd	nd	-	-	40	6	162	20	1220	81
99,79	-	-	35	nd	493	-	nd	nd	21	-	16	150	91	42	169	40
100,06	-	11	165	nd	24	-	nd	24	20	-	21	10	92	98	710	70
99,67	16	-	125	nd	27	-	nd	nd	21	-	41	3	340	77	322	21
99,72	-	6	188	nd	19	-	nd	nd	25	-	73	18	71	35	554	40
99,71	20	22	48	nd	68	-	nd	nd	-	-	51	30	325	115	204	36
99,90																
99,82	-	-	252	nd	41	-	nd	nd	-	-	33	280	31	133	258	66
100,01	-	11	58	10	82	-	nd	nd	21	-	-	15	329	88	448	22
99,71	13	9	91	nd	84	-	nd	nd	16	-	-	36	350	93	215	32
99,92	15	8	188	37	93	-	-	-	-	-	-	21	64	72	469	35
99,83												94	63		418	25

Harkerovi varijacioni dijagrami najčešće koriste da bi pokazali postupnost promjena u kemijskom sastavu, mi smo na njih ucrtali raspoložive podatke za vulkanite Požeške gore (slika 5). Iz tih se dijagrama jasno uočava njihov kontrastni sastav kojeg definiraju dva jasno odvojena polja – bazaltno i riolitno između kojih se nalazi samo jedna jedincata trahitna stijena. Intermedijarne stijene sa sadržajem SiO_2 od 52 do 68 % praktički se uopće ne susreću.

Mikroelementi. Kao što se bazaltne i riolitne stijene oštro odvajaju u sadržaju glavnih komponenti, tako se oni jasno odvajaju i po sadržaju elemenata u tragovima.

Ofitni bazalti i metabazalti pokazuju uobičajena variranja mikroelemenata karakteristična za bazične vulkanske stijene, uz rijetke izuzetke (npr. Ba, vjerojatno kao rezultat naknadnog privođenja). Posebno su interesantni imobilni elementi na osnovi kojih se u novije vrijeme razmatraju problemi geotektonskog položaja vulkanskih serija. U tom smislu smo koristili diskriminacioni dijagram Ti:Zr:Y (Pearce & Cann, 1973) na kojem točke bazičnih vulkanita Požeške gore pokazuju određena rasipanja pri čemu se ipak jasno vidi da njihov najveći broj pada u polje D i oko njega, tj. u polje kontinentalnih bazalta i oceanskog otočja (slika 6 a). I na drugom diskriminacionom dijagramu Zr:Zr/Y (Pearce & Norry, 1979) točke požeških bazalta se rasipaju i jedna polovica pada u polje kontinentalnih bazalta, a druga u polje bazalta srednjooceanskih hrbtova (slika 6 b).

Iz gornjih se podataka ne može povući potpuno jednoznačan zaključak, mada su na oba posljednja dijagrama jako istaknuti režimi stabilnih kontinentalnih područja i oceanskog otočja. Možda ova nejednoznačnost u definiranju ukazuje na specifičnost geotektonskog režima formiranja bazalt-riolitne asocijacije Požeške gore.

Distribucija elemenata u tragovima sasvim je drukčija u alkalijsko-feldspatskim riolitima negoli u prodiskutiranim bazaltnim stijenama. U njima praktički nema Cr i Ni; neki mikroelementi pokazuju znatno veće sadržaje nego kod bazalta, kao primjerice Ba, Ce, La, a naročito Zr, dok su udjeli nekih mikroelemenata smanjeni: Cu, Pb i Zn. Interesantno je istaći da Rb pokazuje jako velika variranja od 11 do skoro 150 ppm, no ona su, u stvari, najvećim dijelom zavisna od sadržaja K_2O što lijepo ilustrira priloženi dijagram (slika 7). Na njem se vidi da je količina Rb uglavnom u izravnoj proporciji sa sadržajem K_2O što dokazuje da je Rb dispergiran uglavnom u ortoklasu.

Važno je istaći da alkalijsko-feldspatski rioliti sadrže povećanu količinu zlata i srebra koja je bila određivana samo u novoanaliziranim uzorcima (analize 20 do 31, tabela 1). Od ukupno 11 ispitanih primjeraka, Au i Ag nisu utvrđeni samo u dvije stijene. Udjeli srebra variraju od 13 do 20 ppm, a zlata od 6 do 22 ppm. Ovako povišeni sadržaji ta dva plemenita metala su iznenađujući za naše prilike, no izgleda

