

UDK 552.43:550.4(497:13)=862

## **Petrološko-geokemijske karakteristike ortogrinšista Zagrebačke gore u Hrvatskoj**

### **Petrology and geochemistry of orthogreenschists from Mt. Zagrebačka Gora in Croatia**

*Jakob Pamić*

Geološki zavod, Sachsova 2, 41000 Zagreb

*Jasna Injuk*

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

#### **Sažetak**

U radu se obrađuju ortogrinšisti sensu lato Zagrebačke gore (ili Medvednice) među kojima su odvojeni: metadijabazi, zeleni škrljajci s. str. s podređenim epidotskim, stilpnomelanskim i sericitskim škrljajcima te amfibolitski škrljajci. Većina tih stijena ima jasan bazičan, a po normativnom sastavu i nekim geokemijskim osobinama i jasan toleitski karakter.

Na osnovi sadržaja i rasporeda imobilnih mikroelemenata na kraju se diskutira o protolitu zelenih škrljavaca i o geotektonskim uvjetima formiranja.

#### **Abstract**

The paper deals with greenschists sensu lato of Mt. Zagrebačka Gora (or Medvednica) which can be grouped into: metadiabases, greenschists s. str. with subordinate stilpnomelan epidote and sericite schists, and amphibolites. Most of the rocks are basic, and based on major and trace element contents, and CIPW norms they display a distinct tholeiitic affinity.

On the basis of immobile trace elements it is presented a discussion on possible protoliths of greenschists and their geotectonic setting of formation.

#### **Uvod**

Zeleni škrljajci Zagrebačke gore (Medvednice) poznati su u geološko-petrološkoj literaturi već više od stotinu godina. Mada se spominju u brojnim radovima, a u nekima su čak detaljno i petrografski opisani, dosad nisu u dovoljnoj mjeri geokemijski definirani.

U toku 1984. i 1985. godine prvonavedeni autor je radio u Zagrebačkoj gori i pri tome sistematski sakupio uzorke na nekoliko profila. Ti su uzorci naknadno

obrađeni mikroskopski i na osnovi tih podataka izvršen je odabir reprezentativnih uzoraka koji su detaljnije geokemijski izučavani. Cilj ovog rada je da se dadu osnovne geokemijske karakteristike ortogrinšistnih stijena središnjih dijelova Zagrebačke gore. One imaju jasan toleitni karakter, kao i većina zelenih škrljavaca prekambrijskih grinšistnih pojaseva od kojih se, međutim, jasno razlikuju u sadržaju i raspodjeli nekih imobilnih mikroelemenata.

### Kratak pregled dosadašnjih literaturnih podataka

O geologiji Zagrebačke gore objavljen je veliki broj radova od kojih ćemo spomeniti samo one koji su od značaja za zelene škrljavce.

Petrografski podaci o zelenim škrljavcima započinju se prikupljati još sredinom prošlog stoljeća. Vukotinić (1873) navodi da je veći dio Zagrebačke gore izgrađen od diorita koji prelaze u zelene škrljavce. Foetterle (1861/62) smatra da je glavna masa planine izgrađena od kristalastih škrljavaca, diorita, dioritnih škrljavaca te kristaliničnih vapnenaca. Pilar (1881) je iznio mišljenje da je zapadni dio Medvednice izgrađen pretežno od škrljavaca s kojima se javljaju i eruptivne stijene, pretežno dioriti, podređeno i dijabazi.

Sistematska geološka istraživanja započeo je Gorjanović-Kramberger (1890, 1907, 1908 i dr.) koji je uradio i geološku kartu Zagrebačke gore u mjerilu 1 : 75.000. Na osnovi mikroskopskih određivanja Koča navodi prisustvo melafira, dijabazporfirita, olivinskih dijabaza i gabra te različitih škrljavaca: filita, tinjčevih škrljavaca i zelenih škrljavaca. Iz spomenutih Kočohvih petrografskih odredbi proizlazi da su zeleni škrljavci jako raznovrsni, kako u strukturno-teksturnim karakteristikama, tako i u mineralnom sastavu. Gorjanović-Kramberger odvaja zelene škrljavce glavnog trupa, zajedno s »bljesnicima« i filitima kao prekambrijske tvorevine, od okolnih brusilovaca i vapnenaca koje je uvrstio u karbon, no ta podjela je bez adekvatne dokumentacije. U zapadnim dijelovima Zagrebačke gore postavio je granicu »orijentalnog kopna« i okolnih alpskih tvorevina.

Kišpatić (1895. i 1918) daje petrografski prikaz zelenih škrljavaca Zagrebačke gore. Njihovu mineralnu paragenezu sačinjavaju: albit, hornblenda, klorit, epidot i kalcit te titanit, magnetit, rjeđe biotit i kvarc, dok je piroksen našao samo u jednom izbrusku. On daje i četiri kemijske analize zelenih škrljavaca, a u zasebnom poglavlju opisuje filite u kojima je našao granat i disten.

Miholić (1957) je odredio izotopnu starost dva uzorka zelenih škrljavaca sa Zagrebačke gore, i to U/Pb metodom; dobio je vrijednosti od 750 i 790 milijuna godina što odgovara prekambriju, odnosno gornjem proterozoiku.

Marić (1959) je među zelenim škrljavcima Medvednice izdvojio stijene masivnog i škrljavog habitusa, inače identičnog mineralnog sastava. Utvrđuje istu mineralnu paragenezu kao i Kišpatić, uz neke manje razlike: plagioklas je po njemu zastupljen andezinom, a ne albitom, dok je amfibol uralit, a ne hornblenda. On zelene škrljavce uvrštava u aktinolit-klorit-epidotski subfacijes i smatra da su oni nastali metamorfozom od gabro-dijabaza u »ranom alpskom paroksizmu«.

Crnković (1963) smatra da zeleni škrljavci Medvednice predstavljaju jedinstvenu stratigrafsku cjelinu i njih veže za određene sedimentacijsko-magmatske procese unutar staropaleozojske (?) geosinklinale.

Šikić et al., (1979) iznose novo mišljenje da su sve metamorfne stijene Zagrebačke gore, uključujući i zelene škriljavce glavnog trupa, devonsko-karbonske starosti. Na osnovi petrološke obrade Raffaellija, metamorfne stijene su podijelili po Jungu i Roquesu na zone  $x$  i  $y_2$ . U metamorfnim zonama  $y_2$  izdvajaju slijed gabro-dioritnih ortometamorfita, zatim slijedove aluminijjskih, kvarc-feldspatskih, karbonatnih, željezom obogaćenih i kalcijsko-feromagnezijskih parametamorfita od kojih prva tri dolaze i u zoni  $x$ . Interesantno je istaći da je Raffaelli u željezom obogaćen slijedu odredio po prvi puta na Medvednici kloritoidne škriljavce. Devonsko-karbonsku starost tih stijena temelje na odredbama konodonti koje je obavio Đurđanović (1969). No, treba objektivno istaći da je Đurđanović odredio devon-karbonske konodonte samo u kristalastim vapnencima. U najnovije vrijeme je dokazano na osnovi odredbi graptolita da dio metamorfnog kompleksa Zagrebačke gore pripada donjem siluru (Srećak et Mihajlović-Pavlović, 1983).

