

Geol. vjesnik	31	295—308	1 tabela, 2 slike u tekstu	Zagreb, 1979
---------------	----	---------	----------------------------	--------------

552.4(497.1)

Prilozi za poznavanje metamorfnih stijena Zagrebačke gore, Moslavačke gore i Papuka (Hrvatska, Jugoslavija)

Vragović Mihovil i Majer Vladimir

*Zavod za mineralogiju, petrologiju i ekonomsku geologiju,
Rrudarsko-geološko-naftni fakultet — 41000 Zagreb*

— U radu su prikazani rezultati istraživanja peridotita, serpentinita i metamorfoziranih serpentinita sa Papuka, zatim kordijeritnih stijena iz Moslavačke gore i kloritoidnih škrljaca u Zagrebačkoj gori, i učinjen pokušaj da se preciznije odrede uvjeti metamorfizma u kojima su nastajale ove metamorfne stijene.

UVOD

Istraživanja metamorfnih stijena odnosno metamorfnih kompleksa u sjevernoj Hrvatskoj u prostoru između rijeka Save i Drave, osobito ona koja se u novije vrijeme provode u Slavoniji radi izrade osnovne geološke karte, donose svake godine mnogo novoga, što će trebati duže vrijeme detaljno ispitivati. Nađene su nove pojave stijena i minerala, često i vrlo značajnih i kritičnih, radi određivanja karaktera i stupnja metamorfizma, odnosno uvjeta metamorfizma. U ovome radu dajemo priloge o istraživanjima ultramafitnih stijena Papuka, kordijeritnih stijena Moslavačke gore, te o daljnjim istraživanjima kloritoidnih škrljaca.

ULTRAMAFITNE STIJENE PAPUKA

Nalazišta ultramafitnih stijena, odnosno peridotita i serpentinita, poznata su do sada u području između Save i Drave u Zagrebačkoj gori, na Kalniku, na Papuku i iz dubokih bušotina kod Lepavine, te dalje u Srijemu u Fruškoj gori. Nalazišta tih stijena u Papuku nisu detaljnije ispitivana. Poljak (1940) piše da u predjelu brda Točak južno od Vona leži u gnajsu deblja naslaga serpentina, a završni član u građi Točka je amfibolit, koji leži u serpentinu, i dijelom u gnajsu.

Prilikom izrade lista osnovne geološke karte, potvrđeni su nalazi ultramafita, a i amfibolita, u Papuku. Peridotita ima na Đukinoj Kosi, oko 4 km sjeverno od Zvečeva, a serpentinita u podnožju kote Točak, i to pretežno na sjeverozapadnom dijelu, kao osamljeni blokovi odnosno izdanci. Uzorke peridotita i serpentinita ustupili su nam D. Jamičić i drugi suradnici Geološkog zavoda u Zagrebu te im se na tome zahvaljujemo.

Među ultramafitnim stijenama određeni su ovi tipovi: a) djelomice serpentinizirani leucolit, (anal. 1, tabela I). Najniži stupanj

serpentinizacije na ispitanim stijinama bio je oko 30—40%. Struktura stijene je alotriomorfna zrnata, s jasnim znakovima kataklaza, odnosno granularna tektonitska struktura. Zbog serpentinizacije koja zahvaća stijenu poput mreže s ostacima primarnih sastojaka u vidu »okca« dobiva se dojam poznate mrežasto-okcaste strukture. Bitni su sastojci olivin, enstatit i dijalog (klinopiroksen), a produkti izmjene serpentin, magnetit, idingsit i gotovo bezbojni idiomorfni prutićasti amfibol, vjerojatno tremolit.

Pirokseni su manje zahvaćeni serpentinizacijom od olivina. Udio piroksena u stijeni varira između 30 i 40 %, pa ovaj peridotit valja smatrati piroksenima bogatim. Među piroksenima prevladava monoklinski piroksen dialag. U oba piroksena, enstatitu i dialagu, redovno se nalaze lamele ili tjelešca izdvajanja, koja pripadaju piroksenima i to klinopiroksenima (Cpx₂). Amfibol bi mogao biti produkt izmjene piroksena, u koliko bi se moglo sigurno utvrditi da se radi o tremolitu. Navedeni amfibol, naime, mogao bi pripadati eventualno i jednom članu iz niza edenit-pargazit. Poznato je da je stabilitet pargazitskog amfibola toliko visok da on primarno nastaje i u gornjem omotaču. Ipak, transformacioni karakter amfibola indirektno ukazuje među ostalom, i činjenica da se u varijetetima peridotita koji su bogatiji amfibolom i koji su gotovo bez relikata piroksena, javlja i relativno krupnolistićav bezbojni klorit, penin ili grohauit. Pošto je ovaj klorit bez anomalnih interferencionih boja vjerovatno se radi o grohauitu (šeridanitu). A ovaj klorit očito nije u peridotitu primaran, već nastao pretvorbom drugih minerala, odnosno piroksena.

Svakako, za potpuniji prikaz peridotita i rješavanja njihove geneze biti će potrebno poznavanje kemizma svih njegovih mineralnih sastojaka. No već na temelju ovih podataka i karakteristika u mineralnom sastavu očito je da se peridotiti Papuka razlikuju od sličnih stijena u ofiolitnoj zoni Unutrašnjih Dinarida.

b) serpentiniti. Oni ne sadrže relikte ranijih primarnih minerala peridotita. Dijelom su to gotovo monomineralni serpentiniti u kojima je jedini bitni mineral listićavi antigorit, s poznatom strukturom intimno sraštenih i proraštenih listića ili sitnih agregata. Prema slabo izraženim strukturnim reliktima jasno je da je antigoritni serpentin nit nastao iz lizardit-hrizotilnog serpentinita. Akcesorni su u ovakovim serpentinima magnetit i bezbojni klorit.

c) klorit-amfibolski serpentiniti. U ovim se stijinama, pored antigora, kao bitni sastojci javljaju i bezbojni klorit (vjerojatno grohauit), te idiomorfni stapićasti porfiroblastični bezbojni amfibol, vjerojatno tremolit. Možemo logički zaključivati da su ovi serpentiniti nastali iz piroksenima bogatih peridotita ili olivinskih piroksena. U nekima od ovakovih serpentinita u manjoj je količini prisutan i talk.