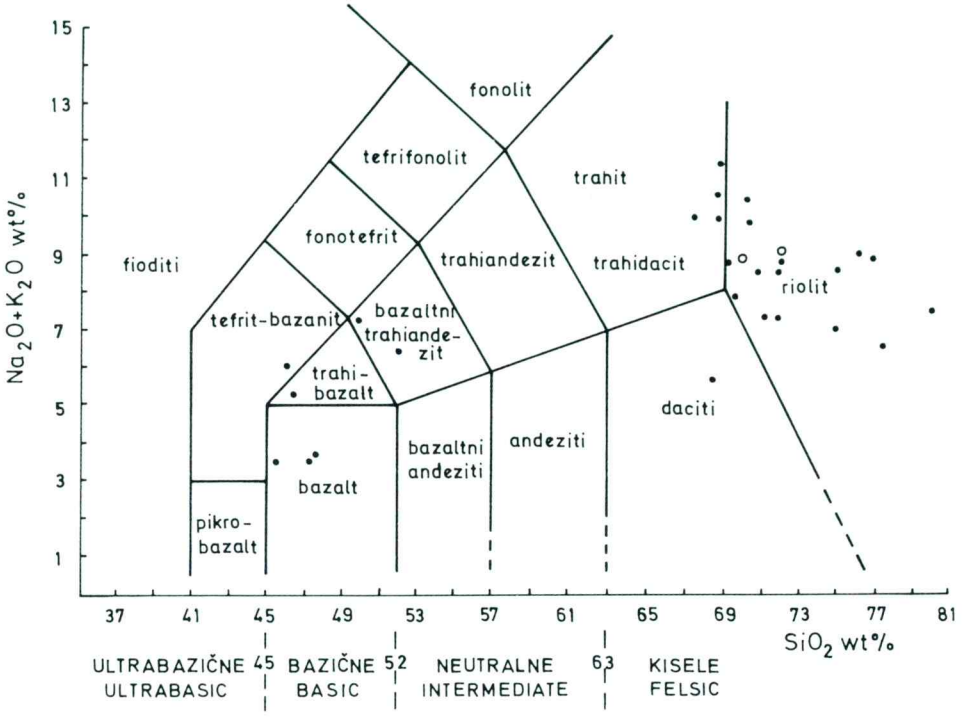
---

Objavljene analize (Majer & Tajder, 1982): *1, 2* ofitni bazalti; *3* do *10* metabazalti; *11* alkalijsko-feldspatski trahit; *12* do *19* varijeteti alkalijsko-feldspatskih riolita

Nove analize: *20* do *22* holokristalno porfirni alkalijsko-feldspatski rioliti; *23* do *25* isto, no s malo utrusaka; *26, 27* afirski alkalijsko-feldspatski rioliti; *28, 29* perlitsko-sferulitski alkalijsko-feldspatski rioliti; *30, 31* riolitne tufolave; *32* srednji sastav alkalijsko-feldspatskih riolita; *33* srednji sastav alkalijsko-feldspatskih granita

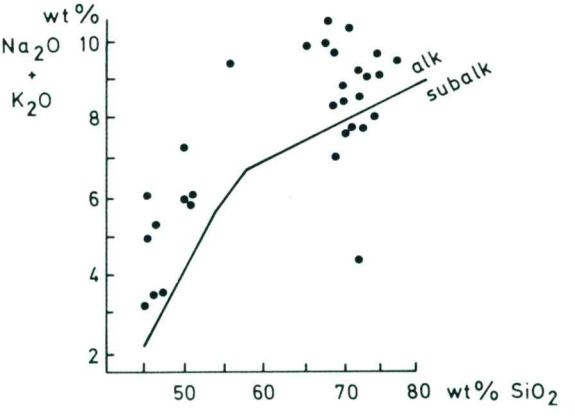
Published analyses (Majer & Tajder, 1982): *1, 2* ophitic basalts; *3* to *10* metabasalts; *11* alkali feldspar trachyte; *12* to *19* varieties of alkali feldspar rhyolites

New analyses: *20* to *22* holocrystalline porphyritic alkali feldspar rhyolites; *23* to *25* the same rocks but with a few phenocrysts; *26, 27* aphyric alkali feldspar rhyolites; *28, 29* perlitic and spherulitic alkali feldspar rhyolites; *30, 31* rhyolitic tuff-lavas; *32* average alkali feldspar rhyolite; *33* average alkali feldspar granite



Sl. 3. Dijagram SiO_2 : Na_2O+K_2O (Le Bas et al., 1986)

Fig. 3. The total alkali-silica diagram (Le Bas et al., 1986)

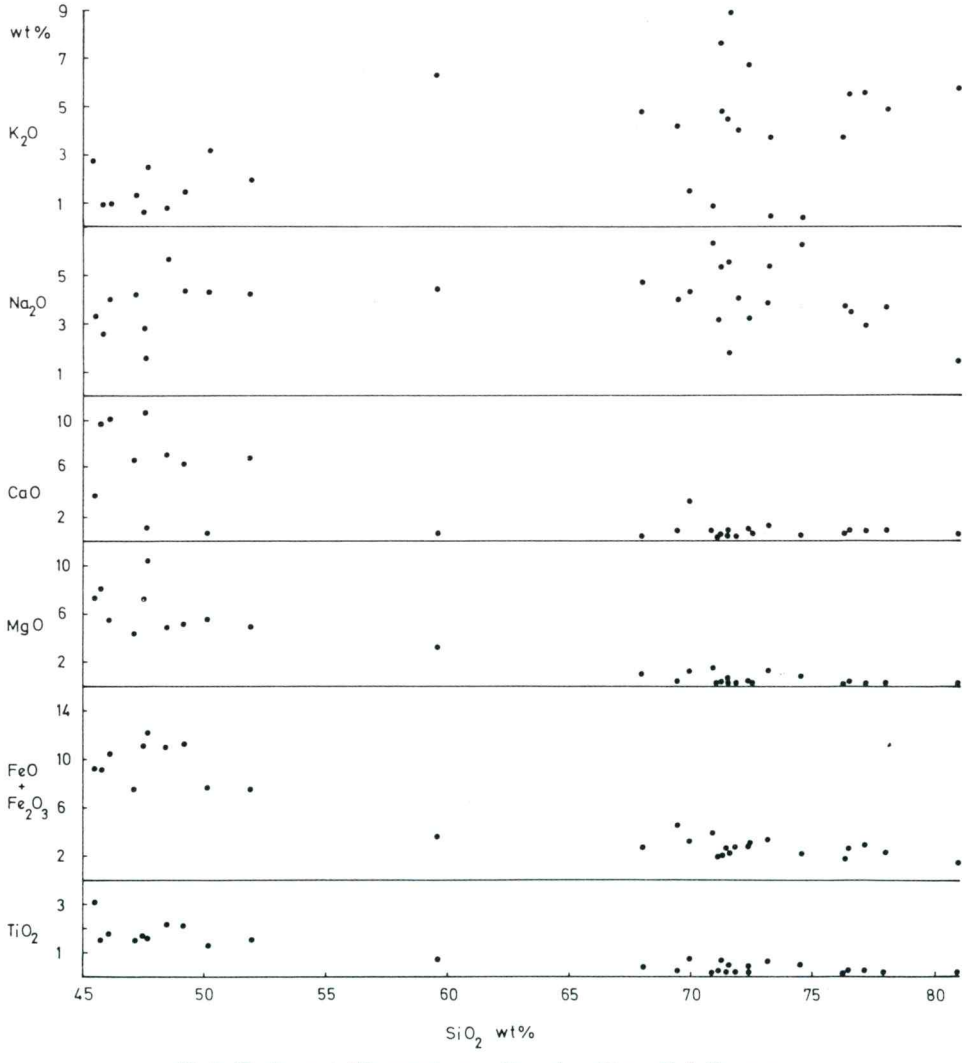


Sl. 4. Dijagram SiO_2 : Na_2O+K_2O (Miyashiro, 1974)