Nedavno su Vragović i Majer (1980 i 1980 a) detaljno opisali već spomenute kloritoidne škriljavce s Puntjarke na Medvednici koje im je ustupio Crnković; izgrađeni su od »bijelog tinjca«, kvarca, malo klorita, te pločasto-prutičastog kloritoida.

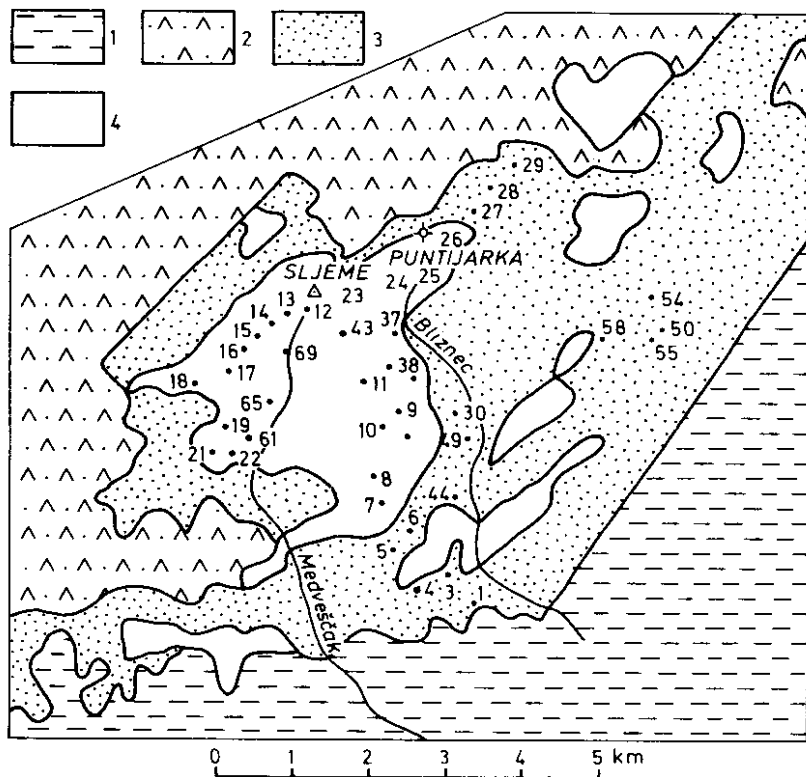
### Osnovni petrografski podaci

Materijal za petrološku i geokemijsku obradu sakupljen je u središnjim i zapadnim dijelovima Medvednice u kojima izrazito prevladavaju metamorfne stijene, uključujući zelene škriljavce (sl. 1). Snimljen je profil i obavljeno sistematsko uzorkovanje u dolini potoka Bliznec u čijim nizvodnim dijelovima dolaze i filiti s mramorima (točke 1—4 i 44—49), a u uzvodnim — zeleni škriljavci (točke 30—43), te istočno od njega (50—58). Zeleni škriljavci su uzorkovani i na lijepo otvorenim izdancima u zasjecima asfaltne ceste južno od Sljemena (točke 5—13) te ispod glavnog bila sve do Kraljičinog zdenca (uzorci 13—21) te odatle uzvodno u gornjim tokovima Medveščaka (uzorci 61—69).

U terenskom je radu sakupljeno na navedenim profilima ukupno 125 uzoraka raznovrsnih metamorfnih stijena od čega nešto više od 2/3 pripada zelenim škriljancima. Daleko najveći broj od njih otpada na zelene škriljavce »glavnog trupa« za koje se od ranije smatra da su ortometamorfnog porijekla. Parametamorfnih zelenih škriljavci koji alterniraju s filitima u rubnim dijelovima Medvednice nisu obuhvaćeni ovim radom.

Kao što je već naglasio Koch, među zelenim stijenama Medvednice dolaze vrlo raznovrsne stijene i, zapravo, veliko je pitanje da li je i petrološki ispravno da se sve one označavaju zelenim škriljancima. Budući da su one i dosad tako označavane, mi ćemo u ovom radu, da bismo izbjegli konfuziju, sve zelene stijene glavnog trupa Medvednice tretirati kao zelene škriljavce sensu lato.

I pored petrografske raznovrsnosti, mineralna parageneza zelenih škriljavaca Zagrebačke gore dosta je ujednačena. U njoj dolaze, kako su to već utvrdili Kišpatić (1895) i Marić (1959), slijedeći minerali: plagioklas, amfibol, klorit, epidot, odnosno klinocozit, sericit, biotit, kvarc i kalcit kao bitni sastojci, dok su među akcesornim utvrđeni: titanit, magnetit, apatit, rutil i cirkon. Od navedenih minerala kroz ovaj rad su detaljnije određivani samo plagioklasi; teodolitno-mikroskopskom metodom utvrđeno je da sastav plagioklasa



Sl. 1. Shematizirana geološka karta obradivanog dijela Zagrebačke gore (Šikić et al., 1979) s mjestima uzorkovanja

Fig. 1. Schematized geologic map of the investigated area of Zagrebačka Gora with sampling locations — Šikić et al., 1979

1 neogeno-kvartarni sedimenti — Neogene-Quaternary sediments, 2 kredno-paleogene sedimentne i magmatske stijene — Cretaceous-Paleogene sedimentary and igneous rocks, 3 pretežno filiti i mramori — mostly phyllites and marbles, 4 zeleni škriljanci — greenschists

varira od 3 do 16 % an (mjereno ukupno 18 zrna iz pet različitih uzoraka) što je usaglašeno i s rentgenoskopskim podacima. Uz njih su sasvim pouzdano određeni K-glinenci s ortoklasnom optikom, kao i mineral stilpnomelan, što je provjereno i rentgenoskopskom metodom (Rentgenska ispitivanja obavio je D. Sloverac, na čemu se mnogo zahvaljujemo).

Navedeni bitni minerali kombiniraju se na različite načine i u različitim modalnim odnosima, pa onda, u zavisnosti od toga i razlike u strukturno-teksturnim osobinama, među zelenim škriljancima Medvednice može se izdvojiti nekoliko grupa stijena.

1. **Metadijabazi** se dosta često susreću i na njih otpada oko 20 % od svih obradivanih zelenih stijena. Za njih je karakteristično da imaju ofitsku strukturu, rijetko i dijabazno-zrnastu, s tim da ponekad pokazuju znakove slabe metamorfne rekristalizacije. Mogu biti sitnozrni (veličina zrna do 0,5 mm), srednjozrni (veličina zrna oko 1 mm) i krupnozrni (veličina zrna 2 mm, pa

i više), tako da ovi posljednji u stvari, prelaze već u ofitske gabre. Rijetko se nailazi i na porfirno-ofitske varijetete; utrusci veličine do 3 mm uronjeni su u sitnozrno-ofitsku masu. Tekstura je pretežno masivna, nekad i slabo do umjereno škrljjava, pri čemu je uvijek jasno sačuvana ofitska struktura.