Nema dvojbe da su peridotiti i serpentiniti Papuka bili izloženi metamorfozi i da su glavni produkti ovoga metamorfizma amfibol (tremolit), klorit (grohauit), antigorit i talk. Problem metamorfoze ultramafitskih stijena razmjerno je malo ispitivan, ali lijep sumarni prikaz starija o znanju ovoga problema i do sada poznatih rezultata dao je Evans (1977), te Winkler (1976).

I ako nam u ovom slučaju nedostaju potpuniji podaci, a malo znamo i o cijeloj metamorfnoj seriji u okviru koje su bili zajedno metamor-

fozirani i ovi peridotiti i serpentiniti, možemo ipak bar grubo ocijeniti uvjete metamorfizma. S obzirom na prisustvo antigorita, t. j. polimorfne modifikacije serpentina koja je stabilnija uz više pritiske u odnosu na hrizotil i lizardit, a čiji je maksimalni gornji stabilitet između $450^{\circ}\text{C}/1$ kbar i $600^{\circ}\text{C}/10$ kbar, t. j. raste s pritiskom, vjerovatno je da je maksimalna temperatura metamorfizma mogla biti između 500°C i 550°C . To bi značilo da ovi serpentiniti pripadaju negdje između facijesa tzv. »glaukofan—niski grinšist« i facijesa »niski eklogit—visoki grinšist«. Ovo bi istovremeno odgovaralo i stabilitetu magnezijevog klorita (uz više pritiske), kao i talka i tremolita. Za određivanje pritiska metamorfizma nema specifičnih kritičnih minerala u serpentinitima i valja ih tražiti u paragenezama okolnih drugih metamorfnih stijena. Uz logičnu pretpostavku da su ove stijene izofacijelno metamorfozirane trebati će ispitati cijelu metamorfnu seriju u kojoj se nalaze metamorfozirani peridotiti i serpentiniti da bi se točnije ustanovili uvjeti metamorfizma. Istovremeno trebalo bi posebnu pažnju pokloniti i amfibolitima asociiranim s ultramafitnim stijenama.

Takva istraživanja peridotita i serpentinita u cijelom »sjevernom pojasa« ultramafita u Jugoslaviji, od Pohorja, preko Zagrebačke gore, Kalnika, Papuka do Fruške gore dala bi ne samo vrijedne podatke o njihovim karakteristikama i omogućila njihovu međusobnu komparaciju, već bi bila osobito vrijedna za tumačenje geološke evolucije u savsko-dravskom međuprostoru.

KORDIJERITNE STIJENE MOSLAVAČKE GORE

O petrografskoj građi Moslavačke gore nema još potpunog i cjelovitog prikaza. O kordijeritnim i sličnim stijenama pisali su Tučan (1953) i Barić (1954). Pored općeg pregleda o do tada poznatim istraživanjima Moslavačke gore i opisa nekih stijena, opisao je Tučan detaljno i »andaluzitsko-silimanitski biotitski škrljac« iz Jaska potoka na sjeveroistočnom dijelu Moslavačke gore, dao kemijsku analizu (anal. 2, tabela I), i odredio u njemu sastojke andezin, biotit, kremen, andaluzit, silimanit, muskovit, ilmenit, apatit, cirkon i granat. O toj istoj stijeni, odnosno stijeni istoga tipa, iz Jaska potoka pisao je Barić određivši je kao »kordijeritnu stijenu s andaluzitom i silimanitom« i dao novu kemijsku analizu stijene (anal. 3, tabela I). O kordijeritu iz Moslavačke gore pisali su Pavlović i dr. (1972) i to iz potoka Kamenjača u južnom dijelu Moslavačke gore, koji dolazi u biotitnim gnajsevima. Na temelju kemijske analize odredili su oni taj kordijerit kao magnezijsko-željezni, pošto u njegovu sastavu pored 33,43% Al_2O_3 i 8,84% MgO ima i 0,71% Fe_2O_3 i 6,62% FeO .

No, kordijeritne stijene nađene su u Moslavačkoj gori i još na drugim mjestima i to u Kamenac potoku i njegovim pritocima, kod Podgarića, zatim u Garičkoj rijeci, potoku Kutinac, Dubokom potoku, potoku Garešnica, Žirovac potoku, u Maloj i Velikoj Kamenici s pritocima te u Perušić potoku. Uzorke iz tih novih nalazišta i pojava ustupili su nam za ispitivanje J. Crnko i drugi suradnici iz Geološkog zavoda u Zagrebu, pa im na tome mnogo hvala. Kordijeritne stijene, dakle, imaju u Moslavačkoj gori znatno širu rasprostranjenost nego što se to do

sada znalo, i to u centralnom i južnom dijelu, i otuda i šire njihovo značenje, jer su bitni članovi metamorfnog kompleksa Moslavačke gore, i ako za sada nisu još određeni svi elementi njihova položaja u metamorfnoj seriji i odnosi s drugim metamorfnim stijinama.

Sudeći prema opisima i raspoloživim uzorcima sve te stijene najčešće su nefolijativne, masivne teksture, najčešće tamnosive, katkada gotovo i crne. Po tome često liče na kornite odnosno pelitne hornfelse. Da li su one, i ako su da li uvijek kontaktnometamorfne još je otvoreno pitanje.

Jednako kao i opisane kordijeritne stijene iz Jaska potoka, tako i istražene kordijeritne stijene iz novih, napred citiranih lokaliteta, posebno one iz potoka Garešnice i Velike Kamenice su stijene granoblastične strukture, u nekim uzorcima porfiroblastične s porfiroblastima andaluzita, a dijelom i poikiloblastične. U njihovu sastavu, u veoma promjenljivim količinama ili udjelu, učestvuju kordijerit, andaluzit, silimanit, granat, kvarc, plagioklas, K-feldspat, biotit i spinel, zatim akcesorni cirkon, magnetit (?titano-magnetit), apatit, te retrogradni muskovit, klorit i pinit. Ovdje nećemo detaljno opisivati mikrofiziografiju i strukture i njihove varijacije, kao ni svojstva navedenih minerala pošto se kod stijena iz novih nalazišta ne radi o sistematskim ispitivanjima, a iz pojava u Jaski potoku detaljno su prikazani u radovima Tućana i Barića. Cilj nam je, naime, da na temelju utvrđenih parageneza pokušamo odrediti uvjete i stupanj metamorfizma u prvom redu P i T (bez P_{H_2O} i redoks potencijala), pod kojima su se ove stijene razvijale. U tom slučaju, za to su bitne parageneze kritičnih minerala. Za preciznu analizu bilo bi potrebno poznavati i točni kemizam svih kritičnih koegzistentnih minerala što nam je za sada bilo nemoguće obaviti, pa bi to trebao biti zadatak budućih istraživanja.

