

Kloritoidni škriljci u metamorfnim kompleksima u sjevernoj Hrvatskoj (Jugoslavija)

Mihovil VRAGOVIC i Vladimir MAJER

*Zavod za mineralogiju, petrologiju i ekonomsku geologiju,
Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta,
Pierotieva 6, 41000 Zagreb, Jugoslavija*

U metamorfnim kompleksima Slavonije ima na više mjesta pojava kloritoidnih škriljaca, a nađeni su i na Medvednici (Zagrebačkoj gori). U radu se opisuju rezultati preliminarnih istraživanja i ukazuje na značenje kloritoidnih škriljaca u tumačenju geneze metamorfnih stijena, odnosno uvjeta metamorfizma i evolucije metamorfnih kompleksa.

Kloritoid je jedan među mineralima metamorfnih stijena koji karakterizira određene uvjete metamorfizma, dakle određeni stupanj i karakter metamorfizma. Stoga se nalazima metamorfnih stijena s kloritoidom poklanja posebna pažnja.

U Jugoslaviji, prema objavljenim radovima, poznata su samo dva nalazišta kloritoidnih škriljaca; opisana su u radovima Kišpatića (1891, 1892, 1904). Jedna je pojava kloritoidnih škriljaca na sjevernom dijelu Psunja, a druga iz okoline Fojnice i Čemernice u Bosni. U opisanim stijenama iz tih nalazišta glavni su minerali bili muskovit i kloritoid u različitim omjerima odnosno količinama, pri čemu su neki varijeteti bili svijetle boje i bez grafita, neki tamni i s grafitom, a neki i s karbonatnim mineralima (sinderitom).

Novijim, veoma intenzivnim, istraživanjima metamorfnih kompleksa Slavonije, nađene su pojave kloritoidnih škriljaca, pored Psunja, i u Krndiji te duž južnih padina Papuka između Krndije i Papuka. Na Medvednici (Zagrebačkoj gori) u predjelu Puntijarke našao ih je B. Crnković, pa mu se zahvaljujemo na saopćenju i uzorcima. Detaljnija istraživanja kloritoidnih škriljaca s ovih novih lokaliteta su u toku, a ovdje ćemo kratko prikazati neke osnovne karakteristike kloritoidnih škriljaca Papuka i Medvednice (Zagrebačke gore) i ukazati na njihovo značenje za bolje razumijevanje i tumačenje problema metamorfizma i metamorfnih kompleksa u Slavoniji. Detaljnije je analiziran samo jedan kloritoidni škriljac s južnih padina Papuka sjeverno od sela Kaptola, odnosno sjeveroistočno od Velike.

Kloritoidni škriljci Papuka i Krndije su stijene predstavljene s više varijeteta; među ostalim upadljivo se razlikuju i po boji. Ima ih tamnih boja, gotovo crnih, a neki su svijetlijih ili posve svijetlih boja, zelenkastih do sivosrebrenastih. U svijetlijim varijetetima vide se tamnije pje-

gice koje najčešće predstavljaju porfiroblaste kloritoida. Razlike u boji rezultat su, uglavnom, prisutnosti i razlike u količini »bijelih tinjaca«, klorita i grafita. Te različite varijetete, upadljive i po boji, zapazio je već ranije Kišpatić (1892).

Među kloritoidnim škriljcima, koji su bili predmet preliminarnih istraživanja, ustanovljeni su ovi varijeteti:

Varijetet 1: Stijene skoro crne boje, sitnozrnate i na izgled veoma homogene. Škriljava tekstura slabije je izražena, no na piljenoj površini poprečno na foliaciju vidi se da ima i tanko trakastih do laminiranih stijena i s malim razlikama u nijansama između pojedinih traka ili lamina. Strukture su lepidoblastične porfiroblastične. Glavni su minerali, redoslijedom količina, »bijeli tinjci«, klorit, kloritoid, a akcesorni kvarc, feldspat, grafit i cirkon. Varijetetu 1 pripada i analizirani uzorak s područja sjeverno od Kaptola. Treba napomenuti da među varijeteta tipa 1 ima i subvarijeteta koji se razlikuju po znatno bolje izraženoj porfiroblastičnoj strukturi i po većem sadržaju kloritoida, koji kod nekih stijena doseže i do 50 vol. % stijene. Neki od tih subvarijeteta pokazuju jasne i jake znakove postkristalizacijske deformacije i mikrobranjanja.

