

## Aksesorni apatit iz srednjomiocenskih tufnih naslaga središnje Hrvatske i zapadne Slavonije

Rozalija MUTIC

*Geološki zavod, Sachsova 2, P. p. 283, YU — 41000 Zagreb*

U sastavu teške mineralne frakcije uzoraka iz tufnih naslaga osim cirkona pokazao se i apatit karakterističnim magmatogenim mineralom. Mikrovizuelnom metodom ispitana su njegova morfološka obilježja kao i njegova učestalost u mineralnom sastavu uzoraka. Brojne i raznovrsne inkluzije u tom apatitu uvjerljivo svjedoče o njegovu porijeklu iz magmatske taljevine. Koliko god taj apatit bio u vremenu zahvaćen trošenjem na njemu su još uvijek prepoznatljiva obilježja tog njegovog porijekla.

### UVOD

U asocijacijama teških mineralnih frakcija iz uzoraka srednjomiocenskih tufnih naslaga središnje Hrvatske i zapadne Slavonije osim cirkona pokazao se i apatit kao veoma značajan magmatogeni mineral. Premda se teške frakcije nekih uzoraka tih naslaga odlikuju značajnim koncentracijama tog apatita ipak su njegova morfološka obilježja znatno interesantnija od same koncentracije, pa makar se katkada radilo i o minimalnoj njegovoj učestalosti u mineralnom sastavu. To se u prvom redu odnosi na svježinu njegovih kristalića i polukristalića, na habitus i forme apatita, pleohroitičnu jezgru, zatim na izduženje apatita, a nadalje na raznovrsne i raznolike inkluzije u tom apatitu. Upravo o tom i takvom apatitu bit će govora u ovom prikazu.

Više od jednog stoljeća duga je povijest ispitivanja staklastih inkluzija u mineralima magmatskog porijekla. Početkom ovoga stoljeća sve se veća pažnja posvećuje ispitivanju forma staklastih inkluzija, šuplinama i prekidima rasta na magmatogenom kvarcu. Ispitivanja inkluzija u apatitu kasnijeg su datuma. Apatit je vrlo raširen mineral, dolazi u svim vrstama stijena, uglavnom je bezbojan, pa se upravo varijetet tamnog apatita ili apatita s pleohroitičnom jezgrom pokazao neobičnim i zbog toga postao je predmetom znanstvenih istraživanja.

Rastal & Wilcockson (1915, vidi Simpson, 1933, p. 375) prvi spominju i opisuju tamni apatit iz granita u području Cumberlanda, dok sam Simpson govori o inkluzijama apatita iz tog granita. Daljnje nalaze tog neobičnog apatita u granitima Irske i Welsa iznose Fleet & Smithson (1928). Autori smatraju da tamni apatit koji je utvrđen u starom crvenom pješčenjaku u području Cardiffa također potječe iz spomenutih granitnih stijena. — Groves & Mourant (1929) donose detaljnije opise apatita i inkluzija u apatitu iz granitnih stijena Normandije, Bretanje i Jerseyja. — Anikeeva (1965) pridaje aksesornom obojenom apatitu značajnu ulogu za upoznavanje geneze i za korelaciju među različitim tipovima magmatskih stijena karkaralinskog regiona u SSSR-u. Hoppe (1970) ističe kako je interes za obojeni aksesorni apatit izazvan prije svega tim

što je uočena njegova magmatska geneza i što se objašnjavanjem prirode pigmentacije može dobiti informacija o genezi stijena u ranijem stadiju kristalizacije.

Na osnovi forme i raspodjele akcesornog apatita, cirkona i sfena u magmatskim stijenama Moorhouse (1956) iznosi mišljenje kako te akcesorije kristaliziraju kasnije u stijenama i da njihov idomorfizam ne treba pripisivati ranijoj fazi kristalizacije u magmatskim stijenama. Igličaste (acicular) forme apatita, koje su Wyllie & al. (1962) uspjeli dobiti iz taljevine u sintetskom sistemu, dovela ih je na misao, da takve forme apatita, naročito ako imaju skeletaste oblike ili centralne inkluzije, kao u mnogim bazičnim stijenama, mogu biti vrijedan kriterij za njegov postanak iz tekuće faze. To se naročito odnosi na stijene čije je porijeklo sporno. — Mehnert (1963) se također posvećuje istraživanju forma, odnosno izduženju apatita u svrhu rješavanja geneze različitih tipova magmatskih stijena. Izduženje 15/1 autor pripisuje apatitu iz bazičnih stijena, a u granitima je to izduženje oko 5/1; u granitoidnim migmatitima izduženje apatita je još manje, oko 2—3/1. »Stoga su forme apatita — nastavlja autor — osobito prikladne da budu znak razlikovanja anateksita i migmatita« (p. 172). Kasnije, 1971. godine, isti autor ističe kako je forma apatita dovoljno evidentna karakteristika njegova načina porijekla, odnosno varijacije u izduženjima apatita često se uzimaju kao kriterij temperature njegova nastajanja. Igličasti apatit, smatra autor, jedino se pojavljuje u bazičnim i neutralnim stijenama, gdje se pretpostavljaju relativno visoke temperature u kojima takav apatit nastaje. Stupičasti kristali su karakteristični za kisele stijene takve kao granite. Apatit iz kasno-magmatskih stijena, kao npr. iz pegmatita i drugih stijena, općenito su kratki, kompaktni ili potpuno anhedralni.

Treće obilježje magmatogenog apatita koje je postalo predmetom intenzivnog istraživanja jesu inkluzije u tom apatitu. Ispitivanjem inkluzija u magmatogenim mineralima, pa tako i u apatitu — tih sićušnih hermetički zatvorenih i izoliranih submikroskopskih i mikroskopskih sistema i relikata iskonske magmatske taljevine — postižu se dragocjeni podaci o samoj toj taljevini. Na osnovi tih podataka donose se pretpostavke i zaključci o geokemiji, fizičko-kemijskim uvjetima, keminizmu, viskozitetu, uvjetima plićih i dubljih nivoa magmatske taljevine kao i o nizu drugih okolnosti u kojima su započeli kristalizaciju pojedini magmatski minerali. Također se vrijedni podaci u ovom pogledu postižu i metodom dobivanja sintetskih minerala. Brojna dragocjena dostignuća na području ispitivanja inkluzija govore nam i svjedoče o širokom znanstvenom i praktičnom interesu koji vlada na tom području. »Danas nema prepreka da ispitivanje inkluzija bude iscrpan izvor informacija o fizičko-hemijskim uslovima postanka rudnih ležišta, a time i veoma važna komponenta genetske osnove prospekcije, istraživanja i ocene ležišta mineralnih sirovina« (Blečić, 1976).

Kako se inkluzije u magmatogenim mineralima pojavljuju u tri faze: plinovitoj tekućoj i krutoj, to upravo zbog toga i zbog složenosti sastava svake od tih faza za sebnost i ne postoji neka univerzalna metoda za njihovo ispitivanje. Postoji teorijski i tehnički razrađeni niz različitih metoda koje se primjenjuju bilo pojedinačno ili kompleksno više njih. To je mikrovizuelno ispitivanje, metoda homogenizacije, dekrepitacije, kriometrijska metoda, zatim metoda ispitivanja sastava svake od faza, metode korištenja ležerskih uređaja, mikrosonde, elektronskog mikroskopa i još druge metode.