Među kordijeritno-anadaluzitnim stijinama utvrđene su ove parageneze:

Cord + And + Sil + Gra + Bi + K-felsp. + Plag + Sp + Q	(a)
Cord + And + Sil + Bi + Plag + Q ± Ms	(b)
Cord + And + Sil + Bi + Q	(c)
Cord + Sil + Gra + Bi + Plag + Q	(d)
Cord + Sil + Bi + Plag + Q	(e)
Cord + Bi + Plag + Q	(f)
Cord + And + Bi + Plag + Q	(g)
Cord + Gra + Bi + Plag + Q	(h)
And + Bi + K-felsp. + Plag + Q	(i)

Može se uočiti da postoje dvije osnovne grupe stijena odnosno parageneza, jedna bez K-feldspata i druga s K-feldspatom. Među njima su posebno važne ili »kritične« za određivanje P-T uvjeta metamorfizma ove parageneze koje imaju optimalnu kombinaciju kritičnih koegzistentnih minerala i omogućuju najpotpuniju analizu:

Cord + And + Sil + Gra + Bi + K-felsp. + Plag + Sp + Q	= (a)
Cord + And + Sil + Bi + Q	= (c)
Cord + Sil + Gra + Bi + Plag + Q	= (d)
And + Bi + K-felsp. + Plag + Q	= (i)

U razmatranju uvjeta metamorfizma moramo isključiti spinel, i ako je taj mineral česti sastojak metamorfnih stijena. Stabilitet, toga minerala naime, a pogotovo stabilitet u kombinaciji s drugim mineralima, nije još ispitan i siguran, i ako se može općenito tvrditi da on egzistira, odnosno stvara se, uz visoke temperature i relativno umjerene pritiske, ali samo ako postoje određeni pogodni uvjeti definirani određenim kemizmom stijene. Parageneza spinel — Al_2SiO_5 -modifikacija do sada nije još eksperimentalno čak ni identificirana odnosno sintetizirana, pa se prema tome o stabilitetu parageneza spinel-kordijerit i/ili granat, uz prisutnost Al_2SiO_5 -faza ne može raspravljati na temelju nekog pretpostavljenog stabiliteta spinela. Jednako tako iz razmatranja je isključen muskovit, pošto je taj mineral koliko se moglo ustanoviti nastao procesima retrogradne metamorfoze.

Polazeći od podataka o eksperimentalnim istraživanjima stabiliteta pojedinih minerala ili parageneza kao posljedice jedne određene izokemijske reakcije sakupljenih u knjizi Winklera (1976) i prateći to u odgovarajućoj slici 1, možemo o uvjetima metamorfizma kordijeritnih stijena Moslavačke gore zaključivati ovako:

a) stijene bez K-feldspata:

Stijene s kordijeritom pripadaju ili srednjem (»medium-grade«) ili visokom (»high-grade«) stupnju metamorfizma. Granica između niskog i srednjeg stupnja metamorfizma upravo je i definirana pojavom kordijerita (»cordierite-in«) u metapelitima, a prelaz iz srednjeg u visoki stupanj metamorfizma pojavom K-feldspata i nestankom muskovita u prisustvu kvarca i to u koliko pritisak ne prelazi 3,5 kbara. U koliko je pritisak veći od 3,5 kbara ($P_{\text{H}_2\text{D}} > 3,5$ kbar), može da egzistira i muskovit, ali dolazi do početka anateksisa u gnajsevima i stijenama sličnog sastava. Ustanovljeno je, naime, da je parageneza muskovit + kvarc, koja kod pritiska manjih od 3,5 kbara reagira dajući K-feldspat, stabilna i kod viših pritiska od naznačenog, ali samo ako u paragenezi nema plagioklasa. U našem slučaju u svim je paragenezama s K-feldspatom pored kvarca prisutan i plagioklas što otklanja svaku neizvjesnost. Polazeći, dakle, od toga da muskovita u paragenezama s K-feldspatom, a uz prisustvo plagioklasa i kvarca, nema, možemo tvrditi da stijene s K-feldspatom pripadaju visokom stupnju metamorfizma s tipičnim izogradom K-feldspat + Al_2SiO_5 -faza.

Prema podacima u Winkleru (1976), donja granica stabiliteta prirodnog kordijerita leži duž izograda $527^\circ\text{C}/2$ kbar $P_{\text{H}_2\text{O}}$ i $555^\circ\text{C}/4$ kbar $P_{\text{H}_2\text{O}}$. To znači da su parageneze s kordijeritom nastale kod minimalnih temperatura između 525° i 555°C . Maksimalna odnosno gornja granica stabiliteta toga minerala bila bi limitirana graničnom linijom anateksisa.