Fig. 4. The diagram SiO_2 versus Na_2O+K_2O (Miyashiro, 1974)

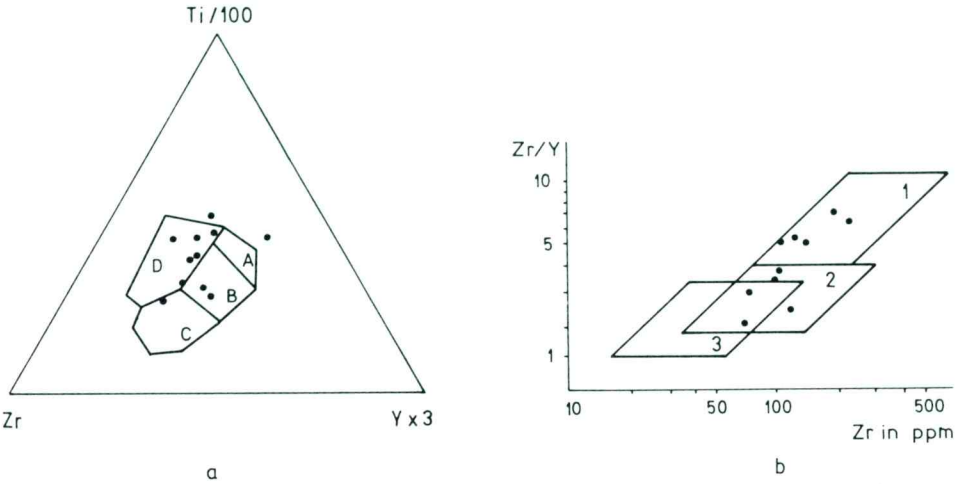
ipak najviše zato što ih nismo ni tražili u vulkanitima naših andezitnih asocijacija. Inače, u mnogim područjima u svijetu stijene andezitnih asocijacija subdukcionih područja, kao što je i ovo naše, sadrže povećane količine zlata i srebra. Tako, primjerice, u andezitima, a naročito riolitima u tercijarnim vulkanskim oblastima zapadnih dijelova SAD dolaze brojna i velika ležišta zlata i srebra različitih genetskih tipova. Ekonomski vrlo značajne količine zlata i srebra nalaze se u disiminiranim tipovima ležišta u vulkanskim stijenama, naročito u riolitima (Tooker, 1985).

U svakom slučaju da su ovi povišeni sadržaji Au i Ag u alkalijsko-feldspatskim riolitima Požeške gore veoma interesantni u ekonomskom pogledu jer ovo područje



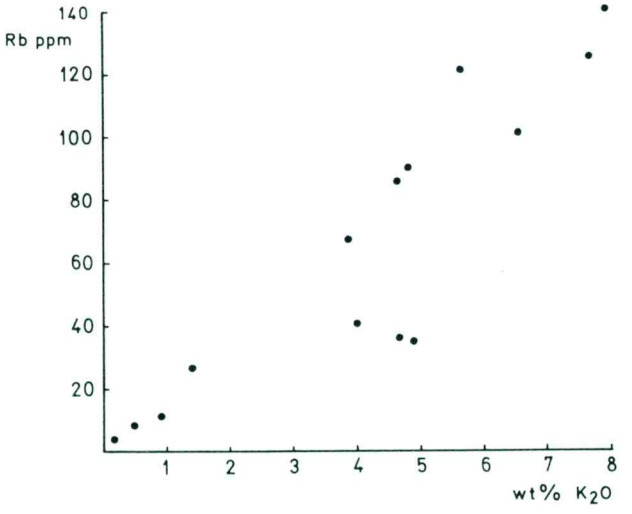
Sl. 5. Harkerovi dijagrami za vulkanske stijene Požeške gore

Fig. 5. Harker's diagrams for volcanic rocks from Požeška gora



Sl. 6. a) Trokomponentni dijagram Ti:Zr:Y (Pearce & Cann, 1973), b) dvokomponentni dijagram Zr:Zr/Y (Pearce & Norry, 1979)
A oceansko otočje; *B* abisalni toleiti; *C* bazalti otočnih lukova; *D* bazalti iz unutrašnjosti ploča

Fig. a) Three component diagram Ti:Zr:Y (Pearce & Cann, 1973), b) Two component diagram Zr:Zr/Y (Pearce & Norry, 1979)
A oceanic islands; *B* abyssal tholeiites; *C* island arc basalts; *D* within plate basalts



Sl. 7. Dijagram K_2O : Rb za alkalijsko-feldspatske riolite

Fig. 7. The diagram K_2O versus Rb for alkali feldspar rhyolites

Tabela 2. Sadržaji $\delta^{18}O$ i odnos $^{87}Sr/^{86}Sr$ u bazaltima, alkalijsko-feldspatskim riolitima i granitima

Table 2. $\delta^{18}O$ content and $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratio in basalts, alkali feldspar rhyolites and granites

Broj uzorka Sample No	Stijena Rock	$\delta^{18}O$	$^{87}Sr/^{86}Sr$
1	ofitni bazalt ophitic basalt	5.3	0.70570 ± 16
4	ofitni metabazalt ophitic metabasalt	7.3	
9	ofitni metabazalt ophitic metabasalt	6.3	0.70435 ± 5
14	alkalijsko-feldspatski riolit alkalni feldspar rhyolite	8.8	0.71768 ± 10
16	alkalijsko-feldspatski riolit alkali feldspar rhyolite	9.2	0.70800 ± 7
Srednja vrjednost 3 uzorka Average value of 3 samples	alkalijsko-feldspatski graniti alkali feldspar granites	9.0	0.70900 ± 11

Brojevi uzoraka isti kao u tabeli 1
The same numbers of samples as in Table 1

čine perspektivnim za detaljna i sistematska geokemijsko-metalogenetska istraživanja. No metalogenetska evaluacija tih podataka izlazi iz okvira ovog članka, to tim više što se radi o inicijalnim podacima koji su dobiveni na nedovoljno sistematski uzrokovanim primjercima.