Iz niza postignutih rezultata o ispitivanjima inkluzija konkretno u apatitu donosimo tek neke od njih. Brojne inkluzije u apatitima karbonatita, stijene iz kompleksa Oka u Kanadi i utvrđen sastav plinske faze u tim inkluzijama Gerault & al. (1967) smatraju argumentom o magmatskom porijeklu karbonatita u tom kompleksu naslaga. — Sobolev & al. (1972) provode ispitivanja staklastih inkluzija u različitim mineralima među kojima i u apatitu, biotitu, amfibolima i nefelinu. — Karžavin & al. (1975) ispituju plinovito-tekuće inkluzije u apatitu iz bazičnih stijena Hibinskog masiva. Oni utvrđuju dva temperaturna područja maksimuma izdavanja plina: 400—600° i 800—1000°. U sastavu plinske faze ustanovili su ove komponente: H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> i S<sub>2</sub>. — Ispitivanjem elektronskom metodom izotropne do slabooizotropne staklaste inkluzije u kristalima apatita u ijolitu Usake u zapadnoj Keniji Le Bas & al. (1977) utvrdili su dvije različite iskonske magme u tim inkluzijama. Jedna je bogata kalijem, siromašna natrijem i prezasićena SiO<sub>2</sub>, a druga obratno, bogata natrijem, siromašna kalijem i nezasićena SiO<sub>2</sub>. U jednoj su inkluziji našli stakla obadva sastava, ali u stanju

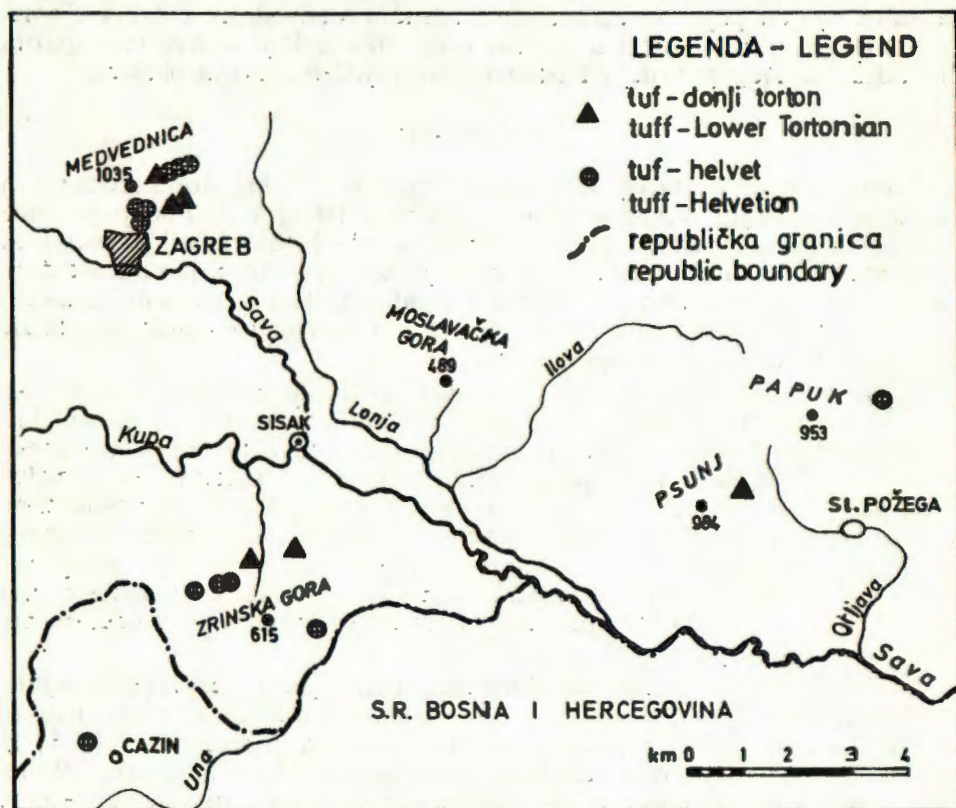
nemiješanja. Uzrok nemiješanja autori pripisuju halidima i Ca-fosfatu. — Bakumenko & al. (1977) iznose rezultate ispitivanja temperature, tlaka, geokemijskog sastava uklopaka u mineralima vulkanita raznog sastava od bazaltoidnog do kiselog.

Ima također podataka u literaturi i o staklastim inkluzijama u apatitu iz tufnih naslaga. Na njih se osvrću Sartori (1963), Civitelli & al. (1971), Mutić (1969, 1973, 1980), Krkalo & Mutić (1978) i Šušnjara & Ščavničar (1974).

#### MIKROVIZUELNO ISPITIVANJE

Ispitivanje morfoloških obilježja magmatogenog apatita vršeno je pomoću polarizacionog mikroskopa u preparatima teške mineralne frakcije uzoraka iz srednjomiocenskih tufnih naslaga u području Medvednice, Zrinske gore, Psunja, Papuka i jednog uzorka tufa iz graničnog područja SR Bosne i Hercegovine, zapadno od Cazina (sl. 1).

Ranije u kratkom historijskom osvrtu o obilježjima magmatogenog apatita bilo je riječi o primjeni izduženja apatita pri rješavanju geneze



Sl. 1. Pregledna karta  
Fig. 1. Location map

različitih magmatskih stijena. A kako se primjena izduženja magmatogenog cirkona iz istih tufnih naslaga i istog područja pokazala prikladnom u izdvajanju dviju distribucija njegovog porijekla (Mutić, 1981), to se mikrovizuelnim ispitivanjima apatita nastojalo također pokazati da se i taj apatit odlikuje tim istim svojstvom. U središtu tih ispitivanja osim izduženja apatita bile su i raznovrsne i raznolike inkluzije u njemu.

Svi podaci koji su dobiveni tim ispitivanjima, i to od svakog uzorka s njegovom oznakom i lokalitetom, uneseni su u tabelu I. Raspored kolona u toj tabeli kao i okupljanje uzoraka u skupinu A (mlađu vulkansku fazu u donjem tortonu) i skupinu B (stariju fazu u helvetskom razvoju naslaga) preuzeta je gotovo u cijelosti od ispitivanja magmatogenog cirkona iz tih istih uzoraka i istih lokaliteta (Mutić, 1981, tabele I i II). Ali je ipak u ovoj tabeli trebalo izvršiti neke izmjene, koje su bile uvjetovane učešćem apatita u mineralnom sastavu analiziranih uzoraka. U toj su tabeli, naime, izostavljeni uzorci iz područja Moslavačke gore upravo zbog minimalne pojave magmatogenog apatita u jednom i potpune odsutnosti tog apatita u drugom uzorku iz tog područja. Iz istog razloga eliminirani su pojedini uzorci i iz područja Medvednice i Zrinske gore, a namjesto njih su uzeti u analizu drugi uzorci koji sadrže više apatita također iz istog područja i istog odgovarajućeg razvoja naslaga.

#### Izduženje

Pomoću mikrometarokulara u polarizacionom mikroskopu izvršena su mjerenja duljine kristala apatita paralelno [001] i duljine poprečnog presjeka na taj smjer, i to u preparatima teških mineralnih frakcija na 18 uzoraka iz tufnih naslaga. Ukupno je izvršeno 905 mjerenja od čega se 269 odnose na apatit iz uzoraka mlađe (A) faze u donjotortonском razvoju tufnih naslaga, a 636 mjerenja izvršena su na apatitu iz starije (B) faze helvetskog razvoja naslaga.