Varijetet 2: Ovom varijetetu pripadaju kloritoidni škriljci svijetlijih boja i dobro izražene škriljave teksture. Strukture su lepidoblastične porfiroblastične. Glavni mineral u njima je »bijeli tinjac«, katkada i relativno krupnolističav, zatim kloritoid koji je katkada također relativno krupnozrnat i s jakim pleohroizmom (zelenkastožučkast-sivoljubičastoplavkast), te kvarc u veoma varijabilnim količinama. Klorita ima malo. Kloritoid je katkada folijativno orijentiran. Katkada se kod ovih stijena zapaža mikrobranjanje. Ovome varijetetu pripada npr. i kloritoidni škriljac s Medvednice (Zagrebačke gore).

Varijetet 3: Ove metamorfne stijene s kloritoidom bilo bi, možda, ispravnije nazvati tinjčevi škriljci s kloritoidom i tinjčasti metapješčenjaci. Naime, u stijenama ovoga tipa količina kloritoida najčešće je mala. Stijene su izrazito blastopsamitske do blastosiltitske strukture, izrazito folijativne, a katkada kataklastične i mikroflazer strukture. Nastale su iz glinovitih pješčenjaka i silita. Glavni su sastojci reliktni detritični kvarc sa slabijim ili jačim znakovima rubne rekristalizacije, zatim »bijeli tinjac« koji se razvija iz glinovitog matriksa, te akcesorni minerali. Samo u nekim blastosiltitima koji su očito ranije sadržavali veću ili pretežnu količinu minerala glina, ima i većih količina kloritoida. Stijene su, dakle, i sastavom i strukturom, pa i vanjštinom, jako varijabilne.

Nema sumnje da su svi kloritoidni škriljci, odnosno metamorfne stijene s kloritoidom koje smo navodili, nastale iz dviju vrsta stijena:

a) iz pelitskih, jako glinovitih, sedimenata, koji su pretrpjeli potpunu metamorfozu i u kojima se ne zapažaju nikakvi znakovi ili relikti, bilo minerala, bilo strukture ranijih sedimenata, izuzev tankih traka ili lamina. Ove su stijene u pravilu bogatije tinjcima, siromašnije kvarcom i relativno bogate kloritoidom.

b) iz pješčenjaka i silita, koji su sadržavali varijabilne količine glinovitog matriksa, i u kojima su zadržani neki relikti minerala i struktura ranijih sedimenata. Ove su stijene u pravilu bogatije kvarcom i relativno siromašnije tinjcima, kloritoidom i kloritom.

Treba istaći još jedan važni podatak: kloritoidi u svim stijenama, izuzev iz škriljaca u Medvednici (Zagrebačkoj gori), u mikroskopu su gotovo bezbojni, odnosno jedva zamjetljivog pleohroizma. To je vjerojatno zato što su relativno siromašniji željezom. Kloritoidi iz škriljaca iz Medvednice (Zagrebačke gore) su snažnog pleohroizma i vjerojatno su relativno bogati željezom. U predviđenoj detaljnijoj studiji tome će se fenomenu posvetiti posebna pažnja.

Navedeni detaljnije analizirani varijetet 1, koji potiče sa južnih padina Papuka sjeverno od Kaptola, je stijena skoro crna, sitnozrnata, neizrazite škriljave teksture, tankotrakasta do laminirana. Izmjenjuju se tanje tamnije trake ili lamine izgrađene pretežno od klorita, i debljine oko 0,1 do 2 mm, sa svjetlijim trakama koje su gotovo bez klorita i u kojima dominira »bijeli tinjac«. Struktura stijene je lepidoblastična porfiroblastična, s porfiroblastima kloritoida čiji prutići imaju dužinom oko 0,5 mm rjeđe do oko 1 mm, ali i do oko 0,1 mm. Glavni dio stijene čini »bijeli tinjac«, zatim klorit i kloritoid, a akcesorni su kvarc, grafit i cirkon. Rendgenski je determiniran i »feldspat« iz grupe kiselih plagioklasa.