Interesantna je korelacija u sadržaju mikroelemenata sa okolnim alkalijsko-feldspatskim granitima. Budući da nisu vršena određivanja na istim asocijacijama mikroelemenata, to je ta korelacija nepotpuna. Uzmemo li u obzir zajedničke određivane imobilne elemente, kao Zr i Y, pa Rb i Ti, onda vidimo gotovo identične sadržaje u granitima i riolitima što najbolje ilustriraju njihovi srednji sadržaji (analize 32 i 33, tabela 1). Posebno treba ukazati na povišen sadržaj Zr koji u prosjeku iznosi 418 ppm za alkalijsko-feldspatske granite i 469 ppm za alkalijsko-feldspatske riolite.

Ova izrazito pozitivna korelacija u sadržaju elemenata u tragovima između alkalijsko-feldspatskih riolita i granita Požeške gore sasvim je razumljiva ako imamo u vidu naprijed prodiskutiranu pozitivnu korelaciju u sadržaju glavnih komponenti. Ova geokemijska podudarnost prostorno udruženih riolita i granita svakako dokazuje njihovo zajedničko porijeklo iz iste primarne magme, odnosno iz istog magmatskog ognjišta.

Izotopno-geokemijski podaci. U najnovije vrijeme su izvršena izotopna određivanja kisika i $^{87}Sr/^{86}Sr$ na nekoliko uzoraka ofitnih bazalta, metabazalta i alkalijsko-feldspatskih riolita te prostorno asociranih alkalijsko-feldspatskih granita Požeške gore (P a m i ć et al., 1988) i dobiveni rezultati prikazani su u tabeli 2. Rb-Sr podaci za tri uzorka alkalijsko-feldspatskih granita i dva uzorka riolita definiraju idealno pravolinijsku izohronu koja daje izotopnu starost od 71,5 ± 2,8 milijuna godina što odgovara mastrihtu. Dakle, i graniti i rioliti leže na istoj Sr-izohroni što dokazuje

njihovo zajedničko porijeklo iz istog magmatskog ognjišta. Stroncijum inkorporiran u toj komagmatskoj alkalijsko-fledspatskoj riolit-granitnoj asocijaciji imao je primaran odnos $^{87}Sr/^{86}Sr$ jednak $0,7073 \pm 0,002$ što dokazuje da je primarna kisela taljevina nastala u kori. S druge strane, taj isti odnos je znatno niži u pratećim bazaltima što govori da su bazaltne taljevine nastale parcijalnim taljenjem stijena gornjeg plašta (Taylor & Sheppard, 1986).

Zajedničko porijeklo alkalijsko-feldspatskih granita i riolita iz istog magmatskog ognjišta dokumentiraju i ujednačeni izotopni sastavi kisika koji u prosjeku iznose 9. No vrlo su indikativne razlike u izotopnom sastavu kisika kod bazičnih vulkanita (tabela 2). Te su vrjednosti niže kod ofitnih bazalta (5,3) negoli kod izmijenjenih metabazalta (6,3 do 7,3). Prema novim eksperimentalnim podacima, ove razlike u izotopnom sastavu kisika ukazuju da su bazalti bili zahvaćeni postkonsolidacionim hidrotermalnim metamorfizmom oceanskog dna (Spooner et al., 1974, Coleman, 1977).

Diskusija

Naprijed prikazani analitički podaci pokazuju da se gornjokredna vulkanska asocijacija Požeške gore ističe kontrastnim sastavom, jer u njoj dolaze bazični vulkaniti-ofitni bazalti i metabazalti, s jedne strane, i kiseli alkalijsko-feldspatski rioliti, s druge strane. Gill (1979), u svojoj monografiji o orogenim andezitima, među stijenama andezitne asocijacije izdvaja tri grupe, odnosno subprovincije: (1) monotonu andezitnu, (2) izdiferenciranu bazalt-andezit-dacit-riolitnu, i (3) kontrastnu bazalt-andezitnu. Dakle, po njegovim shvaćanjima bazalt-riolitne asocijacije predstavljaju samo varijantu andezitnih asocijacija, mada u njima nema praktički andezita. Te bazalt-riolitne asocijacije često se susreću u zapadnim dijelovima SAD, gdje su detaljno studirane. Hamilton (1965) ih je prvi, zbog njihovog kontrastnog sastava, označio bimodalnim vulkanskim asocijacijama i taj termin su kasnije preuzeli brojni drugi autori (McKee, 1971; Lipman et al., 1972; Christiansen & Lipman, 1972; Suneson & Lucchitta, 1983). Prema podacima navedenih autora, bimodalne vulkanske asocijacije javljaju se u geotektonskoj jedinici »Basen and Range« koja se karakterizira, između ostalog, i vrlo plitkim položajem Mohorovičićevog diskontinuiteta, jednako kao što je slučaj i s južnim dijelovima Panonskog bazena (Roksandić, 1969) gdje je i locirana Požeška gora.