U mineralnom sastavu metadijabaza ističe se idiomorfni prizmatski plagioklas koji, kako je prije navedeno, odgovara albitu do kiselom oligoklasu. Plagioklasi su rijetko kada potpuno sviježi; obično se u njima nalaze manje do umjerene količine sekundarnih uklopaka među kojima se ističu sericit i klorit.

U intersticijama između plagioklasa dolaze feromagnezijski minerali, u pravilu alotriomorfno do hipidiomorfno razvijeni. Među njima je najčešći amfibol, koji je predstavljen zelenom hornblendom, rjeđe vlaknastim aktinolitom. Čest je i zelenkasti klorit koji se nekad jasno razvija po amfibolu, dok je epidot, odnosno klinocoizit podređeniji. Rijetko se u intersticijama nađe na manje količine kvarca.

2. **Zeleni škrljavci s. str.** su najčešće stijene i na njih otpada oko 50 % od svih određivanih zelenih stijena. Za ove stijene je karakteristično da im u sastavu preteže obično zelenkasti, željezom obogaćeni klorit, uz koji još dolaze kao bitni sastojci: albit do kiseli oligoklas, epidot, odnosno klinocoizit, zatim amfibol, sericit i kvarc.

Strukturno-teksturane karakteristike zelenih škrljavaca s. str. dosta su raznovrsne. Oni imaju granoblastične, lepidogranoblastične i porfiroblastične strukture, a s obzirom na magmatski karakter protolita često se nailazi na reliktno dijabazno-zrnaste strukture. Većinom su to sitnozrne stijene i veličina zrna rijetko kada prelazi 1 mm. Tekstura im je redovito paralelna i izražena u folijaciji ponekad plisiranoj do mikroboranoj.

Zeleni škrljavci s. str. imaju promjenljivi modalni sastav. Obično su to izrazito mezokratne stijene s jasnim pretezanjem klorita, no kod nekih albit prevladava nad kloritom. I u jednom i u drugom slučaju, uz klorit, obično još dolaze epidot, amfibol, rjeđe sericit i kvarc.

No, u ovoj se grupi još ističu i epidotski škrljavci, tj. stijene u kojima je epidot najzastupljeniji sastojak. Pored njega se još javljaju albit do kiseli oligoklas, klorit, amfibol te sericit i kvarc.

U ovoj grupi stijena su utvrđeni i varijeteti u kojima količinski dominira sericit, a uz njega još dolaze kiseli oligoklas do albit, klorit, epidot, kvarc i rjeđe uralit. Modalni odnosi su promjenljivi, no kako je ovdje sericit najzastupljeniji mineral, to sve te stijene predstavljaju različite varijetete sericitskih škrljavaca.

U nekim zelenim stijenama dolazi podređeno, pored navedenih minerala, i stilpnomelan u vidu prizmatskih kristala s jasnom bazalnom, ali i uzdužnom kalavošću i pleohroizmom u žutoj i tamnocrvenosmedoj boji. Njegovo prisustvo smo provjeravali i na rentgenogramu na kojem je jasno izražen pik 13,0 Å koji dokazuje prisustvo stilpnomelana. Istina, ističe se još jedan stilpnomelanski pik od 11,9 Å koji se preklapa sa sepiolitom. No, tu mogućnost prisustva sepiolita isključuju paragenetski odnosi.

Mada stilpnomelan dolazi kao sporedan sastojak u nekim grinšistima, njegovo prisustvo je genetski značajno jer ukazuje da su ti grinšisti nastajali pri povišenom tlaku (Winkler, 1967). To su, inače, zeleni škrljavci u kojima prevladavaju klorit i albit do kiseli oligoklas, uz manje amfibola, epidota i kvar-

ca; utvrđeni su u izvorišnom dijelu Blizneca pod glavnim vrhom Sljeme. Važno je istaći da Raffaelli također spominje prisustvo stilpnomelana, i to u sukcesiji sa željezom obogaćenih parametamornih stijena u kojoj je odredio i kloritoidne škrljavce (Šikić et al., 1979).

**3. Amfibolitski škrljavci** su, također, dosta česte stijene i na njih otpada oko 1/3 od svih ispitivanih zelenih stijena. To su stijene koje se makroskopski ne mogu razlikovati od prikazanih zelenih škrljavaca s. str., jer su i one obično zelene boje i imaju sitnozrni metamorfni sklop. Međutim, mikroskopska ispitivanja pokazuju da u tim stijenama količinski preteže amfibol koji nije detaljnije određivan; vlaknasti varijeteti sigurno pripadaju aktinolitu, a individualizirani pojedinačni prizmatički kristali vjerojatno zelenoj hronblendi. Pored amfibola dolaze inače isti minerali kao i u zelenim škrljavcima s. str.: kiseli oligoklas do albit, epidot, klorit, te veoma rijetko kvarc i sericit. I ovdje je modalni sastav promjenljiv, no uvijek uz količinsku dominantnost amfibola.

Amfibolitski škrljavci imaju različite strukture: granoblastičnu, nematoblastičnu, nematogranoblastičnu i porfiroblastičnu, a nekad i reliktnu ofitsku, ili čak i reliktnu hipidiomorfno zrnastu što dokazuje da predstavljaju ortometamorfne stijene nastale iz dijabaza i gabrodijabaza. Najčešće su to sitnozrne stijene i veličina zrna im rijetko kada dosegne do promjera 1 mm. Tekstura je redovito paralelna, obično s jasno izraženom folijacijom, a nematoblastični strukturni varijeteti imaju i jasno linearan sklop. Rjeđe se paralelna tekstura odražava u vrpčastim i lećastim izdvajanjima promjenljivog modalnog sastava.

Sve su navedene stijene vrlo često ispresijecane žilicama i lećama, nekad i nepravilnim gnijezdima sekundarnih minerala. U žilnoj paragenezi izrazito dominiraju kvarc i kalcit. Ponekad se kvarc-kalcitne žilice ulažu duž ss-površina pa se u izbrusku dobiva privid kao da su i oni primarni sastojci zelenih škrljavaca. Pored kalcita primjećen je i limonitizirani karbonat, najvjerojatnije ankerit i / ili siderit.

Pored kalcita i kvarca u žilicama dolaze još klorit, albit, zatim epidot, a rijetko i amfibol. Karakteristično je i prisustvo metalnih minerala koji nekad dolaze u tolikoj količini da se radi o pravim rudnim impregnacijama (najčešće pirit). Nažalost, rudni minerali, kao uostalom i prozirni, dosad nisu detaljnije proučavani.