Samo su cijeli kristali dolazili u obzir prilikom mjerenja njihove duljine i širine. No nisu pri tome bili brojčano zanemareni ni kršeni kristali apatita. Njihov je udio u mineralnom sastavu također evidentiran u 5. koloni tabele I. Velik je taj njihov udio u tom sastavu, tek je nešto niži od udjela cijelih individuuma. Nepotpuna kalavost, odnosno člankovito lučenje apatita paralelno (0001) veoma je često vidljivo u sastavu uzoraka. Nije rijetka pojava gdje je slomljeni dio apatita više manje pomaknut iz svog položaja, a katkada je posve odijeljen od matičnog zrna (sl. 4, br. 27—34). O kršenju apatita bit će još govora u slijedećem poglavlju o inkluzijama.

Veličine odnosâ izmjerenih duljina i širina apatita izražene su njihovim izduženjima. Ta su izduženja svrstavana u razrede ili klase, i to od 1.—8. razreda. Svaki je razred još podijeljen na podrazrede kako bi se dobila što ravnomjernija razdioba frekvencija izduženja apatita. Rezultati mjerenja, odnosno razdioba učestalosti izduženja apatita, unesena je u tabelu I.

Maksimalna frekvencija izduženja apatita u objema skupinama uzoraka nalazi se odmah na početku u prvom podrazredu prvog razreda, a zatim počinje opadati. U prvoj skupini uzoraka (A) nakon 4,4 razreda

Mutić: Akcesorni apatit...

Razdioba učestalosti izduženja kristala apatita i razdioba inkluzija u apatitu  
 Frequency distribution of apatite crystals elongations — distribution of inclusions in apatite

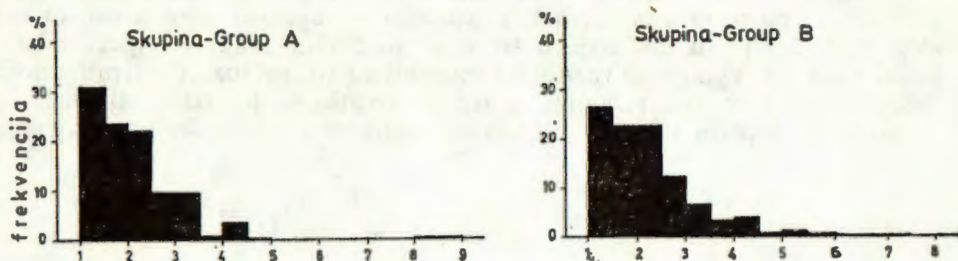
Tabela — Table I

Redni broj No. ord.	Mjesto Location	Uzorak Sample	Broj apatita No. apatites			Izduženje — Elongation <sup>1</sup>														Inkluzije — Inclusions <sup>2</sup>					Veličina apatita Size of apatite													
						1 <sup>3</sup>		2		3		4		5		6		7		8		bez inkluzija without inclusions	staklaste glassy	plinovite gaseous			mineral	pleokroična jezgra pleochroic core										
			cijeli whole	kršeni crushed	ukupno total	1,0—1,4 <sup>4</sup>	1,5—1,9	2,0—2,4	2,5—2,9	3,0—3,4	3,5—3,9	4,0—4,4	4,5—4,9	5,0—5,4	5,5—5,9	6,0—6,4	6,5—6,9	7,0—7,4	7,5—7,9	8,0—8,4	8,5—8,9				duljina length mm	širina width mm												
Skupina — Group A																																						
1.	Zrinska gora	9213/1	52	41	93	20	8	7	5	8	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	77	—	—	—	—	—	—	—	—			
2.	„	8403	44	33	77	13	8	15	3	3	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	67	—	—	—	—	—	—	—	—				
3.	Medvednica	2824	62	38	100	13	25	13	5	5	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	75	—	—	—	—	—	—	—	—				
4.	„	B-2	34	30	64	13	7	7	2	3	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26	31	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
5.	„	B-5	51	30	81	15	13	11	6	3	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
6.	Psunj	18	26	57	83	9	2	6	4	3	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
Suma			269	229	498	83	63	59	25	25	2	9	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1	86	380	2	7	23	—	—	—	—	—		
Skupina — Group B																																						
7.	Medvednica	T-12/3A	56	33	89	9	6	19	7	8	2	4	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	73	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
8.	„	T-5A	41	32	73	12	8	10	6	3	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	55	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
9.	„	T-9A	32	24	56	5	9	9	4	—	3	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	44	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
10.	„	147	37	50	87	12	15	5	2	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
11.	„	1825	67	38	105	16	8	14	11	4	3	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	87	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
12.	„	1827	56	52	108	14	18	12	3	1	3	3	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	88	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
13.	Zrinska gora	T-2	71	33	104	23	17	16	12	2	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25	77	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
14.	„	T-3	50	26	76	25	10	8	5	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	52	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
15.	„	T-4	65	36	101	23	16	14	7	3	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	33	64	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
16.	„	17987	67	38	105	12	11	20	9	7	2	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	84	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
17.	Papuk	256	57	43	100	7	16	8	7	10	2	4	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25	69	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
18.	Cazin	3309	37	47	84	11	8	7	4	4	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Suma			636	452	1088	169	142	142	77	44	20	26	4	7	2	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	207	828	11	14	28	—	—	—	—	—	—	—

<sup>1</sup> — kristali-crystals  
<sup>2</sup> — cijeli + kršeni kristali — whole + crushed crystals  
<sup>3</sup> — razred-class  
<sup>4</sup> — podrazred-subclass

vide se na tabeli I. samo još tri veća izduženja apatita. Od ukupnog broja dobivenih izduženja u toj skupini, njih 269, ta tri veća izduženja čine tek 1,1%. U drugoj skupini uzoraka (B) od sveukupnog broja mjerenih kristala (636) njih 16 pokazuje izduženje veće od izduženja 4,4 — a to je 2,5% od sveukupnog broja dobivenih izduženja te skupine.

Uspoređujući razdiobu učestalosti izduženja apatita u uzorcima obadviiju skupina uočuje se, da se uzorci skupine B odlikuju apatitom malo većeg izduženja od apatita iz uzoraka skupine A, mlađe vulkanske faze. To je također evidentno i na histogramu srednje razdiobe učestalosti izduženja apatita iz uzoraka skupine B, starije faze (sl. 2). Na tom je histogramu također bolje izražen kontinuitet opadanja učestalosti izduženja apatita. K tomu je još apatit iz starije (B) faze malo krupniji od apatita uzoraka mlađe faze, što se razabire iz intervala njihovih dimenzija na tabeli I. u zadnje dvije kolone. I dimenzije magmatogenog apatita u uzorcima iz miocenskih naslaga bušotine Pr. — 4, nedaleko Pregrade, uklapaju se u interval dimenzija ovoga apatita. Prosječna širina apatita iz te bušotine je 0,082 mm, a duljina 0,255 mm (Mutić, 1970, p. 234, tabla I.).