Daljnje preciziranje uvjeta metamorfizma parageneza bez K-feldspata omogućeno je prisustvom polimorfnih faza Al_2SiO_5 , t. j. prisustvom andaluzita i silimanita. Redovita zastupljenost andaluzita u paragenezi, ali dijelom s jasnim znakovima prelaza i pretvorbe andaluzita u silimanit, kao i početnim stvaranjem fibrolitnog silimanita iz biotita jednoznačno dokazuje da je dostignuta granica odnosno linija izograda i stabiliteta andaluzit/silimanit, a time su preciznije određeni P-T uvjeti. Poznato je dočluše, da postoje problemi u preciznom određivanju granica

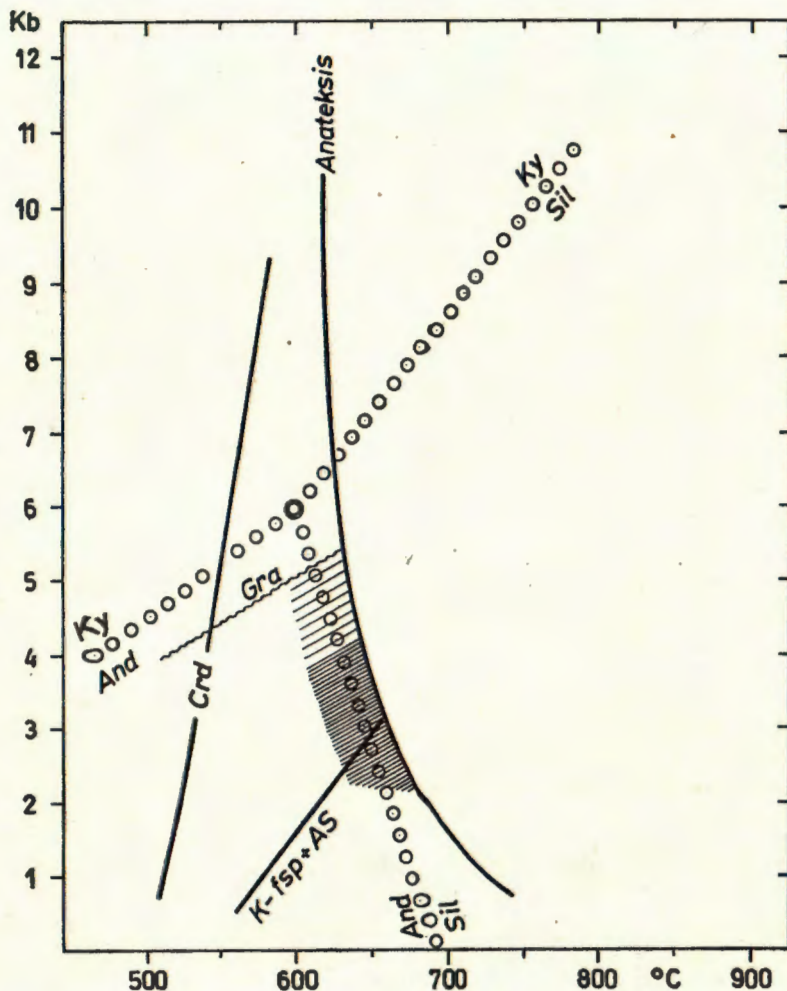
pojedinih Al_2SiO_5 -faza, odnosno invarijantne trojne tačke stabilитета svih triju faza, andaluzita, silimanita i distena, pa su različiti autori odredili različite vrijednosti. Tome se pridružuju i problemi iz činjenice o relativno visokoj inerciji transformacije jedne Al_2SiO_5 -faze u drugu. Uza sve te nedostatke ili moguća odstupanja, a uzimajući u obzir različite podatke, možemo bazirajući se na podacima iz Winklera prihvatiti da granica stabiliteta andaluzit/silimanit ide linijom od oko $600^\circ\text{C}/6$ kbar i $660^\circ\text{C}/2$ kbar. Time bi bila određena temperatura metamorfne reakcije parageneza s andaluzitom i silimanitom, odnosno relativno uska zona uvjeta metamorfizma definirana duž obje strane navedene linije fazne granice.

Veću poteškoću zadaje određivanje mogućeg pritiska uz date temperature. Gornja maksimalna granica određena je faznom granicom stabiliteta distena prema andaluzitu i silimanitu, pošto distena u našim paragenezama nema, a donja je limitirana linijom stabiliteta K-feldspata. Iz toga izlazi da su mogući rasponi pritiska od cca 2 do 6 kbara.

Prema Winkleru prisutnost granata almandina uz silimanit ukazivala bi prije na više pritiske nego na niže. Ovdje, međutim, valja istaći da postoji visoka ovisnost stabiliteta (odn. P-T) granata od njegova sastava i da bi oslanjanje na to iziskivalo tačno poznavanje kemizma granata. Osim toga, veći broj parageneza u kordijeritnim i andaluzitnim stijenama, granata nema ili ih ima u malim količinama, ili se po fiziografskim i strukturnim karakteristikama može zaključiti da je on metastabilan. I ako, dakle, općenito kombinacija Cord + Sil + Gra ukazuje na viši pritisak u okviru polja srednjeg stupnja metamorfizma, što vrijedi i za polje visokog stupnja metamorfizma, vjerojatno je da gornja granica pritiska leži ispod 5 kbara, odnosno između 4 i 5 kbara. Time bi bilo u osnovnim crtama omeđeno polje P-T uvjeta kordijeritnih stijena bez K-feldspata, što je i šrafurom naznačeno u slici 1.

b) stijene s K-feldspatom

Stijene u kojima postoji parageneza s K-feldspatom, kvarcom i Al_2SiO_5 -fazom dokazuju postojanje metamorfizma visokog stupnja. To je područje ograničeno reakcionim izogradom $\text{Musc} + \text{Q} \rightarrow \text{K-feldsp.} + \text{Al}_2\text{SiO}_5 + \text{H}_2\text{O}$, koji ide linijom $580^\circ\text{C}/3$ kbar i $660^\circ\text{C}/3$ kbar. Ova je reakcija praćena, u stijenama odgovarajućeg sastava i kemizma, i nestajanjem granata i biotita i stvaranjem silimanita, za što u našim stijinama ima jasnih primjera. Prisustvo i granata, očito metastabilnog, općenito ukazuje na više pritiske, a kordijerita u ovakvim paragenezama na niže pritiske. Pravidna kontradikcija leži vjerovatno u postojanju metastabilnog granata koji je zbog spore reakcije djelomice ostao sačuvan. Poznato je, naime, da je koegzistencija Cord + Gra(almandin) \pm Sil \pm Q moguća samo kod viših temperatura i uz ograničeno polje srednjeg pritiska, a i to samo u stijenama odgovarajućeg određenog kemizma. Sadržaji MgO i FeO, odnosno distribicioni koeficijent Mg i Fe u granatu i kordijeritu funkcionalno su zavisni od P i T i mogu služiti kao jedan od geobarometara i geotermometara. Nažalost za to nemamo podataka. Iz kemizma kordijerita koji su odredili Pavlović i dr. (1972), doduše iz stijena koje nisu ovdje predmet analize, izlazi da je odnos $\text{FeO} : (\text{FeO} + \text{MgO}) = 0,43$, što bi odgovaralo u koegzistentnom paru kordijerit — granat stabilitetu uz $P = 5$ kbara. Ashworth i Chinner (1978) su



Sl. 1. Polje stabilneta i uvjeti stvaranja metamornih parageneza Kordijeritnih stijena (šrafirano područje) u P-T dijagramu

za slične parageneze dobili također vrijednosti P od približno 5 kbara. Prisutnost mangana i neki drugi faktori snizuju tu vrijednost.