### Rezultati geokemijskih ispitivanja

Za geokemijska ispitivanja odabrano je ukupno deset uzoraka različitih zelenih škrljavaca i sadržaji makroelemenata (u uteznim procentima) i elemenata u tragovima (u  $\mu\text{g/g}$  — ppm) prikazani su u tabeli 1. Iz nje se vidi da zeleni škrljavci Zagrebačke gore predstavljaju bazične stijene; kod većine uzoraka se sadržaj  $\text{SiO}_2$  kreće od 43 do 50 %. No, treba istaći da su sve te stijene u određenom stupnju desilificirane jer sadrže 2 do 16 % kalcita (vezanog obično za kalcit iz sekundarnih žilica). Analize nekih stijena kad se preračunaju na 100 % bez sadržaja kalcita i vode, pokazuju sadržaje  $\text{SiO}_2$  oko 51—52 %, neke i nešto više, što ukazuje na slabo izražen dioritski karakter tih stijena.

Sadržaji nekih makroelemenata dosta su ujednačeni, dok drugi pokazuju određena kolebanja koja su inače karakteristična za stijene iz grupe zelenih škrljavaca, a zavise od promjena u mineralnom sastavu. Kod feromagnezijskih

Tabela. 1. Sadržaj makroelemenata i mikroelemenata u zelenim škriljancima Zagrebačke gore

Table 1. Major and trace element contents of greenschists from Mt. Zagrebačka Gora

	53	31-1	13-3	8-1	23	40	54-4	53-2	13-4	54-2	
SiO <sub>2</sub>	47,03	52,02	50,25	42,35	48,57	43,20	41,46	43,55	51,05	49,52	
TiO <sub>2</sub>	1,77	1,71	1,84	1,61	1,56	2,06	1,69	1,90	2,24	2,07	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,04	13,99	15,80	20,40	17,53	14,92	14,95	14,51	18,23	15,56	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,95	4,89	8,58	6,52	4,15	6,33	7,01	6,46	11,17	7,66	
FeO	4,16	4,67	2,61	5,17	2,37	4,45	1,37	2,28	1,08	3,52	
MnO	0,16	0,14	0,12	0,04	0,09	0,16	0,13	0,15	0,10	0,15	
MgO	6,58	5,54	4,83	1,98	2,52	4,83	2,72	4,73	3,92	6,85	
CaO	7,99	7,29	8,55	8,02	10,99	10,52	15,56	12,34	5,01	7,15	
Na <sub>2</sub> O	5,39	5,15	2,42	3,81	5,39	3,79	4,05	4,62	4,93	3,89	
K <sub>2</sub> O	0,21	0,04	1,22	1,46	0,33	0,27	0,31	0,36	0,05	0,31	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,29	0,41	0,34	0,28	0,25	0,31	0,34	0,27	0,51	0,23	
H <sub>2</sub> O	2,74	1,96	1,91	5,41	1,65	3,15	3,18	3,82	1,03	2,13	
CO <sub>2</sub>	3,52	2,36	1,67	2,97	4,47	6,00	6,88	4,63	1,09	0,90	
	99,83	100,17	100,14	100,02	99,87	99,99	99,65	99,62	100,41	99,94	MDL
Ba	67	45	83	222	12	77	81	42	114	55	(48)
Ce	4	-	9	20	-	-	-	-	-	-	(50)
Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(90)
Cr	156	194	-	-	312	155	162	159	348	215	(9)
Ga	32	29	46	37	35	46	41	48	51	42	(3)
Nb	150	203	132	107	204	125	153	131	148	163	(23)
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(9)
Sr	198	156	524	90	250	121	20	107	53	179	(2)
V	-	325	475	707	333	651	575	673	898	443	(290)
Zr	218	237	237	470	332	247	323	342	332	275	(20)
Y	37	40	47	49	40	45	46	49	46	49	(2)

53 metadijabaz - metadiabase; 31-1 porfirski metadijabaz - porphyric metadiabase; 13-3 Q+Ms+Ab+Ch+Ep škriljavac - schist; 8-1 Q+Ab+Ch+Ms škriljavac - schist; 23 Ep+Ch+Ab škriljavac - schist; 40 Sp+Ep+Q+Ab+Ch škriljavac - schist; 54-4 Am+Ep+Ab+Ch škriljavac - schist; 53-2 Ep+Ch+Ab amfibolitski škriljavac - amphibolite schist; 13-4 Ch+Ep+Ab amfibolitski škriljavac - amphibolite schist; 54-2 Ep+Ab+Ch amfibolitski škriljavac - amphibolite schist; Ab albit - albite; Ch klorit - chlorite; Ep epidot - epidote; Am amfibol - amphibole; Ms muskovit - muscovite; Q kvarc - quartz; Sp stilpnomelan - stilpnomelane

MDL minimalna granica odredjivanja - minimal determination limit

elemenata, čija količina varira najčešće od 10 do 15 %, ističe se jasno prevladavanje feri-željeza nad fero-željezom, a ukupna količina željeza je uvijek veća od količine MgO; odnos ukupnog željeza prema MgO kreće se obično od 2 do 5. Sadržaj CaO, također, je dosta visok i iznosi od 8 do preko 15 %, u zavisnosti od sadržaja epidota, amfibola i kalcita. Prisustvo albita do kiselog oligoklasa uvjetuje i dosta visok sadržaj Na<sub>2</sub>O koji obično varira od 3,80 do 5,39 %, dok je sadržaj K<sub>2</sub>O dosta nizak i kreće se od 0,04 do 1,46 %. S povećanim sadržajem Na<sub>2</sub>O posebno se ističu metadijabazi (uzorci 53 i 31—1), te zeleni škriljavci s. str. koji sadrže veću količinu albita i kiselog oligoklasa.

Od ostalih mikroelemenata dosta je ujednačen sadržaj Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> koji obično koleba između 14 i 15 %. Vrlo je karakterističan i povećan sadržaj P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> koji varira od 0,25 do 0,51 %. S druge strane, količina TiO<sub>2</sub>, mada dosta ujednačena (1,56—2,24 %), nešto je povećana u odnosu na uobičajen sadržaj tog elementa u zelenim škriljavicima. Količina H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> je, također, povećana i kreće se najčešće od 2 do 5 % što je uvjetovano prisutnošću klorita, epidota, amfibola i sericita.

U tabeli 2 prikazani su podaci petrokemijskog proračunavanja. Prema Nigglijevim vrijednostima većina zelenih škriljavaca Zagrebačke gore ide u grupe leukogabroidnih, rijetko gabroteralitskih, teralitgabroidnih, pa i dioritnih magmi. Ukoliko se prihvati mišljenje da su zeleni škriljavci grinšistnih pojaseva za vrijeme metamorfizma pretrpjeli male kemijske promjene, odnosno da su one imale uglavnom izokemijski karakter (Hallberg et al., 1976), onda bi nam navedeni podaci Nigglijeve klasifikacije mogli ukazivati na kemizem bazičnog protolita iz kojeg su nastale ortogrinšistne stijene Zagrebačke gore.