Sl. 2. Histogrami srednje razdiobe frekvencija izduženja apatita

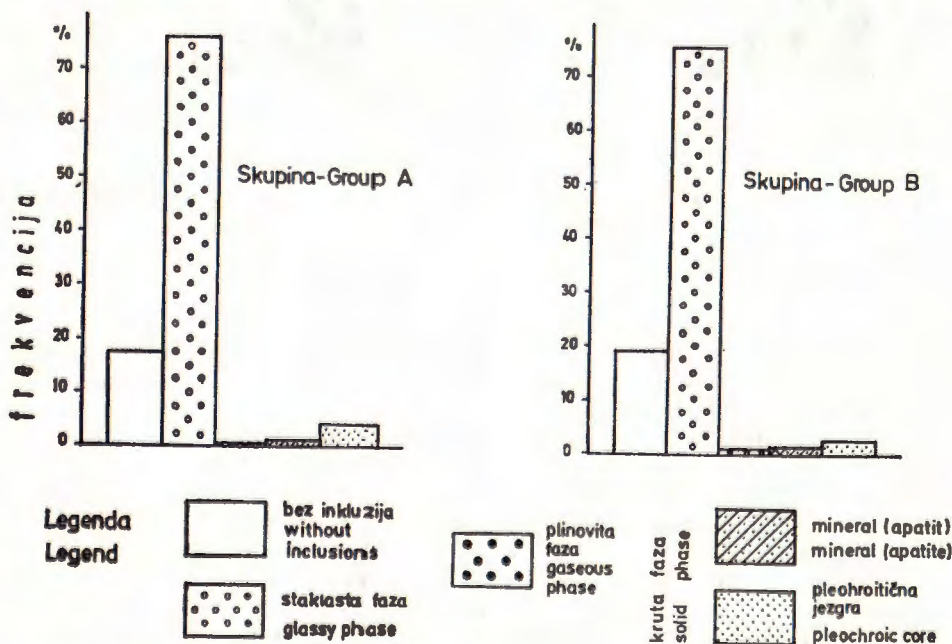
Fig. 2. Histograms of average distributions of frequency of elongations from apatite

Promatranjem ovih obilježja apatita iz uzoraka starije (helvet) i mlađe faze (donji torton) nije se uočila nikakva druga razlika nego tek ova mala tendencija opadanja veličine apatita i njegovog izduženja, i to od uzoraka starije faze prema uzorcima mlađe faze u razvoju tufnih naslaga. Ovi postignuti rezultati kod ispitivanja apatita u potpunosti su oprečni s rezultatima ispitivanja cirkona iz tih istih skupina uzoraka i iz istih naslaga. O razvoju cirkona neobičnog izduženja, kakav se pokazao u tim uzorcima, postoje u literaturi razna mišljenja i pretpostavke uvjeta i sastava magmatske taljevine u kojoj on kristalizira. Za varijacije u izduženjima apatita, kako napominje Mehnert, uzima se kao kriterij temperatura u kojoj mineral kristalizira. Ako relativno visokim temperaturama odgovara i veće izduženje apatita, tada bi vjerojatno ovim manjim izduženjima apatita u ispitivanim uzorcima odgovarali uvjeti najnižeg temperaturnog stadija magmatske taljevine u vremenu srednjomiocenske eksplozivne vulkanske aktivnosti u ovom području.

## Inkluzije

Paralelno s mjerenjima veličine apatita, određivanjem njegovog izduženja i učešća u sveukupnom mineralnom sastavu uzoraka, izvršena su i promatranja inkluzija u cjelokupnom broju apatita, tj. u njegovim cijelim i kršenim kristalima. Učestalost pojedinih vrsta inkluzija u apatitu također je brojčano iskazana na tabeli I, i to u kolonama desno od izduženja. Dobiveni brojčani podaci prikazani su također na histogramima kao njihove srednje razdiobe učestalosti u postocima, i to za apatit svake skupine uzoraka zasebno. U prvom stupcu svakoga histograma prikazana je srednja frekvencija apatita bez inkluzija, a zatim slijede srednje frekvencije pojedinih vrsta inkluzija u apatitu (sl. 3). Udio inkluzija u apatitu u obadviije skupine uzoraka vrlo je velik, predstavlja 4/5 od sveukupnog broja promatranog apatita. Na apatit bez inkluzija otpada tek 1/5. Obzirom na učestalost i vrstu pojedinih inkluzija, kao i na odsutnost inkluzija u apatitu, gotovo i nema nikakve razlike između uzoraka jedne i druge skupine, odnosno starije i mlađe faze eksplozivne vulkanske aktivnosti.

Promatranjem i ispitivanjem inkluzija i zatim uspoređivanjem tih podataka opažanja s podacima iz literature u apatitu iz ovih tufnih naslaga zastupane su inkluzije u tri faze: plinovita, staklasta (prvotno tekuća) i kruta. Veoma je raznolika raspodjela tih inkluzija u ispitivanom apatitu. Tako je npr. pojedini apatit obuhvatio samo jednu od tih faza, zatim ima apatita gdje su odvojeno zastupane dvije, dok su najrjeđe



Sl. 3. Histogrami srednje razdiobe frekvencija inkluzija u apatitu  
 Fig. 3. Histograms of average distributions of inclusions in apatite

pojave, gdje se u apatitu vide sve tri faze. Ima nadalje apatita koji je obuhvatio dvije faze u jednoj jedinoj inkluziji. Na grafičkom prikazu, slici 4, crtanjem iz mikroskopskih preparata teških frakcija prikazani su karakteristični primjeri inkluzija u apatitu, i to bez mjerila.

Plinovita je faza ponajčešće u inkluzijama predstavljena mjehurićem različitih forma. Ima ih i u vidu izduženih cjevčica, od kojih su neke malo savijene (sl. 4, br. 5, 7, 9), a katkada poput kapilarnih cjevčica slijede formu izduženja kristalića apatita. Redovito su te inkluzije dobro vidljive. Ponekad su one zasebno uložene u apatitu, a vide se i takvi primjeri, gdje je mjehurić plina uložen u staklo (sl. 4, br. 1, 2, 3).

Najobilnije i ujedno najraznoličnije su staklaste inkluzije u apatitu (sl. 4, br. 10—26). Zastupane su u formi sićušnih kapljica i iglica, često su šuplje poput mjehurića i cjevčica. Kapljica i mjehurića ima u svim dijelovima kristala, i to po jedan, dva, tri, pa i više njih. Forme su im katkada malo izvučene poput sićušne suze, tobolca, boce i slično. Veličine im variraju od veličine uboda igle pa sve do 0,011 mm. Primijećen je nadalje i apatit s inkluzijama poput krupnijih kapljica. Te su forme malo izdužene. Duljine im variraju između 0,060 i 0,45 mm, a širine od 0,030 do 0,045 mm. Prilikom poprečnog lučenja kristala i one su zahvaćene lomom, pa im katkada manjka jedan dio. Dok je staklo prije spomenutih sitnijih forma kapljica bistro, homogeno, ono je kod ovih većih forma pigmentirano, malo izmijenjeno, pa se tu i tamo među ukrštenim nikolima pojavi sićušni efekt anizotropije (sl. 4, br. 23, 24, 26).