Bijeli tinjac prema ocjeni čini oko 60 vol. % stijene i sitnih je dimenzija, manjih od 0,2 mm, a tek su rijetki listići nešto krupniji. Ne postoji neka pravilna prostorna orijentacija tih većih listića. Kloritoida ima oko 10 do 15% i razvijen je kao porfiroblast. Ima karakteristična fiziografska svojstva: izrazito je prutičasta habitusa, prutići su u mikroskopu jedva zamjetljive boje, i to blijedožučkastozelenkaste, i jedva zamjetljiva pleohroizma koji se očituje u gotovo nezatnoj promjeni nijanse. Ima karakteristične polisintetske sraslace, niski dvolom i sivkastoplavkaste interferencione boje. Prutići su najčešće udruženi u svežnjasto-lepezaste agregate, ali ima i prutića samaca. Sudeći po boji, kloritoid ima u svom sastavu vjerojatno manje trovalentna željeza. Ne zapaža se neka određena prostorna orijentacija prutića kloritoida, ali se jasno vidi da su oni koncentrirani većinom u određenim trakama u kojima istovremeno ima i više klorita. Klorit je smeđastozelenkaste boje i anomalnih interferencionih boja. Katkada dolazi i u žilicama koje sijeku stijenu.

Blasteza kloritoida vjerojatno je uslijedila u postkinematskoj fazi u uvjetima neizrazitog statičkog stresa.

Izrađena je kvantitativna kemijska analiza stijene i ona je dala ovaj rezultat:

SiO ₂	48,31%
TiO ₂	0,87
Al ₂ O ₃	32,57
Fe ₂ O ₃	2,69
FeO	3,40
MnO	0,13
MgO	0,78
CaO	0,17
Na ₂ O	3,02
K ₂ O	2,45
P ₂ O ₅	0,04
H ₂ O ⁺	4,79
H ₂ O ⁻	0,37
	<hr/>
	99,57

Nije moguće iz ove analize izračunati normativni sastav koji bi odgovarao modalnom, zbog nepoznatog kemizma klorita i kloritoida. No izračunavanje približne količine tinjaca dat će rezultat blizu vjerojatnosti, jer je sigurno da je gotovo sva količina alkalija sadržana u tinjcima. Iz prisutnosti relativno velike količine Na_2O , veće od K_2O , nema sumnje da je u stijeni prisutan i natrijski tinjac paragonit, premda neka manja količina natrijskog oksida može biti u kalijskom tinjcu, muskovitu ili fengitu. Zbog te neizvjesnosti i nazvali smo u stijeni prisutne bezbojne tinjce »bijeli tinjac, što će se u predviđenoj detaljnoj studiji riješiti preciznim rendgenskim ispitivanjima. No uza sve to, izračunamo li iz datih vrijednosti alkalija odgovarajuće idealne vrijednosti i formule za kalij i natrijski tinjac, dakle muskovit i paragonit, dobit ćemo oko 21 tež. % muskovita i oko 37 tež. % paragonita, ili ukupno 58% tinjaca, što se dobro slaže s procjenom.

Pokušamo li prikazati odnose pojedinih komponenata iz kemijske analize u trokutnim dijagramima koji se primjenjuju kod petrokemijskih analiza metamorfnih stijena, npr. AKF, AFM, zatim $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-FeO-MgO}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-(Na}_2\text{O+K}_2\text{O)-(FeO+MnO)}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-(FeO+MgO)}$, tada ćemo vidjeti da je položaj figurativnih točaka u pojedinim dijagramima takav da padaju u područja koja odgovaraju područjima stabilneta kloritoida i kloritoidnih škriljaca, određenih u eksperimentima ili analizama u prirodnim paragenezama (Hoschek, 1969). Karakterističan je također visok odnos Fe^{2+}/Mg . Kako se, za sada, radi samo o jednoj analizi, ti i takvi dijagrami bit će prikazani u predviđenoj detaljnijoj studiji s više analiza stijena i s analizama pojedinih minerala u njima.