Postupno je taj termin našao široku primjenu i mnogo se koristi u petrološkoj i geološkoj literaturi. Danas se općenito smatra da su bimodalne vulkanske asocijacije izgrađene od promjenljive količine bazalta i riolita, dok intermedijarne stijene, ili dolaze uz njih izuzetno rijetko, ili ih češće uopće nema (Suneson & Lucchitta, 1983). Utvrđivanje bimodalnog karaktera gornjokrednog vulkanizma Požeške gore proširuje naša saznanja o stijenama andezitne asocijacije, jer takve alpinske bimodalne bazalt-riolitne asocijacije nisu bile dosad poznate u našim krajevima (Karamata, 1962).

Stijene bimodalne vulkanske asocijacije Požeške gore predstavljaju članove gornjekrednog vulkanogeno-sedimentnog kompleksa koji leži horizontalno-reversno (navlačno?) preko okolnih neogenih sedimenata (Šparica & Pamić, 1986). Slične gornjokredne vulkanogeno-sedimentne komplekse nalazimo odmah južno od Save u području sjeverne Bosne, u okviru prostrane zone gornjokredno-paleogenih flišnih kompleksa (Jelaska, 1978). Nije isključeno da gornjokredni vulkanogeno-sedi-

mentni kompleks Požeške gore predstavlja fragment koji je tektonski transportiran s juga iz spomenute zone gornjokredno-paleogenih fliševa.

U ovakvoj geodinamskoj interpretaciji treba naglasiti da se sedimenti gornjokredno-paleogenog fliša i prostorno udružene magmatske stijene mogu genetski, odnosno paleogeografski vezati za područje drevnog žlijeba, odnosno subdukcione zone čije relikte danas nalazimo u sjevernim Dinaridima, u zoni Prosara–Motajica–Cer–Bukulja (Pamić, 1977, 1987 i 1988 b). Relikte te subdukcione zone, odnosno drevnog magmatskog luka definiraju nam stijene alpinske granit-granodioritne i andezitne asocijacije.

Dakle, gornjokrednu bimodalnu vulkansku asocijaciju Požeške gore možemo genetski vezati za završne stadije subdukcionih procesa koji su se odigravali u području današnjih sjevernih Dinarida i nakon kojih su započeli ekstenzioni procesi koji su doveli do formiranja današnjeg Panonskog bazena (Royden et al., 1983). Vjerojatno su baš ovim ekstenzionim procesima tvorevine gornjokrednog vulkanogeno-sedimentnog kompleksa tektonski transportirane i dovedene u svoj današnji strukturni položaj.

Stijene bimodalne vulkanske asocijacije Požeške gore mogu se, ne samo po svojim geokemijsko-petrološkim karakteristikama, nego i po svom geotektonskom položaju i geodinamskoj evoluciji korelirati s odgovarajućim tvorevinama u zapadnim dijelovima SAD. Lipman (1980) je, sumirajući sve podatke za bimodalne vulkanske asocijacije tog područja, došao do zaključka da su one vezane za ekstenzione procese koji su se započeli odigravati u uvjetima marginalnih (»back-arc«) bazena kada su subdukcioni procesi dosegli kritičnu minimalnu vrjednost.

Postanak stijena bimodalne vulkanske asocijacije danas se objašnjava na različite načine: parcijalnim taljenjem, kristalizacijskom diferencijacijom i porijeklom iz različitih izvorišnih područja, npr. bazaltne taljevine iz gornjeg plašta, a riolitne iz kontinentalne kore (Suneson & Lucchitta, 1983). Prikazani analitički podaci za stijene bimodalne vulkanske asocijacije Požeške gore govore u prilog ove posljednje pretpostavke, tj. da bazalti potječu iz plaštnih taljevina, a rioliti iz kiselih taljevina nastalih parcijalnim taljenjem kore. Ovakvo mišljenje egzaktno dokumentiraju podaci o izotopnom sastavu Sr (tabela 2).

Prema tim podacima bi bazaltne taljevine vukle porijeklo iz stijena gornjeg plašta. Irving i Green (1976) su dokazali da se problem razmatranja porijekla bazaltnih taljevina može promatrati, ne samo na izotopno-geokemijskim podacima, već i na osnovi Mg-vrjednosti ($= 100\ Mg/Mg + Fe^{2+}$) koje iznose od 66 do 75 u bazaltnim taljevinama koje su u ravnoteži sa nedepletiranim plaštnim lercolitima. U našem slučaju su Mg-vrjednosti nešto niže i variraju u rasponu od 44 do 64 što ukazuje da bazaltne taljevine ne potječu od nedepletiranog lercolita nego od nekog drugog plaštnog materjala.

Riolitne taljevine su morale nastati parcijalnim taljenjem stijena kontinentalne kore što dokazuje primarni odnos $^{87}Sr/^{86}Sr = 0{,}7073$. Taj je odnos dobiven iz idealne Sr-izohrone koja je dobivena izotopnim mjerenjima na alkalijsko-feldspatskim riolitima i okolnim granitima što dokazuje njihovo zajedničko porijeklo iz istog magmatskog ognjišta. Prema nekim mišljenjima (Suneson & Lucchitta, 1983), parcijalno taljenje koje je dalo krustalnu kiselu taljevinu bilo je pospješeno izdizanjem i dovođenjem u viši nivo visokotemperiranih bazaltnih taljevina.

Ta činjenica o zajedničkom porijeklu alpinskih alkalijsko-feldspatskih riolita i okolnih granita otvara dodatne petrološke probleme. Naime, ti graniti, prema novijim genetskim klasifikacijama, pripadaju familiji A-granita (Collins et al.,

1983; Pamić, 1988a) čiji genetski odnos prema I (plaštnim) i S (krustalnim) granitima danas još nije potpuno razjašnjen. S druge strane, stijene alpinske granit-granodioritne asocijacije u okolnoj zoni Prosara–Motajica–Cer–Bukulja imaju sve karakteristike S-granita, tj. potječu od magmi koje su nastale parcijalnim taljenjem krustalnog materjala. Budući da alkalijsko-feldspatski rioliti i graniti Požeške gore predstavljaju komagmatske alpinske tvorevine, što dokazuju izotopno-geokemijski podaci, onda se na našem primjeru može zaključiti da A-graniti imaju krustalno porijeklo, odnosno da se mogu derivirati kao diferencijati iz S-taljevina. Taj naš primjer, kao i slični primjeri u svijetu, gdje se uz granite javljaju i odgovarajući efuzivni ekvivalenti (Wyborn et al., 1981), pokazuju da i kisele vulkanske stijene mogu nastati iz kiselih taljevina različitog porijekla, u konkretnom slučaju iz A-granitoidnih taljevina.