Normativni CIPW sastav (tabela 2) pokazuje jasan toleitni karakter ispitivanih zelenih škriljavaca. Kako sedam od ukupno deset uzoraka sadrže i normativni olivin, to bi zeleni škriljavci Medvednice imali pretežno olivin-toleitni karakter. Treba napomenuti da asociacije bazičnih zelenih škriljavaca, naročito one iz prekambrijskih grinšistnih pojaseva kontinentalnih štitova, imaju, u pravilu, jasno izražen toleitni karakter (Winchester et Floyd, 1976).

Toleitni karakter zelenih škriljavaca dokumentira i priloženi dijagram SiO<sub>2</sub> : FeO<sup>x</sup>/MgO (Miyashiro, 1975) na kojem većina točaka pada u polje toleita (sl. 2 a). Nasuprot tome, na često upotrebljavanom dijagramu AFM izraženo je rasipanje točaka s tim da ih većina pada uz krivulju prosječne kalcijsko-alkalijske (linija 3), a manji uz krivulju prosječne toleitne serije stijena (linija 2).

U razmatranju problematike pripadnosti vulkanskim serijama u novije vrijeme mnogo se koriste različiti diskriminacioni dijagrami urađeni na temelju sadržaja određenih mikroelemenata. Winchester et Floyd (1979) su konstruirali dijagram P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:Zr, i na tom dijagramu (sl. 3 a) oko 80 % točaka zelenih škriljavaca Medvednice leže u polju toleita. Nešto je slabije izražen toleitni karakter i na dijagramu (sl. 3 b) Cr:FeO<sup>x</sup>/MgO (Miyashiro, 1975).

Iz navedenih se primjera vidi da su rasipanja točaka obično više izražena na onim diskriminacijskim dijagramima na kojima se među korištenim komponentama nalazi ukupan sadržaj željeza (FeO<sup>x</sup>). Rasipanje točaka zelenih škriljavaca Medvednice na takvim dijagramima sasvim je razumljivo, ako se ima u vidu da su oni često, no neravnomjerno prožeti sekundarnim žilama u čiji sastav ulaze kao bitni sastojci pirit i željezoviti karbonat.

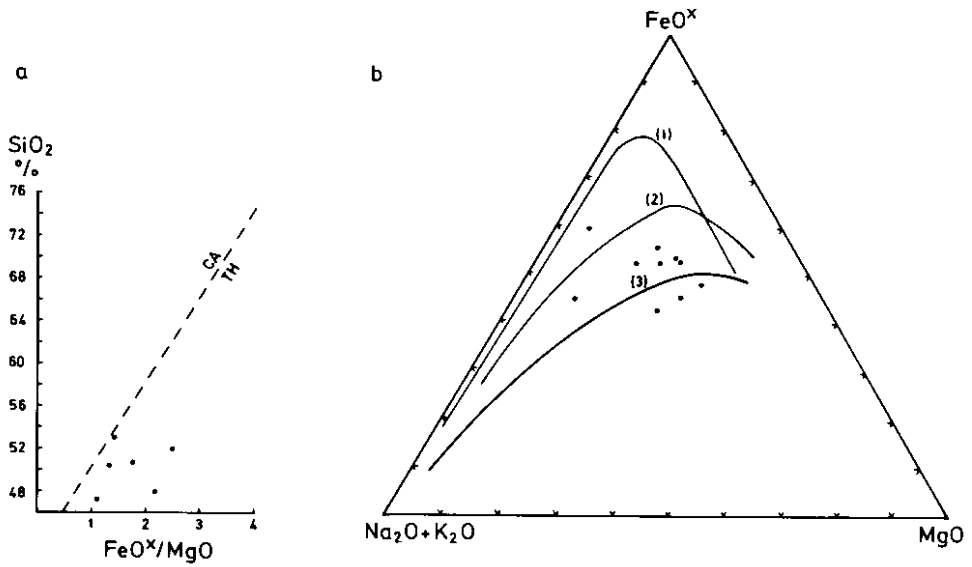


Tabela 2. Nigglijeve vrijednosti i normativni CIPW sastav  
Table 2. Niggli's values and CIPW norms

	53	31-1	13-3	8-1	23	40	54-4	53-2	13-4	54-2
si	117	142	135	112	133	111	107	111	152	127
al	23	22	25	33	29	22	22	21	33	23
fm	42	43	42	32	24	40	26	35	44	48
c	21	21	24	23	32	28	41	33	9	19
alk	13	13	8	12	15	10	10	12	14	10
k	0,02	0,01	0,25	0,20	0,04	0,04	0,05	0,05	0,01	0,05
$\pi$	0,27	0,24	0,50	0,46	0,32	0,39	0,36	0,29	0,21	0,40
mg	0,57	0,52	0,45	0,24	0,42	0,46	0,38	0,51	0,38	0,54
$\Upsilon$	0,20	0,20	0,14	0,03	0,41	0,17	0,52	0,39	0,00	0,10
Q	25	31	35	27	30	26	25	24	36	31
L	43	39	37	53	47	39	40	40	35	38
M	32	30	28	20	23	35	35	36	29	31
Q	-	-	1,8	-	-	-	-	-	5,3	-
C	-	-	-	5,1	-	3,1	-	-	8,1	-
or	1,3	0,2	7,5	9,2	2,0	1,7	1,9	2,2	0,3	1,9
ab	47,1	44,2	21,2	34,5	46,0	33,6	35,2	36,0	42,8	33,5
an	15,0	15,0	29,7	20,0	24,0	12,8	22,0	18,0	4,2	24,2
ne	-	-	-	-	-	-	-	2,4	-	-
wo	-	1,6	0,4	-	0,3	-	4,3	5,5	-	1,8
dien	-	0,7	0,2	-	0,1	-	1,4	2,4	-	0,8
difs	-	0,9	0,3	-	0,2	-	3,0	3,0	-	1,0
hyen	0,5	12,5	12,3	0,2	1,9	12,6	0,5	-	10,0	10,0
hyfs	0,5	15,1	19,3	1,0	3,3	19,5	1,0	-	20,8	11,1
fo	11,5	0,7	-	3,5	3,1	-	3,3	6,8	-	4,5
fa	12,3	0,9	-	15,8	6,1	-	8,0	9,0	-	5,5
il	3,8	3,0	3,9	2,8	3,1	4,0	2,8	3,9	4,2	4,0
ap	0,7	1,0	0,8	0,7	0,6	0,8	0,8	0,7	1,2	0,6
cc	8,6	5,5	3,9	7,2	10,5	14,3	16,4	11,1	2,8	2,1