Ovako određeni P-T uvjeti za parageneze s K-feldspatom ukazuju odnosno omogućuju da zaključimo da se je metamorfizam odvijao uz relativno uski limitirani raspon temperature od oko 630°C do 660°C, i uz pritisak između 3 i 5 kbara. Dakako, nepoznavanje i ovdje točnog kemizma koegzistentnih kritičkih minerala u određenim stabilnim paragenezama, kao i ukupnog kemizma stijena s različitim paragenezama, umanjuje tačnost, sigurnost, a time i vrijednost zaključivanja, pa zato navedenu ocjenu uvjeta treba prihvatiti kao orijentacionu ili približnu. Za preciznije određivanje bilo bi nam potrebno da ispitamo i uvjete oksidaci-

ono/redukcionog potencijala i po mogućnosti što točnije poznavanje parcijalnog pritiska H_2O . Pored toga sva zaključivanja vrijede samo onda ako sigurno utvrdimo da su prisutne parageneze stabilne i postigle koegzistentnu ravnotežu, ili pak, zbog inercije reakcije pojedinih minerala, su metastabilne, pa su u tome pogledu potrebna izuzetno brižljiva i detaljna istraživanja fiziografije minerala i struktura, kao i pažljiva kornparacija svake parageneze i stijene s ukupnim kemizmom stijene.

Kemijski sastav kordijeritne stijene s K-feldspatom iz gornjeg toka potoka Garešnica dat je u koloni 4 tabele I, a radi upoređivanja navedene su u kolonama 2 i 3 analize kordijeritnih stijena iz Jaska potoka. Razlika od gotovo identičnih analiza 2 i 3 je u manjem sadržaju Al_2O_3 i većem sadržaju ukupnih alkalija, posebno kalija, što je rezultat većeg udjela K-feldspata i biotita, te različitih udjela kordijerita i Al_2SiO_5 -mineralna. Osnovne su razlike u sadržajima Al_2O_3 (odnosno parametra A) i feromagnetnijskih komponenata (odnosno parametra F), uz gotovo isti odnos Fe i Mg, pa su zbog toga i mogle nastati slične parageneze, s nešto različitim udjelima mineralnih sastojaka.

Kordijeritne stijene nisu postkristalizaciono bile izložene bilo kakvom značajnijem tektonskom utjecaju. Na mineralnim zrnima, kao ni u cijeloj strukturi, nema znakova deformacije ili kataklaza. Iz prostora u kojemu se odvijala metamorfoza, što bi uz normalni porast pritiska s dubinom odgovaralo dubini od oko 10 km, podizanje stijena u više niveoe išlo je razmjerno brzo i bez sukcesivnih retrogradnih promjena. Stijene, naime, nisu doživjele, ili imaju samo slabe retrogradne izmjene, pa su i tako osjetljivi minerali, kao biotit i kordijerit ostali gotovo netaknuti.

KLORITOIDNI ŠKRILJCI IZ ZAGREBAČKE GORE

O kloritoidnim škriljcima u metamorfnim kompleksima u sjevernoj hrvatskoj nalazimo podatke u radovima Kišpatića (1891, 1892) koji opisuje pojave u Psunju. Vragović i Majer (1978) objavili su rezultate prethodnih ispitivanja kloritnih škriljaca u metamorfnim kompleksima u sjevernoj Hrvatskoj, posebno u južnom dijelu Papuka. Ovdje opisujemo detaljnija ispitivanja kloritoidnih škriljaca iz Zagrebačke gore. Te škriljce u predjelu Puntjarke našao je B. Crnković i ustupio nam uzorke za ispitivanja pa mu na tome hvala.

Spomenimo da je Kišpatić (1918) u svojem zadnjem radu, o istraživanjima eruptivnih i metamorfnih stijena Zagrebačke gore opisao dijabaze, spilitske dijabaze, olivinski gabro, lercolit, zatim amfibolit, među metamorfnim stijenama zelene škriljce i filite, a na grebenu iznad Gornje Stubice (to odgovara grebenu oko Puntjarke) i granatski filit i distenski kvarcilit. Marić (1959) je napisao studiju o mineralnim facijama u metamorfnim stijenama Medvednice, te iscrpno opisao i analizirao zelene škriljce, a pored njih i neke druge metamorfne stijene, a našao je, opet nedaleko Puntjarke granatski biotitski škriljac s kornitom.

Kloritoidni škriljci Zagrebačke gore pripadaju tzv. »svijetlom tipu« kako je to po vanjskom izgledu klasificirao Kišpatić. To su stijene svijetle sivozelenkaste boje s crnkastim pjegicama odnosno porfiroblastima kloritoida, dobro izražene folijativne, škriljave teksture. Oko mita na S-ravninu odnosno na škriljavost i folijaciju, vide se sitne bore ili