Prema starijim podacima (npr. Tröger, 1967), kloritoid je mineral u metamorfnim stijenama nastalim iz pelitnih sedimenata bogatim aluminijem i željezom u »epizonalnim uvjetima«, pri čemu kloritoid dolazi u cijelom opsegu tog metamorfizma, od klorit-sericit-albit subfacijesa do albit-epidot-almandin subfacijesa. Prema Deeru i dr. (1966) kloritoid je relativno čest mineral i sastojak regionalno metamorfoziranih pelitskih sedimenata bogatih aluminijem i željezom, pri čemu dolazi najčešće kao mali porfiroblast. U takvim stijenama kristali kloritoida su bez reda, odnosno bez određene prostorne orijentacije, što ukazuje da tangencijalni stres (stres smicanja, »*shearing stress*«) općenito nije imao udjela u orijentaciji porfiroblasta kloritoida.

Prema Miyashiru (1973), kloritoid je karakterističan mineral visokoaluminijskih niskometamorfnih pelita, kao i za regionalni metamorfizam u zonama niske temperature i visokog pritiska, te za metamorfne sekvence Barrow-tipa ili kakve su u Švicarskim Alpama. No, koliko se do sada zna, on je stabilan u širokom rasponu pritiska. Prema Winkleru (1976) kloritoid je mineral karakterističan za nizak stupanj (»*low-grade*«) metamorfizma, no P-T uvjeti nastajanja i stabilneta kloritoida nisu još dovoljno tačno poznati. Pogoduju nastajanju sredine s visokim sadržajem aluminija i visokim odnosom Fe/Mg , te relativno mali sadržaji K, Na i Ca.

Istraživanja Hoscheka (1969) unijela su nešto veće sigurnosti u zaključivanju o rasponu stabilneta kloritoida. Iz njegovih teoretskih odnosno eksperimentalnih proučavanja, a i na temelju komparacija s prirodnim pojavama, kloritoid se stvara za vrijeme progresivnog metamorfizma stijena, u području niskih temperatura koje odgovaraju »grin-

šist« facijesu i to prema reakciji: klorit + Al-silikat (kaolinit, pirofilit) = kloritoid + kvarc + voda. Stabilitet kloritoida u različitim reakcijama i paragenezama je između 400° i 550° C. U slučaju da je u paragenezi prisutan klorit, kako je to i u našem slučaju, uvjeti stabiliteta odnosno postanka bliži su donjoj granici temperature, dakle oko 400° C.

U progradno metamorfoziranim pelitskim stijinama u Zapadnoj Kreti u Grčkoj, Seidel & Okrusch (1975) zaključili su da su kloritoidni škriljci, s glavnom paragenezom kvarc + »bijeli tinjac« + kloritoid + klorit, nastali kod temperature oko 400° C i pritiska oko 7 kbara. Evolutivne i P-T uvjete tog progresivnog metamorfoziranog kompleksa tumačili su na osnovi koncepcije tektonike ploča tako, da je za vrijeme brze subdukcije hladnog materijala kore najprije došlo do metamorfoze visokog pritiska i niske temperature, pri čemu je početni anomalno nizak geotermički gradijent od oko 12° C/km postepeno rastao kako su subsekventno rasle izoterme u tonućoj ploči litosfere i dostigao uvjete koji odgovaraju »grinšist« facijesu. Analogne pojave kloritoida u tzv. Camares formaciji na otoku Leros u Grčkoj opisali su Katagas & Sapountzis (1977), pri čemu je utvrđeno da se radi o jednoj progradno metamorfoziranoj seriji. Kloritoid se javlja kao sastojak u slabometamorfoziranoj seriji tinjčastih pješčenjaka i kglomerata u tipičnoj paragenezi kvarc + sericit + klorit, i to u onim dijelovima koji su bogatiji aluminijem. U članovima višeg stupnja metamorfizma u toj se seriji javlja staurolit i na kraju disten.