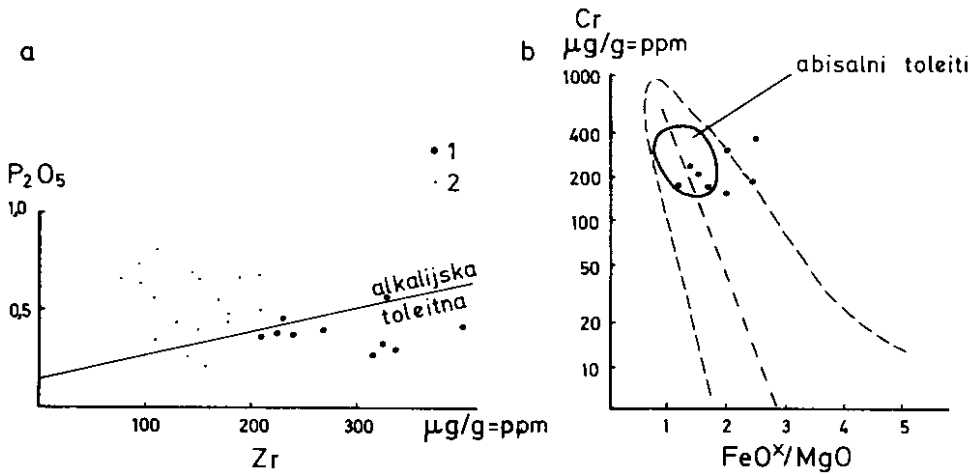
Posebno je instruktivan dijagram  $TiO_2:Zr/P_2O_5$  (Winchester et Floyd, 1976) na kojem su ucrtane točke zelenih škrljavaca iz prekambrijskih grinšistnih pojaseva Kanade, Australije i Indije, ali i polje abisalnih (oceanskih) toleita (sl. 4). Kao što se vidi na toj slici, dok točke zelenih škrljavaca iz prekambrijskih grinšistnih pojaseva pokazuju veliko rasipanje, dotle je oko 80 % točaka zelenih škrljavaca Medvednice koncentrirano u polju abisalnih toleita.

U posljednje vrijeme se u petrologiji, također, mnogo koriste brojni diskriminacijski dijagrami po kojima se određuje geotektonski položaj ne samo



Sl. 2. *a* — Miyashirov dijagram  $\text{SiO}_2:\text{FeO}^x/\text{MgO}$ , i *b* — trokomponentni dijagram  $\text{FeO}^x:\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}:\text{MgO}$

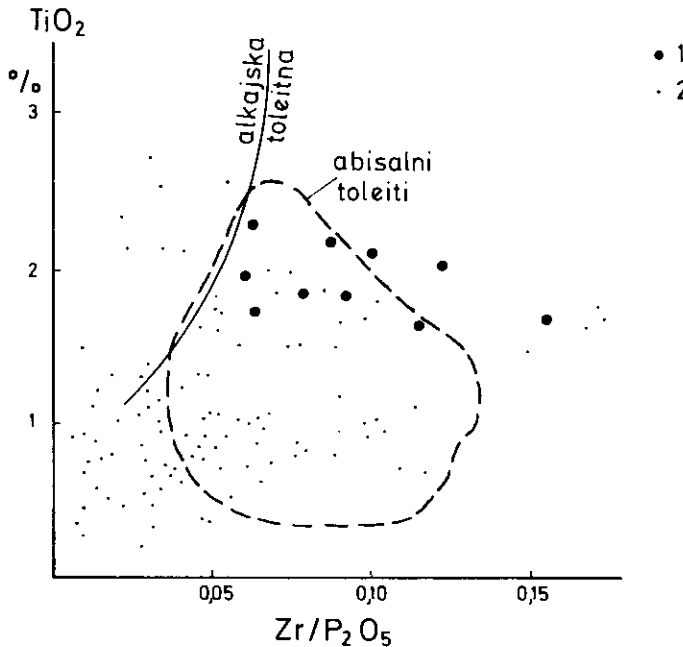
Fig. 2. *a* — Miyashiro's diagram  $\text{SiO}_2:\text{FeO}^x/\text{MgO}$ , and *b* — triangle diagram  $\text{FeO}^x:\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}:\text{MgO}$



Sl. 3. *a* — dijagram  $\text{P}_2\text{O}_5:\text{Zr}$ , i *b* — dijagram  $\text{Cr}:\text{FeO}^x/\text{MgO}$

Fig. 3. *a* — diagram  $\text{P}_2\text{O}_5:\text{Zr}$ , and *b* — diagram  $\text{Cr}:\text{FeO}^x/\text{MgO}$

1 zeleni škrljavci Medvednice — greenschists from Mt. Medvednica, 2 zeleni škrljavci Chitaldruga u Indiji — greenschists from Chitaldrug, India

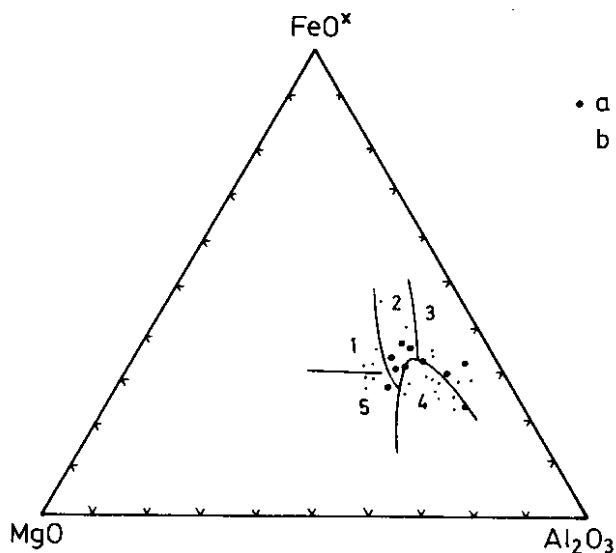
Sl. 4. Dijagram  $TiO_2:Zr/P_2O_5$ Fig. 4. Diagram  $TiO_2:Zr/P_2O_5$ 

1 zeleni škrljavci Medvednice — greenschists from Mt. Medvednica, 2 arhajski zeleni škrljavci Kanade, Indije i Australije — Archaean greenschists from Canada, India and Australia

različitih magmatskih asocijacija, nego i njihovih metamornih derivata. Pearce et al., (1977) razmatrali su migrativnost makroelemenata pri procesima metamorfizma i došli do zaključka da su među njima  $FeO^x$ ,  $MgO$  i  $Al_2O_3$  najmanje migrativni i na temelju statističke obrade velikog broja analitičkih podataka uradili diskriminacijski dijagram za bazične i intermedijarne vulkanske stijene (sl. 5). Na tom dijagramu zeleni škrljavci Zagrebačke gore pokazuju velika rasipanja; veći dio točaka leži u polju kontinentalnih bazalta, a preostale se nalaze u gotovo svim izdvojenim poljima. Dakle, po tom se dijagramu ne može povući neki određen zaključak.