Tabela I: Kemijske analize stijena i minerala

	1	2	3	4	5	6	6 a
SiO ₂	44,50	56,67	51,15	54,00	48,31	65,75	26,37
TiO ₂	0,02	1,45	1,36	1,54	0,87	0,90	0,64
Al ₂ O ₃	2,51	26,18	27,76	23,73	32,57	20,43	38,62
Fe ₂ O ₃	5,18	2,03	1,84	0,14	2,69	0,41	3,41
FeO	5,82	8,73	9,38	9,75	3,40	4,42	20,41
MnO	0,16	0,16	0,26	0,47	0,13	0,05	0,42
MgO	31,91	3,02	3,28	3,45	0,78	1,79	3,00
CaO	3,18	1,07	1,32	0,60	0,17	tr	—
Na ₂ O	0,33	1,24	0,98	1,43	3,02	0,86	n. o.
K ₂ O	0,22	1,86	1,83	3,16	2,45	2,51	n. o.
P ₂ O ₅	—	0,05	0,14	0,08	0,04	0,02	n. o.
H ₂ O ⁺	6,09	0,87	0,94	1,82	4,79	3,16	6,59
H ₂ O ⁻	0,20	0,13	0,08	0,18	0,37	0,02	—
	99,97	100,46	100,32	100,35	99,57	100,32	99,46
FeO _{MgO}	0,36	3,64	3,48	2,87	8,19	2,72	8,07

1. Peridotit, Papuk
2. Andal-silimanitni škriljac, Moslavačka gora, (Tućan)
3. Kordijeritna stijena, Moslavačka gora (Barić)
4. Kordijeritna stijena, Moslavačka gora (Vragović-Majer)
5. Kloritoidni škriljac, Papuk
6. Kloritoidni škriljac, Zagrebačka gora
- 6a. Kloritoid iz kloritoidnog škriljca, Zagrebačka gora.

fleksure koje nedvojbeno dokazuju da je stijena postkristalizaciono bila izložena pritisku u smjeru škriljavosti odnosno folijacije, t. j. da je metamorfni kompleks u kome se nalaze kloritoidni škriljci imao polifaznu tektonsku evoluciju u toku bar dvije odvojene faze.

Većina kloritoidnih škriljaca Zagrebačke gore ima jasno izraženu lepidoblastičnu perfiroblastičnu strukturu, s porfiroblastima kloritoida ne većim od cca 2 mm. Dio stijena s kloritoidom koje imaju više kvarca imaju često slabije ili bolje izraženu blastopsamitsku reliktnu strukturu s karakteristikama flazer strukture. Očito je da su kloritoidni škriljci nastali dijelom iz pelitskih glinovitih sedimentata, a dijelo iz glinovitih pješčenjaka, pri čemu se katkada očuvala i ritmička tekstura ranijeg sedimenta s proslojcima bogatim kvarcom i proslojcima gotovo bez kvarca. Sve su stijene sitnozrne.

Glavni je mineral, u kvarcem bogatijim stijenama, uz kvarc je »bijeli tinjac«. U dijelu stijena to je sigurno muskovit, no dijelom je vjerojatno prisutan i paragonit, a u nekim uzorcima i fengit. Kvarc se javlja ili kao odvojena zrna, ali i u trakama, proslojcima, lećicama ili gnijezdima. Kloritoid, kao porfiroblast, javlja se ili u odvojenim zrnima ili u agregatima, koji mogu biti nepravilni, sferolitno-radijalni ili lepezasto-svežnjasti. Habitus mu je prutičast-pločast. Individualni su svojom dužinom katkada laminaciono orijentirani u smjeru škriljavosti, ali često i koso ili okomito na škriljavost. Sva tri glavna minerala, kvarc, »bijeli tinjac« i kloritoid dolaze u jako varijabilnim količinama, što se odražava na ukupnom kemizmu stijene. Analizirani uzorak iz Zagrebačke gore (anal. 6, tabela I) je s relativno najkrupnijim porfiroblastitima kloritoida koji su bili pogodni za izdvajanje, te relativno bogat kvarcom. Pored »bijelog tinjca«, u njemu je još prisutan fengit, malo klorita, te akcesorni rutil, cirkon, turmalin i monacit, što je rendgenski potvrdio D. Slovenec.

Kloritoid (kem. anal. 6 a, tabela I) posjeduje tipični pločasto-prutičasti habitus, savršenu kalavost po (001) i poprečno lučenje. Ima one, za kloritoid tipične polisintetske sraslace, snažni pleohroizam: X—sivozelenkast, Y—sivozelenkastoplavkast do indigoplavkast, Z—žučkast. Jaki pozitivni indeks loma, nizak dvolom s anormalnim interferencionim bojama, mali, varijabilni kut potamnjenja, uz druge tipične karakteristike, čine ovaj kloritoid lako odredivim.

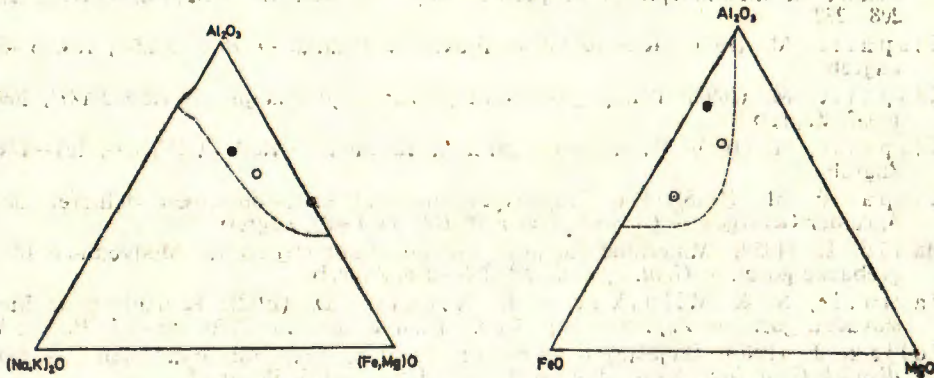
Radi poređenja u koloni 5 tabele I navedena je i analiza kloritoidnog škriljca iz Papuka.

Kemizam kloritoidnog škriljca iz Zagrebačke gore, kloritoida iz iste stijene, kao i za komparaciju kloritoidnog škriljca iz Papuka prikazani su u sl. 2 na dijagramima AFK i AFM. Kako se vidi, položaj figurativnih točaka u pojedinim dijagramima je takav da padaju u području koja odgovaraju područjima stabilneta odnosno kemizma kloritoidnih škriljca i kloritoida. Karakteristični su visoki odnosi Fe/Mg. To pokazuje da je pojava kloritoida, uz date P-T uvjete, uslovljena određenim specifičnim kemizmom stijene, što se je pokazalo i u našem slučaju.