Zanimljiva je komparacija s kloritoidnim škriljcima u centralnom dijelu Visokih Tura (Hohe Tauern) u Austriji, koje je opisao Höck (1974). Među brojnim stijinama s kloritoidnom, a i s različitim paragenezama, ima i stijena gotovo identične parageneze (klorit + fengit + paragonit + kloritoid + kvarc) i gotovo identična kemizma kakav ima i naš kloritoidni škriljac (str. 573, stijena br. 112/70: SiO₂-48,3; Al₂O₃-32,0; Fe₂O₃-0,1; FeO-4,0; MgO-0,93; CaO-0,3; Na₂O-1,2; K₂O-4,0; H₂O-5,94. I Höck zaključuje da je temperatura metamorfizma u stijinama s kloritoidom bila znatno ispod 500° C, a pritisak ocjenjuje na 5 do 6 kbara.

Pokušamo li primijeniti navedene podatke iz literature na pojave kloritoida u škriljcima Medvednice (Zagrebačke gore) i u Slavoniji, onda bismo mogli zaključiti, s obzirom na dosadašnje poznavanje i na temelju novijih istraživanja petrografske građe metamorfnih kompleksa, da se vjerojatno radi o sličnim uvjetima metamorfizma i o sličnoj evoluciji metamorfnih kompleksa, tj. da se radi o metamorfizmu niskog stupnja, uz nisku temperaturu, ali relativno visoki pritisak. Kloritoidni škriljci Medvednice (Zagrebačke gore), Psunja, Papuka i Krndije ukazuju na jednu zonu niskog stupnja metamorfizma, koja ima pravac protezanja približno zapad-istok. Da li je taj metamorfizam polifazan ili ne, zasad je teško određeni je govoriti, ali je sigurno da je bar u pojedinim fazama metamorfizma dominirao i jak dinamski pritisak. Na to nas upućuju pojave kloritoida u metapješčenjacima, odnosno nepotpuno metamorfoziranim klastičnim sedimentima, pješčenjacima i silitima, pri čemu su u nekima razvijene izrazite kataklastične mikroflazer teksture i strukture. U građi metamorfnih kompleksa Krndije i Papuka utvrđene su i zone različitog progradnog i zatim retrogradnog metamorfizma, u rasponu od vrlo niskog do visokog stupnja metamorfizma. Za razgraničenje pojedinih zona progradnog i retrogradnog metamorfizma potrebna

je točna geografska lokacija kritičnih metamornih minerala i određivanje karakterističnih struktura. Time bi se omogućilo sigurnije određivanje tipova metamorfizma, geneze stijena i evolucije metamornih kompleksa u izuzetno važnom prostoru između rijeka Save i Drave, na prelazu između Dinarida u Panonski blok.

Na kraju možemo se upitati ne radi li se ovdje o dijelovima jednog metamornog kompleksa razvijenog za vrijeme neke subdukcije, koja je trajala duže vremena, a možda još i sada traje, te je u pojedinim fazama evolucije izazivala progradni i retrogradni metamorfizam i kod toga mijenjala svoj prostorni položaj. Često se navodi da subdukcione/obdukcione zone karakterizira pojava, pored metamorfizma visokog pritiska i niske temperature, i »ofiolitnih stijena«. U tom pogledu, nažalost, istraživanja gotovo i nema. Ipak, pojave serpentinita i peridotita poznate su na Kalniku, Psunju i Papuku, u tome prostoru ima i spilita, dijabaza i keratofira, dakle stijena koje dolaze u ofiolitnim zonama ili su njihovi dijelovi. Ne možemo pri ovim razmatranjima ispustiti iz vida i Frušku goru, u kojoj također ima serpentinita a i glaukofanskih stijena, dakle stijena posebno karakterističnih za metamorfizam niske temperature i visokog pritiska, koje se očigledno uključuju u metamorni kompleks na prelazu iz Dinarida i Panonske mase.