I kod staklastih izduženih inkluzija u apatitu izražena je raznolikost u njihovom rasporedu, veličini, pa donekle i obliku. Ima ih u apatitu u svim njegovim dijelovima i redovito su paralelne s osi [001], i to jedna, dvije, tri pa i više njih. One koje se protežu cijelom duljinom apatita ponajčešće su na jednom ili obadva kraja prekinute i otvorene. Katkada se tu na krajevima proširuju poput lijevka. Duljine onih inkluzija koje su s oba kraja zatvorene kreću se u intervalu od 0,045 do 0,060 mm, a širine od 0,005 do 0,015 mm. Singenetski karakter inkluzija s apatitom istaknut je upravo rasporedom tih inkluzija u ravninama rasta kristala, što se donekle može pratiti dizanjem i spuštanjem tubusa mikroskopa. Isto se tako uz povećanje pod mikroskopom primjećuje da su veoma uske i ravne uzdužne pukotinice također staklaste inkluzije u apatitu.

Ponekad su staklaste inkluzije u apatitu izrazito plastične, izgledaju kao nabrekle izdužene mješince. I odnos indeksa loma stakla i apatita je kod njih veoma izrazit (Tabla I, br. 14). Zbog minerala domaćina nije gotovo nigdje bilo moguće među ukrštenim nikolima dobiti izotropno svojstvo stakla, tj. potpuno potamnjenje. Ali je zato bila sretna okolnost nalaza apatita u kojem je zbog poprečnog loma apatita, ili apatita koji je malo korodiran, ostalo sačuvano staklo gdje strši iz minerala (sl. 4, br. 19, 20, 21). To je staklo nižeg indeksa loma od indeksa loma kanadskog balzama, a među ukrštenim nikolima je tamno. Prema tome tu se zaista radi o staklu.

Na osnovi razlike u indeksu loma u apatitu br. 17 na slici 4 primijećena su u jednoj staklastoj inkluziji dva stakla. Nutarnje se staklo, prema pomicanju Beckeove linije, ističe višim indeksom loma od vanjskog stakla, ono je također malo pigmentirano. Vanjsko je staklo inkluzije naprotiv svježijeg izgleda, jednolično je. Sve to upućuje na to da je u



Slika 4. Inkluzije u apatitu iz uzoraka tufova skupine mlađe (A) i starije (B) faze Crtano iz mikroskopskih preparata teške frakcije uzoraka tufova. Nije u mjerilu.

(Fig. 4.) Inclusions in apatite from tuff samples of the younger (A) and older (B) phase.

Drawn from microscope preparations of the heavy fraction of tuff samples. Not in the scale.

### I. PLINOVITA FAZA — GASEOUS PHASE

- 1, 2, 3, 4 uzorak-Sample 1170, (B) — Zrinska gora.  
 8 uzorak-Sample 9213/1, (A) — Zrinska gora.  
 5, 6, 7, 9 uzorak-Sample 1825, 147, 1827, T—12/2A, (B) — Medvednica.

### II. STAKLASTA FAZA — GLASSY PHASE

- 10, 11, 12, 14, 15, 16 uzorak-Sample 1827 (2x), T—5A, T—12/3A (3x), (B) — Medvednica.  
 13 uzorak-Sample 17987, (B) — Zrinska gora.  
 19, 20 uzorak-Sample 17987, (B) — Zrinska gora. Staklasti izbojci u apatitu poput sićušnih »dimnjaka«. — Glassy funnel-like protrusions from apatite crystals.  
 21 uzorak-Sample 18, (A) — Psunj. Isto kao pod 19 i 20 — Same as 19 and 20.  
 23, 24, 26 uzorak-Sample 1827, (B) — Medvednica. Izmijenjeno staklo — Altered glass.  
 17, 18 uzorak-Sample T—12/3A, (B) — Medvednica. Dvije generacije stakla. — Two generations of glass.

### III. KRUTA FAZA — SOLID PHASE

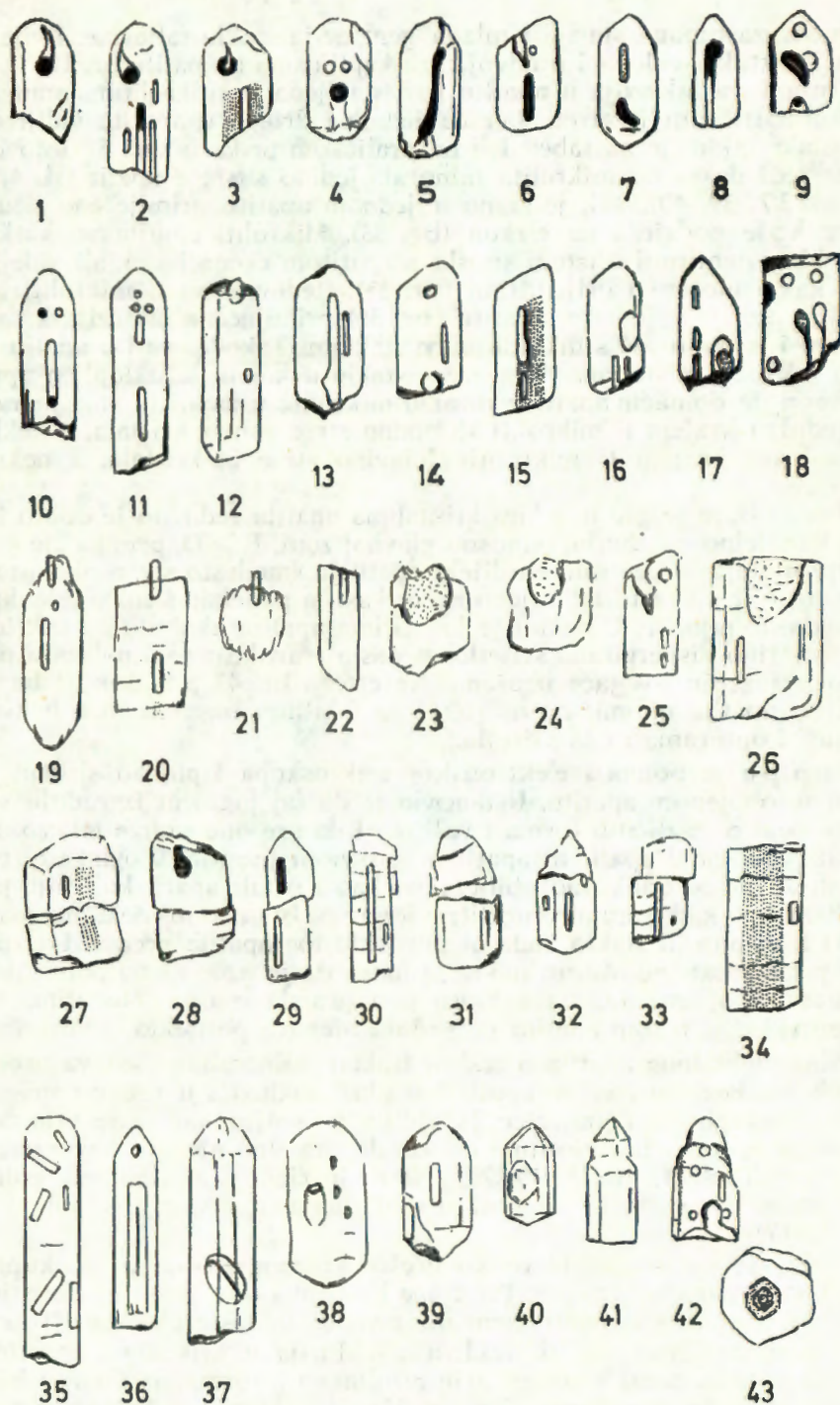
Pleohroitska jezgra — Pleochroic core

- 3 uzorak-Sample 1170, (B) — Zrinska gora.  
 15 uzorak-Sample T—12/3A, (B) — Medvednica.  
 27 uzorak-Sample B—2, (A) — Medvednica.  
 34 uzorak-Sample 256, (B) — Papuk.  
 43 uzorak-Sample T—4A, (B) — Medvednica. Bazalni presjek apatita okomit na os [001]. — Basal section of apatite perpendicular to the [001] axis.