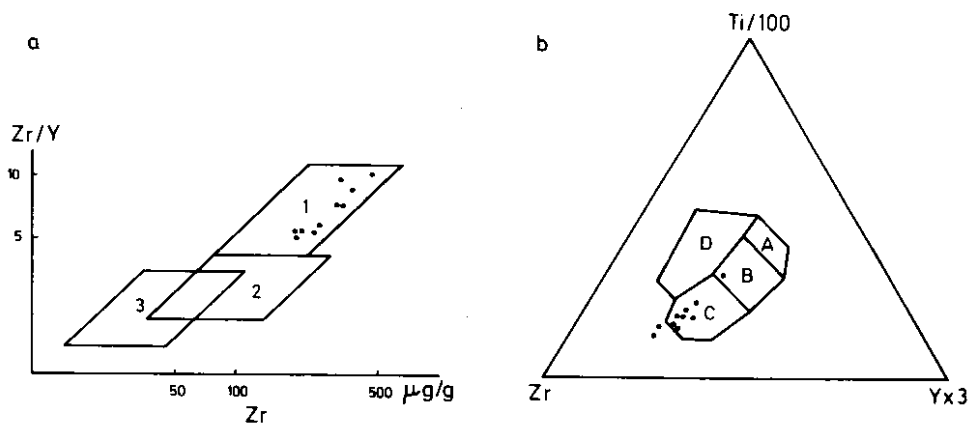
Jednoznačan zaključak se ne može povući ni korištenjem diskriminacijskih dijagrama koji su urađeni na temelju sadržaja imobilnih elemenata u tragovima. Na dijagramu  $Zr:Zr Y$  (sl. 6 a) sve točke zelenih škrljavaca Zagrebačke gore leže u polju kontinentalnih (»within-plate«) bazalta (Pearce et Norry, 1979). S druge strane, na najčešće upotrebljavanom trokomponentnom dijagramu  $Ti:Zr:Y$  (Pearce et Cann, 1973) većina točaka zelenih škrljavaca Medvednice leži u polju bazalta (sl. 6 b) koji su karakteristični za strukture magmatskih lukova.

Dakle, u sadašnjoj se situaciji raspoloživom geokemijskom faktografijom ne može izvući pouzdan zaključak o geotektonskom položaju, odnosno ambijentu u kojem su nastali protoliti zelenih škrljavaca Zagrebačke gore.



Sl. 5. Trokomponentni dijagram  $\text{FeO}^x:\text{MgO}:\text{Al}_2\text{O}_3$

Fig. 5. Triangle diagram  $\text{FeO}^x:\text{MgO}:\text{Al}_2\text{O}_3$   
*a* zeleni škriljavci Medvednice — greenschists from Mt. Medvednica, *b* »bazalt-andeziti« iz arhajskih grinšistnih pojaseva Kanade, Australije, Afrike i Indije — »basalt-andesites« of Archaean greenschist belts from Canada, Australija, Africa and India  
 1 oceansko otočje — ocean islands, 2 kontinenti — continents, 3 otoci na centrima širenja — spreading center islands, 4 orogena područja — orogenic areas, 5 srednjooceanski hrbtovi i morsko dno — ocean ridges and ocean floor



Sl. 6. *a* — dijagram  $\text{Zr}:\text{Zr}/\text{Y}$  i *b* — trokomponentni dijagram  $\text{Ti } 100:\text{Zr}:\text{Yx}3$   
 Fig. 6. *a* — diagram  $\text{Zr}:\text{Zr}/\text{Y}$ , *b* — triangle diagram  $\text{Ti } 100:\text{Zr}:\text{Yx}3$

### Diskusija

O geološkom položaju zelenih škriljavaca glavnog trupa Zagrebačke gore postoje dva različita mišljenja: 1. Gorjanović-Kramberger (1907) i neki drugi smatraju da su oni prekambrijske starosti, za razliku od okolnih brusilovaca i vapnenaca koje stavljaju u karbon. Ovo mišljenje potkrepljuju znatno kasnije objavljeni podaci o U Pb izotopnoj starosti (Miholić, 1957). 2. Šikić et al., (1979) su sve metamorfne stijene Medvednice, uključujući i zelene škriljavce glavnog trupa, uvrstili u devon i karbon na temelju odredbi konodonti (Đurđanović, 1969) iz kristalastih vapnenaca iz rubnih dijelova planine. Oni smatraju da se radi o metamorfoziranom vulkanogeno-sedimentnom kompleksu, a sami zeleni škriljavci glavnog trupa nastali su, po njima, na račun stijena gabro-dioritskih magmi koje su se utiskivale u seriju paleozojskih sedimenata. Prema najnovijim paleontološkim podacima bi jedan dio okolnih metamornih stijena pripadao i siluru (Sremac et Mihajlović-Pavlović, 1983).

Zeleni škriljavci sensu lato glavnog trupa Zagrebačke gore mogu se podijeliti po svojim strukturno-teksturnim karakteristikama te mineralnom i modalnom sastavu na metadijabaze, zelene škriljavce s. str., s kojima dolaze podređeno epidotski, sericitski i stilpnomelanski škriljavci, te amfibolitske škriljavce. Većina tih stijena ima jasan bazičan, a po normativnom sastavu i jasan olivin-toleitski karakter.

Protoliti zelenih škriljavaca Medvednice, odnosno primarne bazične magmatske stijene iz kojih su one postale, imaju kako po sadržaju makroelemenata, tako i mikroelemenata, toleitni karakter koji je jasno izražen i kod stijena prekambrijskih grinšistnih pojaseva. Međutim, ove posljednje imaju uvijek karakteristično snižen sadržaj  $K_2O$  i pripadaju tzv. niskokalijskim bazaltima što nije redoviti slučaj kod zelenih škriljavaca Zagrebačke gore čiji srednji sadržaj iznosi 0,46 %. Također su vrlo izražene razlike i u sadržaju  $TiO_2$  koji je u starim grinšistnim pojasevima u pravilu nešto snižen, a kod grinšista Medvednice nešto povišen. No, naročito je karakteristična razlika u sadržaju cirkonijuma. On je jako nizak (obično oko 40 do 70  $\mu g/g$ ) u zelenim škriljancima prekambrijskih grinšistnih pojaseva, dok je u zelenim škriljancima Zagrebačke gore izrazito povećan i najčešće iznosi 200 do 350  $\mu g/g$  (Winchester et Floyd, 1976 i 1979).

Navedeni geokemijski podaci pokazuju da ne postoji pozitivna korelacija između zelenih škriljavaca Zagrebačke gore i identičnih stijena prekambrijskih grinšistnih pojaseva. Ovaj zaključak, utemeljen na geokemijskim podacima, potkrepljuje izneseno mišljenje o geološkom, odnosno stratigrafskom položaju zelenih škriljavaca glavnog trupa Medvednice (Šikić et al., 1979).

Prikazani geokemijski podaci ne omogućavaju povlačenje nekog određenog zaključka o geotektonskom položaju, odnosno ambijentu u kojem je nastala primarna asocijacija bazičnih stijena-protolita, odnosno primarni magmatsko-sedimentni kompleks. Malo je vjerojatna mogućnost koju sugerira dijagram Zr:Zr/Y (Pearce et Norry, 1979) da bi protoliti zelenih škriljavaca Medvednice odgovarali kontinentalnim bazaltima. Po najviše i najuspješnije korištenom dijagramu Ti:Zr:Y (Pearce et Cann, 1973) primarne bazične stije-

ne koje su dale zelene škriljavce Medvednice odgovaraju bazaltima koji se karakteristično javljaju s andezitima subdukcionihi zona, odnosno orogenetskih pojaseva.