Intenzivna istraživanja metamornih kompleksa u Slavoniji koja su u toku i koja će se još izvoditi, kao i ona u Moslavačkoj gori, Medvednici (Zagrebačkoj gori) i Fruškoj gori dat će uskoro znatno ispravniju i moderniju sliku o strukturi, građi i evoluciji prostora o kojemu je riječ.

LITERATURA

- Bearth, P. (1963): Chloritoid und Paragonit aus der Ophiolit-Zone von Zermatt-Saas Fee. — *Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, 43, 269—286.
- Chinner, G. A. (1967): Chloritoid, and the isochemical character of Barrow's zone. — *J. Petrology*, 8, 268—282.
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman J. (1966): *An introduction to the rock-forming minerals*. — Longmans, Gree and Comp., London.
- Halferdahl, L. B. (1961): Chloritoid: its composition, X-ray and optical properties, stability and occurrence. — *J. Petrology*, 2, 49—135.
- Hoschek, G. (1967): Untersuchungen zum Stabilitätsbereich von Chloritoid und Staurolith. — *Contr. Min. Petr.*, 14, 123—162.
- Hoschek, G. (1969): The stability of staurolite and chloritoid and their significance in metamorphism of pelitic rocks. — *Contr. Min. Petr.*, 22, 208—232.
- Höck, V. (1974): Zur Metamorphose mesozoischer Metasedimente in den mittleren Hohen Tauern (Österreich). — *Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, 59/2—3, 567—593.
- Katagas, Ch. & Sapountzis, E. (1977): Petrochemistry of metasedimentary rocks from Leros island (Greece) and its effects on the appearance of chloritoid, stauroliten and kyanite. — *N. Jb. Min., Abh.*, 1977, 129/1, 100—112.
- Kišpatić, M. (1891): Kloritoidni škrljavec iz Psunja. — *Rad JAZU Zagreb*, 104, 3—8.
- Kišpatić, M. (1892): Prilog geološkom proučavanju Psunja. — *Rad JAZU Zagreb*, 109, 1—57.
- Kišpatić, M. (1904): Petrografske bilješke iz Bosne. — *Rad JAZU Zagreb*, 159, 39—66.
- Miyashiro, (1973): *Metamorphism and metamorphic belts*. — George Allen and Unwin Ltd., London,

- Seidel, E. & Okrusch, M. (1975): Chlorit-bearing metapelites associated with glaucophane rocks in Western Crete, Greece. — *Contr. Min. Petr.*, 49, 105—115.
- Träger, W., E. (1967): *Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale*. Teil II. — Schweizerbart'sche Verlagbuchhandlung, Stuttgart.
- Winkler, H. G. F. (1976): *Petrogenesis of metamorphic rocks*. — Springer Verlag, New York, Heidelberg, Berlin.

Istraživanja prikazana u ovom radu pretežnim je dijelom finansirao SIZ-III Republičke zajednice za znanstvena istraživanja SRH, a pomogli su i suradnici Geološkog zavoda u Zagrebu. Ona su istovremeno doprinos projektu br. 2/22 i br. 5 Internacionalnog geološkog korelacionog programa.

Chloritoid schists in the Metamorphic complexes in northern Croatia (Yugoslavia)

M. Vragović and V. Majer

In many places in the Zagrebačka gora mountain, Psunj mountain and Krndija mountain, in the area between Drava and Sava rivers very different varieties of chloritoid schists were discovered. Varieties 1 and 2 are respectively dark pale colored schists with a lepidoblastic porphyroblastic texture, finegrained, with »white mica«, chlorite and chloritoid as the main minerals. Variety 3 are meta-sandstones or metasiltites, with a clearly blastopsamitic or bearing metapelite and microflaser structure. One specimen of dark chloritoid — bearing metapelite was analysed, and the chemistry of the rock coincides with the *stability diagrammatic field and condition* as concluded by Hoschek (1969) and other researchers.

Chloritoid schists and other rocks of the metamorphic complex, in the area mentioned, probably indicated the existence of a subduction zone in the transition of Dinaride plate and Panonian block. The complete evolution of this geological event as well as the age, is yet not exactly known.

Manuscript received 3rd March 1978.