Apatit u apatitu — Apatite in apatite

- 35 uzorak-Sample B—2, (A) — Medvednica.  
 36 uzorak-Sample 15187, (A) — Zrinska gora.  
 37, 40 uzorak-Sample 5070, (B) — Samoborska gora.  
 39 uzorak-Sample 256, (B) — Papuk.  
 38 uzorak-Sample 1170, (B) — Zrinska gora. Cirkon (?) u apatitu. — Zircon (?) in apatite.  
 27—34 Apatit s poprečnim lučenjem. — Apatite with parting perpendicular to the [001] axis.  
 41, 42 Apatit sa sekundarnim rastom. — Apatite with secondary growth.

Crtao (drawn by) Stj. Zvonarić



Sl. — Fig. 4.

inkluziji zastupana starija i mlađa generacija stakla taljevine. Dvije generacije stakla vide se i u odvojenim kapljicama u apatitu br. 18.

Kruta faza inkluzija u apatitu predstavljena je mikrolitima minerala i pleohroitičnom jezgrom. Učešće jednih i drugih u apatitu vidljivo je uz ostale inkluzije na tabeli I. i na grafičkom prikazu slici 3. Gotovo se može reći da se od mikrolita minerala jedino susreće apatit (sl. 4, br. 35, 36, 37, 39, 40). Tek je samo u jednom apatitu primijećeno sićušno zrnce koje podsjeća na cirkon (br. 38). Mikroliti apatita su katkada optički orijentirani u istom smislu s apatitom domaćinom, ali vide se i bilo kako uloženi i orijentirani (br. 35). Redovito su ti mikroliti idiomorfni, tek je u jednom apatitu (br. 36) primijećena inkluzija kršenog apatita i k tomu još s inkludiranim staklom. Također su i u apatitu br. 37 u inkluziji zastupane dvije faze: staklo u kojem je uklopljen apatit. Katkada je domaćin-apatit prihvatio mikrolite u zadnjem stadiju rasta, pa jednim krajem ti mikroliti slobodno strše van iz kristala, a neki su pa jednim krajem ti mikroliti slobodno strše iz kristala, a neki su (br. 7).

Pleohroizam jezgre u nekim kristalima apatita redovito je dobro izražen. Paralelno izduženju, odnosno glavnoj zoni,  $E > O$ , primjećuje se jača apsorpcija: u centralnom dijelu apatit je smeđasto siv, a okomito na taj smjer je sivkastožadimljeno modrikast, a ponekad s malo zelenkaste i smeđaste nijanse. U nekim je kristalima apatita okomito na izduženje vidljiva fino dispergirana svijetlosmeđasta tvar, koja je u položaju paralelno izduženju još jače izražena. Na crtežu br. 43 prikazan je bazalni presjek apatita okomit na os [001] sa sićušnim pigmentom u heksagonalnim konturama rasta kristala.

Hoppe je pomoću elektronskog mikroskopa ispitivao sićušni pigment u obojenom apatitu. Ustanovio je da taj pigment izgrađuju sitne krute čestice različitih forma i veličina i da sve one sadrže željezo. Kad se takav obojeni apatit ili apatit s obojenom jezgrom u ovim uzorcima iz tufova ne bi odlikovao obilježjima kao i ostali apatit koji nije pleohroitičan, ili kad osim pleohroitične jezgre ne bi imao još neki magmatski relikv kao plin ili staklo, tada bi porijeklo tog apatita prema Hoppeu bilo problematično. Autor, naime, smatra da je neophodno odbaciti pripadnost obojenog apatita jednom petrografskom tipu. Međutim, staklaste inkluzije u tom apatitu potvrđuju njegovo porijeklo iz taljevine.

Osim slobodnog apatita u teškoj frakciji mineralnog sastava uzoraka tufnih naslaga susreće se apatit i u ulozi inkluzija u drugim magmatskim mineralima. Ponajčešće je vidljiv u biotitu, no tu je vrlo često ispao, a u domaćinu biotitu su zaostale pravilne njegove heksagonalne konture (Tabla I, br. 18, 19, 20). Nešto je rjeđi u amfibolima, gdje se vidi kako takav apatit već nosi u sebi staklastu inkluziju (Tabla I, br. 15, 16, 17).

Ranije je već istaknuto veliko učešće kršenog apatita u sveukupnom broju promatranog apatita. Pri tome kršenju i odvajanju dijelova istog kristala nisu mogle ostati sačuvane brojne staklaste cjevčice i iglice.

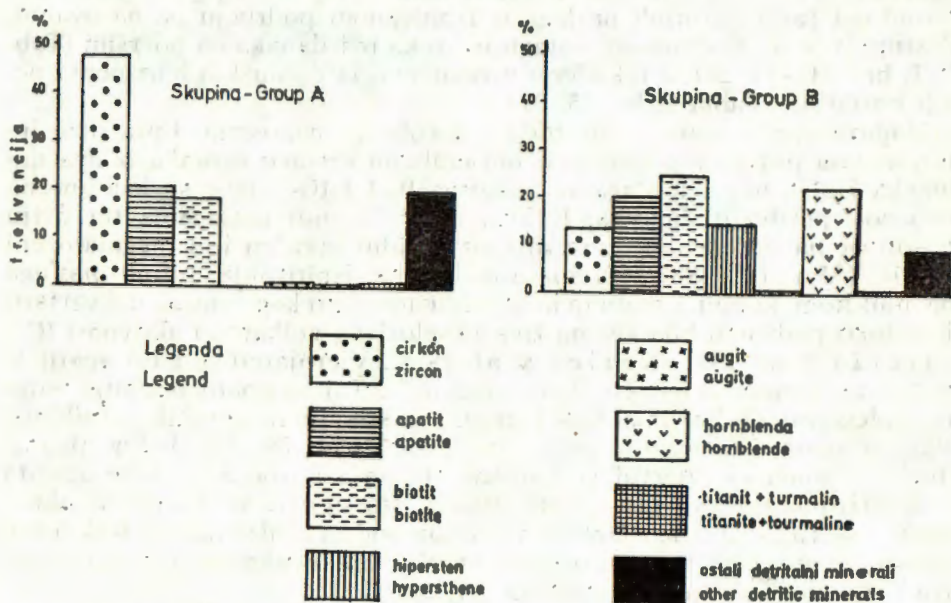
U termooptičkoj studiji staklastih inkluzija u kristalima eruptivnog kvarca između ostalih postignutih rezultata i informacija Clocchiatti (1974) ističe mogućnost uloge staklastih inkluzija u kršenju kristala kvarca. Postepenim povišenjem temperature dolazi do dilatacije stakla

u inkluziji što izaziva pucanje kvarca na kontaktu s inkluzijom u čije se pukotinice ponajprije injektiraju volatilni elementi stakla, a zatim i samo rastaljeno staklo. Razaranje (dekrepitacija) inkluzija i lom kristala kvarca prouzrokuje, kako Clocchiatti smatra, akumulirana energija u kvarcu — zbog obilja fluida u staklu inkluzija — a koja se stvorila maločas ili u trenutku oslobađanja ili eksplozije vulkanita. Vjerojatno je na isti način kršenje i lom apatita uvjetovan razaranjem brojnih staklastih inkluzija, a što je moglo biti potpomognuto i lakoćom poprečnog lučenja apatita.