### Zahvala

Zahvaljujemo kolegama P. Raffaelliju i K. Šikiću za korisne sugestije i diskusije koje smo dobili pri pisanju manuskripta.

### Petrology and geochemistry of orthogreenschists from Mt. Zagrebačka Gora in Croatia

There are two opinions on the geologic position of greenschists from central parts of Mt. Medvednica: (1) They are of the Precambrian age as distinguished from surrounding slates and limestones of the presumed Carboniferous age (Gorjanović-Kramberger, 1907 and others). This opinion was supported much later by Miholić (1957) who got U/Pb ages of 750 and 790 Ma. (2) Šikić et al., (1979) have included all metamorphic rocks of Medvednica (or Zagrebačka Gora), together with greenschists of its central parts, within the Devonian and Carboniferous on the basis of paleontological determination of conodonts (Đurđanović, 1969). They are of the opinion that this is a metamorphosed volcanic-sedimentary complex in which greenschists from the central parts of Mt. Medvednica themselves originated on account of igneous rocks of gabbro-diorite composition invading Paleozoic sediments. Most recently, Sremac and Mihajlović-Pavlović (1983) presented evidence that some parts of the surrounding semimetamorphic rocks might belong to the Silurian as well.

Greenstones *sensu lato* from the central parts of Mt. Zagrebačka Gora can be grouped as follows: metadiabases, greenschists *s. str.* with subordinate epidote, stilpnomelane and sericite schists, and amphibolites. Most of the rocks are basic, and according to their chemical composition and CIPW norms they display a distinct tholeiitic affinity.

Based on major and trace element contents the protolith of greenschists of Mt. Zagrebačka Gora must have been also of tholeiitic affinity which is also characteristic for ancient Precambrian greenstone belts. But the latter characteristically contain decreased amount of  $K_2O$  and belong to low-potassium basalts. By contrast, the average  $K_2O$  content of Medvednica greenschists is 0,46 percent. There are also some differences: (1)  $TiO_2$  content is slightly increased when compared with Precambrian greenschists, and (2) greenschists of Mt. Zagrebačka Gora contain commonly 200 to 350 ppm of Zr what is much higher than in Precambrian greenstones (Winchester et Floyd, 1976 and 1979).

Consequently, based on geochemistry, there is not a positive correlation between greenschists of Mt. Zagrebačka Gora and Precambrian greenstones. This conclusion supports the opinion on geological position of greenschists of the central parts of Mt. Zagrebačka Gora presented by Šikić et al., (1979).

The available data on immobile trace elements do not make possible a definite conclusion on geotectonic setting and environment under which the primary volcanic-sedimentary complex, i.e. the protolith originated. Diagram

Zr:Zr/Y (Pearce et Norry, 1979) suggests that the protolith might have been formed under continental environment. On the other hand, the diagram Ti/100: Zr:Yx3 (Pearce et Cann, 1973) points out that the protolith of greenschists of Mt. Zagrebačka Gora might have originated in the subduction zone (Fig. 6).

### Literatura

Crnković, B. 1963, Petrografija i petrogeneza magmatita na sjevernoj strani Medvednice. Geol. vjes., 16, 63—100, Zagreb.

Đurđanović, Ž. 1969, Konodonte i njihovo značenje za stratigrafiju paleozoika Hrvatske s kratkim osvrtom i na druga područja u Jugoslaviji. Magist. rad, Prir. — mat. fakultet, Zagreb.

Foetterle, F. 1861/62, Aufnahmen im nordwestlichen Croatien. Bericht aus Agram. Jb. Geol. R. A. 12 (1), 80—123, Wien.

Gorjanović-Kramberger, D. 1890, Die praepontische Bildungen des Agramer Gebirges. Glas. Hrv. naravosl. druš., 5, 151—164, Zagreb.

Gorjanović-Kramberger, D. 1907, Die geotektonische Verhältnisse des Agramer Gebirges und die mit denselben im Zusammenhang stehenden Erscheinungen. Anhalt Abhandl. Preuss. Akad. Wiss. 1—30, Berlin.

Gorjanović-Kramberger, D. 1908, Geologijska pregledna karta kraljevine Hrvatske i Slavonije, sa tumačem. Izd. Geol. povj., 1—75, Zagreb.

Hallberg, J. A., Johnston, C. & Bye, S. M. 1976, The Archaean Marda igneous complex, Western Australia. Precambrian Res., 3, 11—136, Canberra.

Kišpatić, M. 1895, Potresi u Hrvatskoj. Rad JAZU, 122, 1—94, Zagreb.

Kišpatić, M. 1918, Die Eruptivgesteine und kristallinische Schiefer des Agramer Gebirges. Glas. Hrv. prirodoslov. druš., 30 (1—4), 1—24, Zagreb.

Marić, L. 1959, Mineralne facije u metamorfnim stijenama Medvednice (Zagrebačke gore). Geol. vjes., 12, 205—218, Zagreb.

Miholić, S. 1957, Nuklearna geologija. Geol. vjes., 11 229—259, Zagreb.

Miyashiro, A. 1975, Tholeiitic and calc-alkalic series: a critical review. Petrologie, 1, 177—187, Nancy.

Pearce, J. A. & Cann, J. R. 1973, Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. Earth 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, Berlin.

Pearce, T. H., Gorman, B. E. & Birkett, T. X. 1977, The relationship between major element geochemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. Earth Plan. Scie. Letters, 36 121—132, Amsterdam.

Pilar, D. 1881, Grundzüge der Abyssodynamik. Zugleich ein Beitrag zu der durch das Agramer Erdbeben von 9. Nov. 1880 neue angeregten Erdbebenfrage. Comm. Verl. Univ. Buchhandl. Albrecht R. Fiedler, p.p. 220, Zagreb.

Sremac, J. & Mihajlović-Pavlović, M. 1983, Graptoliti Medvednice (Zagrebačke gore). Rad JAZU, 404, 65—68, Zagreb.

Šikić, K., Basch, O. & Šimunić, A. 1979, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tumač za list Zagreb. Sav. geol. zavod, Beograd.

Vragović, M. & Majer, V. 1980, Prilozi za poznavanje metamorfnih stijena Zagrebačke gore, Moslavačke gore i Papuka (Hrvatska, Jugoslavija). Geol. vjes., 31, 295—308, Zagreb.

Vragović, M. & Majer, V. 1980 a, Kloritoidni škrljci u metamorfnim kompleksima u sjevernoj Hrvatskoj (Jugoslavija). Geol. vjes. 31, 287—294, Zagreb.

Vukotinić, Lj. 1873, Trećegorje u okolini zagrebačkoj. Rad JAZU, 23, 1—17, Zagreb.

Winchester, J. A. & Floyd, P. H. 1976, Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. Earth Plan. Scie. Letters, 28, 459—469, Amsterdam.

Winchester, J. A. & Floyd, P. A. 1979, Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, 325—343, Amsterdam.

Winkler, H. G. F. 1967, *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Springer Verlag, Berlin—Heidelberg—New York.