Some geochemical features of the Upper Cretaceous bimodal volcanic association from the Požeška Gora Mt. in Slavonija (northern Croatia, Yugoslavia)

The Požeška Gora Mt. (PG Mt.), which is located in the southern part of the Pannonian basin not far from the river Sava, consists mostly of Neogene sediments with a volcanic mass in its central parts. The volcanic mass (Figure 1) covers a surface area of about 30 km^2 and it represents a part of the Upper Cretaceous volcano-sedimentary complex which is thrust onto Neogene sediments (Šparica & Pamić, 1983). The volcanic body consists of basic and acid extrusive rocks which are in many places interlayered with pyroclastic rocks and Upper Cretaceous, mostly Senonian globotruncana limestones and shales (Pamić & Šparica, 1983). The volcanics are cut by small bodies of comagmatic alkali feldspar granites (Pamić, 1988a). Most recent isotope determinations (Pamić et al., 1988) on these comagmatic rocks gave a Sr-isochron age of 71.5 Ma which corresponds to the Maestrichtian. Accordingly, geologic and radiometric data are concordant and they precisely define the Upper Cretaceous age of the magmatic activity.

The presented geological map of the PG Mt. (Figure 1) demonstrates that basalts and rhyolites occur as large mappable units. However, small-scale interlayering of basalts, rhyolites and sediments can be seen on some exposures (Firuge 2).

Petrology and Geochemistry

Basic volcanic rocks are represented mostly by ophitic metabasalts with relict ophitic basalts which are associated nearly with the same quantity of alkali feldspar rhyolites. Major and trace element data for these volcanic rocks are presented in Table 1.

Major element data. The first 10 analyses in Table 1 demonstrate the chemical composition of basic volcanic rocks. Ophitic metabasalts have a higher content of alkali elements than unaltered ophitic basalts; the former have increased Na_2O:K_2O ratio, but some of them contain 2.7 percent of K_2O.

Analyses 12 to 31 in Table 1 illustrate the chemical composition of acid volcanic rocks which fall on the SiO_2 : Na_2O+K_2O diagram (Le Bas et al., 1986) mostly in the field of rhyolites (Figure 3). They represent high-silica rhyolites (Hildereth, 1981),

because their SiO_2 content averages 74 percent; according to Miyashiro's (1974) diagram they belong to alkali volcanic rock series (Figure 4).

Alkali feldspar rhyolites of the PG Mt. are very similar in chemical composition to the surrounding alkali feldspar granites. Both groups of rocks have the same total of Na_2+K_2O and nearly the same SiO_2 content (analyses 32 and 33, table 1).

Consequently, the Upper Cretaceous volcanic association of the PG Mt. has a contrast composition what is demonstrated by the presented Harker's diagrams (Figure 5). They also demonstrate that intermediate volcanics with the range of SiO_2 content from 52 to 68 percent are practicaly absent.

Trace element data are also presented in Table 1. Ophitic metabasalts and basalts show a normal variation in trace element contents which is characteristic of basic igneous rocks. Some discrimination diagrams (Pearce & Cann, 1973; Pearce & Norry, 1979) based on immobile trace elements were used for the consideration of geotectonic settings. On the Ti:Zr:Y and Zr : Zr/Y diagrams (Figure 6a and b) points of basalts and metabasalts are scattered in the fields of within plate and oceanic island basalts.

The trace element distribution in alkali feldspar rhyolites is quite different. Some of the trace elements display great variation, as for example, Rb between 11 to 150 ppm, depending mostly on the K_2O variation (Figure 7). It is interesting to note that the rhyolites contain increased quantities of gold (6 to 22 ppm) and silver (13 to 20 ppm), what makes the area of PG Mt. promising for a future geochemical-metallogenical exploration.

There is a positive correlation in some immobile trace element contents, as for example Zr, Y, Rb and Ti between alkali feldspar rhyolites and surrounding alkali feldspar granites (analyses 32 and 33, Table 1). It must be emphasized that both the rhyolites and granites contain increased quantities of Zr averaging 418 and 469 ppm. This positive correlation in trace element contents indicates that rhyolites and granites are comagmatic, i.e. they originated from the same magma chamber.

Isotope-geochemical data. Most recently the determination of oxygen and strontium isotope composition on samples of basalts, metabasalts, alkali feldspar rhyolites and granites from the PG Mt. has been carried out (Pamić et al., 1988) and the data obtained are presented in Table 2. Two samples of rhyolites and three samples of granites define a precise Sr-isochron which gave the age of 71.5 ± 2.8 Ma and the primary $^{87}Sr^{86}Sr=0.7073\pm0.002$. This is evidence that both rhyolites and granites came from the same granite melt which originated by partial melting in the crust. The obtained $^{87}Sr^{86}Sr$ ratio for the associated basalts is lower indicating their upper mantle origin.

The common origin both of granites and rhyolites from the same magma source is also supported by the nearly same oxygen isotope composition averaging 9. But it is interesting to point out the differences in oxygen isotope composition of basic rocks. Its lower values in fresh ophitic basalts (5.3) and the higher ones in the altered metabasalts (6.3 to 7.3) indicate that the basalts were affected by postmagmatic ocean floor hydrothermal metamorphism (Spooner et al, 1974; Coleman, 1977).