#### APATIT U MINERALNOM SASTAVU UZORAKA TUFNIH NASLAGA

Mineralni je sastav teških frakcija uzoraka određivan prilikom ranijih ispitivanja ovih tufnih naslaga. Da ne bi došlo do ponavljanja u ovome je radu donesen na grafičkom prikazu samo srednji sastav minerala teških frakcija, i to odvojeno za svaku skupinu uzoraka (sl. 5). Magmatogene mineralne komponente prikazane su pojedinačno, dok su detritalni sastojci obuhvaćeni jednim stupcem u histogramima. Unatoč nejednakom broju analiziranih uzoraka jedne i druge skupine, srednje je učešće apatita u obadviije skupine gotovo podjednako.

Magmatogeni apatit u mineralnom sastavu uzoraka veoma je svjež, bezbojan je. To su izduljeni kristalići prizmatskog habitusa, zatim kršeni kristalići, rjeđe njihove nepravilne krhotinice. Rijetko je zastupljen kratkoprizmatski apatit, a još rjeđe apatit pločast po {0001}. Obil-



Sl. 5. Srednji sastav minerala teških frakcija tufova

Fig. 5. Average composition of heavy mineral fractions from tuffs

niji je u sastavu apatit na kojem su razvijene ili su pak ostale sačuvane terminalne plohe samo na jednom kraju, negoli apatit s terminalnim ploham na oba kraja. Zbog veoma malih dimenzija apatita često je bilo teško odlučiti se bilo za apatit kojemu manjkaju terminalne plohe zbog poprečnog lučenja, bilo za apatit na kojem nisu te plohe uopće bile razvijene. Apatit se u ovim uzorcima naročito odlikuje dobro razvijenim prizmatskim ploham. Najčešće su na apatitu zastupane forme  $a\{1010\}$  i  $x\{1011\}$ , rjeđe se vidi  $c\{0001\}$ . Plohe apatita su ponajčešće ravne i glatke. Ljušturast izgled prizmatskih ploha tek je tu i tamo primijećen, a i to na nekim krupnijim individuima. To je vjerojatno učinak korozije taljevine, kao što se toj aktivnosti pripisuje i zaobljenost uglova i bridova ponekih kristalića.

#### MAGMATOGENI APATIT U DETRITUSU KLASTIČNIH NASLAGA

Magmatogeni se apatit gotovo redovito i lako prepoznaje u mineralnom sastavu detritusa neke klastične naslage. Makar koliko taj apatit nošenjem i prerađivanjem poprimio detritalan izgled, kao zaobljenost ili više manje fibroznu strukturu, u njemu su još uvijek vidljive sićušne cjevčice, rjeđe mjehurići. Cjevčice su ponajčešće otvorene na oba kraja apatita i prazne su. Katkada su te inkluzije, cjevčice i mjehurići, uložene u slabu, jedva vidljivu pleohroitsku jezgru apatita.

Taj detritični apatit nije tako čest u sastavu akcesornih teških minerala neke terigene klastične naslage. On je u pravom smislu akcesoran i ponajčešće je zastupan s jednim, dva, rijetko s više zrna. Ima ga u sukcesiji svih stratigrafskih članova mlađih od srednjeg miocena, odnosno od razvoja tufnih naslaga u ispitivanom području pa na ovamo. Zastupan je u mineralnom sastavu uzoraka iz izdanaka na površini (Tabla I, br. 21—24, 26), a također i u uzorcima iz dubinskih horizonata nekih bušotina (Tabla I, br. 25, 27).

Magmatogeni apatit je utvrđen i u eolskim nanosima. Upravo je interesantna pojava tog apatita u mineralnom sastavu uzoraka iz dva dubinska horizonta u naslagama bušotina IG-1 i IG-3, koje su locirane na istočnoj periferiji Zagreba. U kvartarnim lesnim naslagama tih dviju bušotina na određenim dubinama uz sanidin utvrđen je i magmatogeni apatit (Mutić, 1981). Prema rezultatima ispitivanja tufnih naslaga na italskom kopnu i podmorju između tog i grčkog kopna, u kvartaru je u tom području bila veoma živa eksplozivna vulkanska aktivnost (Civitelli & al. 1971; Keller & al. 1978). Vjerojatno je i taj apatit iz bušotina donesen vjetrom iz tog područja. Taj se apatit odlikuje istim morfološkim obilježjima kao i apatit iz srednjomiocenskih tufnih naslaga u ovom ispitivanom području (Tabla I, br. 28—34). Jedino ih razdvaja vremenski interval vulkanskih zbivanja i izbočane plohe apatita iz lesnih naslaga kvartara u bušotinama, što su očiti učinci eolske aktivnosti. — Tako će u iznalaženju izvornog područja detritalnih teških minerala s pojavom magmatogenog apatita biti evidentno i njegovo porijeklo, odnosno njegova matična stijena.

Analizom prozirnih teških minerala Zimmermanle (1970) je pokazao, da se biotit, cirkon i apatit iz različitih granitnih stijena razlikuje po svojim kristalografskim obilježjima i inkluzijama u tim mineralima.

## ZAKLJUČAK

Mikrovizuelnom metodom pomoću polarizacionog mikroskopa u preparatima teške mineralne frakcije ispitana su morfološka obilježja i određeno učešće apatita u mineralnom sastavu uzoraka tufnih naslaga središnje Hrvatske i zapadne Slavonije.

Od sveukupnog broja promatranog apatita — 1.586 — na stariju (B) fazu eksplozivne vulkanske aktivnosti u razvoju naslaga helveta odnosi se 1.088 kristalića i polukristalića apatita, a ostatak, njih 498, odgovara mlađoj (A) fazi, tj. razvoju tufnih naslaga u donjem tortonu.

Kod određivanja izduženja apatita uzeti su u obzir samo cijeli kristalići, njih 905. Razdioba frekvencija izduženja apatita u skupinama uzoraka A i B (mlađa i starija faza) pokazala se — uz vrlo male razlike — gotovo ujednačenom za razliku od razdiobe frekvencija izduženja cirkona iz tih istih naslaga. Kako je prema Mehnertu izduženje apatita ovisno o temperaturi u kojoj apatit nastaje, to apatit s ovim malim postignutim izduženjima vjerojatno upućuje na najniži temperaturni stadij magmatske taljevine u vremenu ove srednjomiocenske vulkanske aktivnosti u tom području. Stupičasti su kristalići prema istom autoru karakteristični za kisele stijene, takve kao granite, te bi i ispitivani apatit prema tome odgovarao takvom sastavu magmatske taljevine.