Postoje relativno povoljne okolnosti za određivanje P-T uvjeta i stupnja metamorfizma kloritoidnih škriljca Zagrebačke gore. Kako je to već prikazano u preliminarnom radu o kloritoidnim škriljcima (Vragović i Majer, 1978), na temelju podataka iz Winklera (1976), Hoscheka (1967, 1969), Seidel i dr. (1975), Halfeldahla (1961), Chinnera (1967), Gangulya (1969) i dr., stabilitet kloritoida je u okviru niskog stupnja metamorfizma (niski T-metamorfizam), s rasponom stabilneta između 400°C i 550°C, no u slučaju prisutnosti klorita u paragenezi stabilitet je ograničen na raspon između 400°C i 450°C.

U kloritoidnim škriljcima Zagrebačke gore nema kritičkog minerala koji bi omogućivao istovremeno točnije određivanje pritiska, i ako se općenito znade da je većina kloritoidnih škriljca nastala uz relativno visoke pritiske. Sretna je okolnost da je Kišpatić u predjelu Puntjarke našao granatni filit i distenski filit. Povoljni položaj linije stabilneta odnosno faznog prelaza distena prema ostale dvije Al_2SiO_5 -faze (andaluzit i silimanit), omogućuju nam da utvrdimo da je minimalni pritisak u zoni metamorfizma kloritoidnih, granatskih i distenskih škrilja-

ca bio kod 4,5 do 5 kbara. Za analogne stijene na Kreti Seidel i dr (1975) odredili su pritisak od 7 kbara. Bilo bi zaista vrijedno pokušati detaljnije istražiti područje oko grebena Puntijarke, pronaći sve tipove metamorfnih stijena, i odrediti potpunije sliku metamorfizma. Do sada bar nismo očekivali u Zagrebačkoj gori metamorfizam tako visokog pritiska što nije bez značenja za geološku evoluciju, u prostoru u kojem se



Sl. 2. Kemizam kloritoidnog škriljca iz Papuka (●), kloritoidnog škriljca iz Zagrebačke gore (○) i kloritoida iz Zagrebačke gore (⊙) u dijagramima A F M i Al_2O_3 - $(Na, K)_2O$ - $(Fe, Mg)O$, s ucrtanom granicom stabiliteta kloritoidnih škriljaca.

gotovo dotiču metamorfni kompleksi sjeverne Hrvatske i sedimenti i magmatsko-sedimentni kompleksi kenozoika i mezozoika Unutrašnjih Dinarida.

Istraživanja prikazana u ovome radu pretežnim je dijelom financirao SIZ-III Republičke zajednice za znanstvena istraživanja SR Hrvatske, a pomogli su suradnici Geološkog zavoda u Zagrebu i Zavoda za mineralogiju, petrologiju i ekonomsku geologiju RGN-fakulteta u Zagrebu. Ona su istovremeno doprinos projektima br. 2/22 i 5 Internacionalnog geološkog korelacionog programa UNESCOa, koji se izvode u okviru jugoslavenskog komiteta za IGCP i jugoslavenske komisije za suradnju s UNESCOm.

LITERATURA

- Ashworth, J. P. & Chinner, G. A. (1978): Coexisting garnet and cordierite in migmatite from the Scottish Caledonide. — *Contrib. Mineral. Petrol.*, 65, 379—394.
- Barić, Lj. (1954): Biotitnokordijeritni škriljavac sa andaluzitom i silimanitom iz Jaske potoka u Moslavačkoj gori. — *Geologija*, 2, 145—167, Ljubljana.
- Chinner, G. A. (1967): Chloritoid, and the isochemical character of Barrow's zones. — *Journ. Petrology*, 8/2, 268—282.
- Cruickshank, R. D. & Ghent, E. D. (1978): Chloritoid-bearing pelitic rocks of the Horseshief creek group, Southeastern British Columbia. — *Contrib. Mineral. Petrol.*, 65, 333—339.
- Evans, B. W. (1977): Metamorphism of alpine peridotite and serpentinite. — *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 5, 397—447.
- Ganguly, J. (1969): Chloritoid stability and related parageneses: theory, experiments, and applications. — *Am. J. Sci.*, 267, 910—944.

- Halferdahl, L. B. (1961): Chloritoid: its composition, X-ray and optical properties, stability, and occurrence. — *Journ. Petrology*, 2, 49—135.
- Höck, V. (1974): Zur Metamorphose mesozoischer Metasedimente in den mittleren Hohen Tauern (Österreich). — *Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, 54/2—3, 567—593.
- Hoschek, G. (1967): Untersuchungen zum Stabilitätsbereich von Chloritoid und Staurolith. — *Contrib. Mineral. Petrol.*, 14, 123—162.
- Hoschek, G. (1969): The stability of staurolite and chloritoid and their significance in metamorphism of pelitic rocks. — *Contrib. Mineral. Petrol.*, 22, 208—232.
- Kišpatić, M. (1891): Kloritoidni škrljavac iz Psunja. — *Rad JAZU*, 104, 3—8, Zagreb.
- Kišpatić, M. (1892): Prilog geološkom proučavanju Psunja. — *Rad JAZU*, 109, 1—57, Zagreb.
- Kišpatić, M. (1913): Kristalinsko kamenje Kalnika. — *Rad JAZU*, 200, 161—174, Zagreb.
- Kišpatić, M. (1918): Die Eruptivgesteine und kristallinen Schiefer des Agramer Gebirges. — *Glasnik Hrv. Prir. Dr.*, 30, 1—23, Zagreb.
- Marić, L. (1959): Mineralne facije u metamorfnim stijenama Medvečnice (Zagrebačke gore). — *Geol. vjesnik*, 12, 205—218, Zagreb.
- Pavlović, S. & Milojković, R. Nikolić, D. (1972): Kordijerit iz Moslavačke gore. — *Zapisnici Srp. Geol. društva za 1968—1970*, 63—67, Beograd.
- Poljak, J. (1940): Izvještaj o terenskom radu na listu »Slatina-Voćina«. — *Godišnjak Geol. inst. Kralj. Jug., god. 1939*, II, 106—110, Beograd.
- Tučan, F. (1953): Nov prinos poznavanju kristalastih stijena Moslavačke gore. — *Spomenica M. Kišpatića, JAZU*, 39—83, Zagreb.
- Seidel, E. & Okrusch, M. (1975): Chloritoid-bearing metapelites associated with glaucophane rocks in Western Cretaceous, Greece. — *Contrib. Mineral. Petrol.*, 49, 105—115.
- Winkler, H. G. F. (1976): *Petrogenesis of metamorphic rocks*. 4th. Ed. — Springer Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 334 pp.