Discussion

The Upper Cretaceous volcanic association of the PG Mt. consists of basalts and rhyolites, and it is thus characterized by contrast composition. According to Gill (1979) it can be classified as a subgroup of the andesite association, and according to

Hamilton (1965) it belongs to the bimodal volcanic association. Rocks of this association are very common in the Western United States where they have been studied in detail by numerous authors (McKee, 1971; Lipman et al., 1972; Christiansen & Lipman, 1972; Sunneson & Lucchitta, 1983, and others). In this correlation it is interesting to note that the areas both of the Western United States and Pannonian basin are characterized by thin crust, i.e. very high position of the Mohorovičić discontinuity.

Rocks of the bimodal volcanic association of PG Mt. are members of the Upper Cretaceous volcano-sedimentary complex. The same and similar complexes are widespread in the neighbouring Northern Bosnia where they occur within the Upper Cretaceous-Paleogene Flysch zone (Jelaska, 1978). It is possible, indeed probable, that the volcano-sedimentary complex of the PG Mt. represents a fragment which was tectonically transported from the south, i.e. from the Upper Cretaceous-Paleogene Flysch zone.

Sediments of the Upper Cretaceous-Paleogene Flysch zone, including the associated igneous rocks of Alpine granite-granodiorite and andesite associations, can be genetically related to the ancient trench, i.e. the subduction zone whose relics can be traced in the adjacent northern Dinarides along the Prosara-Motajica-Prosara-Bukulja zone (Pamić, 1977, 1987 and 1988b). The Upper Cretaceous bimodal volcanic association of the PG Mt. can be thus genetically related to final stages of subduction processes which took place in the area of the present northern Dinarides. They were followed by subsequent extension processes which gave rise to the formation of the Pannonian basin (Royden et al., 1983). It is quite possible that the volcanic-sedimentary complex was tectonically transported from the south by the extensional processes and thus incorporated in the present structure of the PG Mt.

Rocks of the bimodal volcanic association of the PG Mt. can be correlated in geochemical and petrological features with the bimodal volcanic associations of the Western United States, probably as a result of identical deep crustal structure and the same geodynamic evolution. Lipman (1980) concluded that the bimodal volcanic associations of the Western United States originated in a back-arc environment when subduction processes reached a critically diminished size.

Genesis of bimodal volcanic associations has been recently explained by partial melting, fractional crystallization, and by the different source origin, as for example, basalt melts from the upper mantle and rhyolite melts from the crust (Suneson & Lucchitta, 1983). Analytical data for the bimodal volcanic association of the PG Mt. can be taken as evidence for the last hypothesis, that the basalt melts came from the upper mantle and the rhyolite melts from the crust. Mg-values for our basalts vary in the range between 44 to 64 indicating that basalt melts did not come from undepleted lherzolite, but from an other upper mantle material (Irving & Green, 1976).

The obtained $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratio indicates that acid melts which produced both alkali feldspar rhyolites and granites can be derived from the crust. The partial melting of the crust material and thus the formation of acid magmas could be brought about by high-temperature basalt magma itself.

The common origin of alkali feldspar rhyolites and granites from the same source magma makes possible a new approach in the genetical consideration of granites of the adjoining area of the northern Dinarides and Pannonian basin. The data so far available indicate that granitoids from the Prosara-Motajica-Cer-Bukulja zone belong to S-family (Pamić, 1988b), whereas alkali feldspar granites from the PG Mt.

belong to A-family. Consequently, we have penecontemporaneous predominant S-granites and subordinate A-granites within the same Alpine zone related to subduction, and both groups are of crustal origin. Oxygen composition of the A-granites averaging 9 suggests that the partially melted crustal material might have been represented by previously existed I-granites.

Wyborn et al., (1981) emphasized that acid extrusive rocks associated with S-granites have common origin from the same S-granitoid melts. In our particular case it can be concluded that alkali feldspar rhyolites from the PG Mt. came from A-granite melts.

Literatura

Barić, Lj. & Tajder, M. 1942, Petrografska proučavanja Požeške gore. Vje. Hrv. geol. zav. i Hrv. geol. muzeja, *1*, 1–5, Zagreb.

Coleman, R. G. 1977, Ophiolites. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.

Collins, W. J., Beams, S. D., White, A. J. R. & Chappell, B. W. 1983, Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. Contrib. Mineral. Petrol., *80*, 189–200, Stuttgart.

Christiansen, R. L. & Lipman, P. W. 1972, Cenozoic volcanism and plate-tectonic evolution of the Western United States. II. Late Cenozoic. Phil. Trans. R. Soc. London, A, *271*, 249–284, London.

Gill, J. 1979, Orogenic andesites and plate tectonics. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.

Hamilton, W. 1965, Geology and petrogenesis of the Island Park Caldera of rhyolite and basalt, Eastern Idaho. Prof. Pap. US Geol. Surv., *504*, 1–37, Washington.

Hildereth, W. 1981, Gradients in silicic magma chambers: Implications for lithospheric magmatism. Jour. Geophys. Res., *86* (11), 11153–11192, Washington.

Irving, A. J. & Green, D. H. 1976, Geochemistry and petrogenesis of the Newer basalts of Victoria and South Australia. Jour. Geol. Soc. Australia, *23* (1), 45–66, Canberra.

Jelaska, V. 1978, Stratigrafski i sedimentološki odnosi senonsko-paleogenog fliša šireg područja Trebovca (sjeverna Bosna). Geol. vjes., *30* (1), 95–118, Zagreb.

Karamata, S. 1962, Tercijarni magmatizam Dinarida, njegove faze i njegove glavne petrohemijske karakteristike. Ref. **V.** Sav. geol. Jugosl., *2*, 137–148, Beograd.

Koch, F. 1916, Beiträge zur Kenntnis der Verhältnisse der Požeška gora. Jahresber. Ungar. geol. Reichsanst. für 1916, 465-477, Budapest.

Koch, F. 1919, Grundlinien der Geologie von West-Slavonien. Glas. Hrv. prir. druš., *31* (1–4), 217–237, Zagreb.

Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. & Zanettin, B. 1986, A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. Jour. Petrol., *27* (3), 745–750, Oxford.

Lipman, P. W. 1980, Cenozoic volcanism in the Western United States: Implications for continental tectonics. Reprint from "Studies in geophysics: continental tectonics", USA Acad. Scie., 161–174, Washington.

Lipman, P. W., Prostka, H. J. & Christiansen, R. L. 1972, Cenozoic volcanism and plate-tectonic evolution of the Western United States. I. Early and Middle Eocene. Phil. Trans. R. Soc. London, A, 271, 217–248, London.

Majer, V. & Tajder, M. 1982, Osnovne karakteristike spilitkeratofirskog magmatizma Slavonije. Acta geol. JAZU, *12*, 1–22, Zagreb.

McKee, E. 1971, Fish Creek Mountains tuff and volcanic center, Lander County, Nevada. Prof. Pap. US Geol. Surv., *681*, 1–17, Washington.

Miyashiro, A. 1974, Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. Amer. Jour. Scie., *274*, 321–355, Chicago.

Pamić, J. 1977, Alpski magmatsko-metamorfni procesi i njihovi produkti kao indikatori geološke evolucije terena sjeverne Bosne. Geol. glas., *22*, 257–292, Sarajevo.

Pamić, J. 1987, Kredno-tercijarne granitne i metamorfne stijene u dodirnom području sjevernih Dinarida i Panonskog strukturnog kompleksa. Geologija, *23/29* (1985/86) 219-237, Ljubljana.

Pamić, J. 1988a, Mladoalpinski alkalijsko-feldspatski graniti (aljaskiti) Požeške gore u Slavoniji. Geologija *30*, 183–205, Ljubljana.

Pamić, J. 1988b, Hercynian and Alpine granitic-metamorphic complexes of the adjoining area of the Dinarides and Pannonian basin as related to geodynamics. Geol. zbor. – Geol. Carp., *40* (3), 259–280, Bratislava.

Pamić, J. & Šparica, M. 1983, Starost vulkanita Požeške gore. Rad JAZU, *404* (19), 183–198, Zagreb.

Pamić, J., Lanphere, M. & McKee, E. 1988, Radiometric ages of metamorphic and associated plutonic rocks of the Slavonian Mountains in the southern part of the Pannonian basin, Yugoslavia. Rad JAZU, *18* 13–39, Zagreb.

Pearce, J. A. & Cann, J. R. 1973, Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. Earth and Plan. Scie. Letters, *19*, 290–300, Amsterdam.

Pearce, J. A. & Norry, M. J. 1979, Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. Contrib. Mineral. Petrol., *69*, 33–47, Stuttgart.

Roksandić, M. 1969, O granici između Dinarida i Panonske venačne mase. Zapis. Srp. geol. druš. za 1964–1967. godinu, 495–501, Beograd.

Royden, L., Horvath, F. & Rumpler, J. 1983, Evolution of the Pannonian basin. I. Tectonics. Tectonics, 2 (1), 63–90, Washington.

Spooner, E. T. C., Beckinsale, R. D., Fyfe, W. S. & Smewing, J. D. 1974, O^{18} enriched ophiolitic metabasic rocks from E. Liguria (Italy), Pindos (Greece), and Troodos (Cyprus). Contrib. Mineral. Petrol., *47*, 41–62, Stuttgart.

Streckeisen, A. 1967, Classification and nomenclature of igneous rocks. Neues Jahrb. Miner. Abh., *107* (2–3), 144–240, Stuttgart.

Streckeisen, A. 1973, Plutonic rocks: classification and nomenclature recommended by the IUGS. Geotimes, 26–30, Washington.

Stur, D. 1861, Die neogen-tertiäre Ablagerungen von West-Slavonien. Jb. Geol. Reichsanst., *12*, 285–299, Wien.

Suneson, N. H. & Lucchitta, I. 1983, Origin of bimodal volcanism, southern Basin and Range province, west-central Arizona. Geol. Soc. Amer. Bull., *94*, 1005–1019, Washington.

Šparica, M., Juriša, M., Crnko, J., Šimunić, A., Jovanović, Č. & Živanović, D. 1980, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, tumač za list Nova Kapela. Sav. geol. zavod, Beograd.

Šparica, M. & Pamić, J. 1986, Prilog poznavanju tektonike Požeške gore u Slavoniji. Rad JAZU, *424* (21), 85–96, Zagreb.

Tajder, M. 1944, Albitski riolit Požeške gore. Vje. Hrv. geol. zav. i Hrv. geol. muzeja, *2/3*, 74–88, Zagreb.

Tajder, M. 1947, Albitski dolerit iz Nakop-potoka u Požeškoj gori. Geol. vjes., *1*, 182–189, Zagreb.

Tajder, M. 1955, Albitski riolit Blackog u Požeškoj gori. Geol. vjes., *8/9*, 191–196, Zagreb.

Tajder, M. 1959, Petrografska proučavanja Požeške gore. Ljetopis JAZU, *63*, 383–387, Zagreb.

Taylor, H. P. & Sheppard, S. M. F. 1986, Igneous rocks:processes of isotopic fractionation and isotope systematics. U: Valley, J. W., Taylor, H. P. and O'Neil, J. R. (Eds.) "Stable Isotopes", Miner. Soc. Amer., *16*, 227–272, Washington.

Tooker, E. W. 1985, Discussion of the dissiminated-gold-ore-occurrence model. US Geol. Surv. Bull., *1646*, 107–150, Washington.

Tućan, F. 1919, Sitan prinos poznavanju kristaliničnog kamenja Požeške gore. Glas. Hrv. prir. društva, *31*, 98–105, Zagreb.

Wyborn, D., Chappell, B. W. & Johnston, R. M. 1981, Three S-type volcanic suites from the Lachlan Fold Belt, Southeast Australia. Jour. Geophys. Res., *86* (11), 10335–10348, Washington.