**Metamorphosed ultramafic rocks from Papuk Mountain,
cordierite rocks from Moslavačka mountain, and chloritoid-bearing
metapelites from Zagrebačka mountain, northern Yugoslavia**

M. Vragović and V. Majer

New finding of metamorphic rocks in the metamorphic complexes between Drava and Sava rivers in the transition region between Dinaride and Panonian basin are described, as well as additional data for another ones are given.

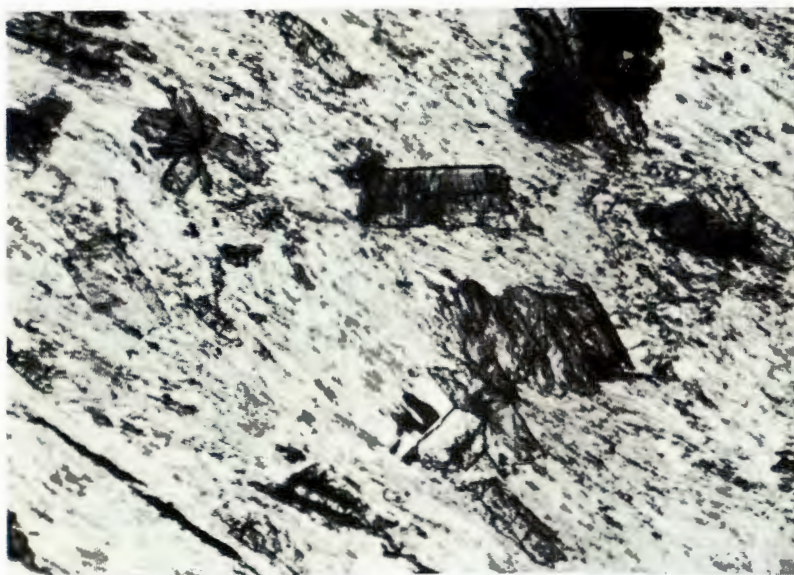
Ultramafic rocks from Papuk Mountain, associated with amphibolites, are enclosed in a gneissic serie. They are mostly represented by serpentinitised lherzolite and serpentinites. Lherzolite are pyroxene rich. Main metamorphic minerals are tremolite, antigorite and chlorite (grohauite), with minor talc. The temperature of metamorphism was by 500° to 550°C, and rocks belong to the »glaucophane — low greenschist« and »low eclogite — high greenschist« facies. Certainly, investigated metamorphised ultramafics differ by geological setting and petrological characteristics essentially from other ultramafics in the Jurassic ophiolite belt in Yugoslavia, and probably belong to one separate »north belt« ranging from Pohorje Mountain in Slovenia at west, to Fruška gora Mountain at east. Chemical analysis of one serpentinitized lherzolite is given in the table I, Nr. 1.

Cordierite-bearing metamorphic rocks are found on several localities in Moslavačka gora Mountain. All these rocks have mostly nonfoliated massive hornfelsic fabric, with dark color. They are high-Al metapelites. The main minerals, with significant variations in quantity, are cordierite, andalusite, sillimanite, garnet,

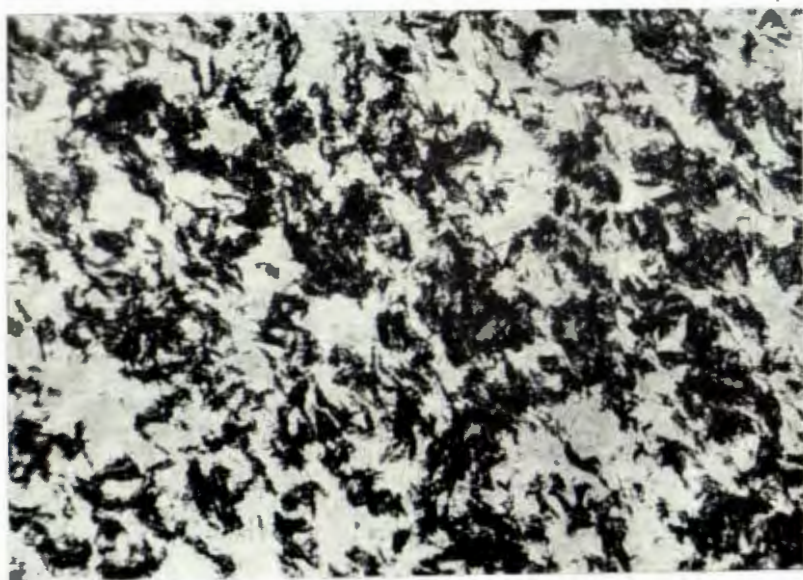
quartz, plagioclase, K-felspar and biotite. Two main groups of rocks exist, without K-felspar and with K-felspar, which belong to medium-grade and high-grade metamorphism. Based on experimentally determined isogrades, the rocks are metamorphosed by 600° to 650°C, and 3.5 to 5 kbar, as is visible graphically in the fig. 1. Chemical analysis of three cordierite rocks are cited in table I, Nr. 2, 3, and 4.

New locality of chloritoid-bearing metapelites are found in Zagrebačka gora Mountain. In the same area also garnet phyllite and kyanite-bearing quartzphyllite are reported. The association of these rocks with chloritoid, garnet and kyanite as «critical» minerals give clearly evidence for low-grade high pressure metamorphism. Chemical analysis of one chloritoid and chloritoid schist are given in table I, Nr. 5, 6, and 7, and also presented graphically in fig. 2.

Investigated metamorphic rocks give a new or additional fact for better knowledge of metamorphic complexes in northern Croatia, and also support a new view or model on evolution of transitional Dinarida-Panonian region.



1



2

Sl. 1 i 2. Kloritoidni škriljci iz Zagrebačke gore, dva različita tipa. N +, povećanje
cc 20 x.