Promatranjem inkluzija, te najkarakterističnije pojave u ispitivanom apatitu iz ovih tufnih naslaga, obuhvaćeni su cijeli i kršeni kristalići, njih ukupno 1.586. Upravo zbog tog velikog broja promatranih individualuma došlo je do izražaja mnoštvo i raznolikost uklopaka uopće. Zastupane su inkluzije u tri faze: plinovitoj, staklastoj (prvotno tekućoj) i krutoj. Najobilnije su staklaste inkluzije u apatitu. Mnoge su njihove forme ispunjene staklom, ali zbog kršenja apatita također je velik broj i onih koje su otvorene i prazne. Zbog sretnog nalaza cjevastih staklastih inkluzija, koje poput sićušnih »dimnjaka« strše iz apatita, bilo je moguće na njima utvrditi da je indeks loma stakla niži od indeksa loma kanadskog balzama i ujedno ustanoviti optički izotropni karakter stakla, što inače nije bilo moguće postići na staklu uklopljenom u domaćinu-apatitu. Također su na osnovi pomicanja Beckeove linije utvrđene u jednoj inkluziji u apatitu dva sastava stakla. Ima i zasebnih staklastih inkluzija u apatitu koje svojim smještajem u njemu i izgledu stakla također predstavljaju dvije generacije stakla (sl. 4, br. 18). Starijoj generaciji odgovara staklo koje je vrlo blizu centru ili je u samom centru kristala. To je staklo malo izmijenjeno, devitrificirano, pa među ukrštenim nikolima pokazuje sićušne i veoma slabe anizotropne efekte. Drugo je staklo bliže periferiji kristala. Ono je homogeno i bistro, pa se pretpostavlja da odgovara mlađoj generaciji stakla.

Krutu fazu inkluzija u apatitu čine mikroliti apatita i fino dispergirana tvar u njegovoj jezgri. Apatit u apatitu — dakle dvije generacije minerala, a na nekim su individuima sekundarnim rastom predstavljene i tri generacije apatita. Pleohroitska je jezgra apatita paralelno njegovom izduženju vidljiva kao fino dispergirana svijetlosmeđasta tvar. Okomito na taj smjer jezgra je sivkastomodrikasta s vrlo malo zelenkaste katkada smeđaste nijanse.

I sam je apatit u sveukupnom mineralnom sastavu uzoraka katkada poprimio ulogu inkluzije. Vrlo je čest u biotitu, rjeđi je u amfibolima. Ponekad je taj apatit u ulozu inkluzije već ponio sa sobom inkludirano staklo.

Učešće apatita u mineralnom sastavu uzoraka u odnosu na ostale magmatogene mineralne komponente u obje skupine uzoraka, A i B, gotovo je podjednako. Tako i ti rezultati o učešću apatita uz ranije opisana njegova obilježja upotpunjuju prikaz neizmijenjenog magmatogenog apatita u sastavu starije i mlađe faze u razvoju istraživanih tufnih naslaga. No zato su njegove inkluzije — ti relikti iskonske taljevine — nosioci heterogenosti uvjeta u formiranju takvog apatita i svjedoci su njegovog porijekla iz magmatske taljevine.

Analogno mišljenju do kojeg je termooptičkim studijem došao C l o c h i a t t i da je, naime, lom kristala eruptivnog kvarca uvjetovan razaranjem (dekrepitacijom) inkluzija u njemu, vjerojatno su inkluzije tu istu ulogu imale i u procesu kršenja kristala apatita. Autor, naime, smatra da do razaranja inkluzija i potom loma kristala domaćina dolazi zbog akumulirane energije u mineralu — uvjetovanu obiljem fluida u staklu — a koja se stvorila maločas ili u trenutku vulkanske eksplozije. S tog istog aspekta je onda vjerojatno razumljiva i pojava velikog broja kršenog cirkona u sastavu uzoraka tih istih tufnih naslaga (M u t i ć, 1981).

Makar koliko magmatogeni apatit nošenjem i prerađivanjem poprimio detritalan izgled, kao zaobljenost i više manje fibroznú građu, na njemu su još uvijek prepoznatljiva obilježja tog njegovog porijekla. Tako će prisutnošću tog apatita u asocijaciji teških detritalnih minerala nekog sedimenta biti definirana, između ostalih, i njegova matična stijena u litološkom sklopu izvornog područja tih minerala.

Primljeno 25. 05. 1981.

#### LITERATURA

- A n i k e e v a, N. F. (1965): Značenje akcessornog apatita v izučení verhnepaleozoi-skoj vulkanogennoi formaciji Karkaralinskogo raiona. — Akcessornie minerali i elementi, NAUKA, 185—191, Moskva.
- B a k u m e n k o, I. T., P o p o v a, N. M., K r a s s o v, N. F. & Š u g u r o v a, N. A. (1976): Izučenje processov vulkanizma po vključenijam. — Genet. issled. v mineralogiji, 75—85, Novosibirsk.
- B l e č i ć, N. (1976): Metode ispitivanja inkluzija rudnih rastvora (Rezultati i dalje mogućnosti). — Savetovanje, Nove metode geoloških istraživanja i oprema JKLMS, 341—353, Opatija.
- C i v i t e l l i, G., F u n i c i e l l o, R., M u t i ć, R. & R a f f a e l l i, P. (1971): Indagine sedimentologica e mineralogica su alcune sabbie pleistoceniche carotate nella pianura Pontina. — *Geol. Rom.*, X, 77—92, Roma.
- C l o c h i a t t i, R. (1974): Le inclusioni vetrose o relitti magmatici nei cristalli di Quarzo di origine eruttiva. Descrizione morfologica, composizione chimica, termometria e applicazione geologiche. — *Rend. Soc. ital. Min. Petr.*, XXX, 353—372, Milano.
- F l e e t, W. F. & S m i t h s o n, F. (1928): On the occurrence of dark apatite in some British rocks. — *Geol. Mag.*, 65, 6—8.

- Girault, J. & Chaigneau, M. (1967): Sur les inclusions fluides presentes dans les cristaux d'apatite des roches de la region d'Oka (Canada). — *C. r. Acad. sci.*, 4, 529—532.
- Groves, A. W. & Mourant, A. E. (1929): Inclusions in the apatites of some igneous rocks. — *Mineral. Mag.*, 22, p. 92.
- Hoppe, G. (1970): Zum Problem der pigmentierten akzessorischen Apatite. — *Ber. Dtsch. Ges. geol. Wiss.*, 15, 1, 33—54.
- Karžavin, V. B., Dudkin, B. A. & Pripačkin, B. A. (1975): Gasovaja faza nekotarih prirodnih obrascov apatita. — *Dokl. AN. SSSR*, 222, 942—945.
- Keller, J., Ryan, W. B. F., Ninkovich, D. & Altherr, R. (1978): Explosive volcanic activity in the Mediterranean over the past 200.000 yr as recorded in deepsea sediments. — *Geol. Soc. Am. Bull.*, 89, 591—604.
- Kraus, G. (1963): Das Apatit-Zirkon-Gefüge in den Wirtmineralen Hornblende und Biotit effusiver und »granitischer« Gesteine. — *Tschermaks Mineral. Petrol. Mitt.*, 8, 335—360.
- Krkalo, E. & Mutić, R. (1978): Tufovi u naslagama donjeg tortona u području Nježica kod Slavenske Požege. — *Geol. vjesnik*, 30/2, 341—350, Zagreb.
- Le Bas, J., Aspden, J. & Woolly, A. R. (1977): Contrasting sodic and potassic glassy inclusions in apatite crystals from an ijolite. — *J. Petrol.*, 18, 247—262.
- Mehnert, K. R. (1963): Petrographie und Abfolge der Granitisation im Schwarzwald. — *Neues Jahrb. Mineral*, 4, 99, 161—199, Stuttgart.
- Mehnert, K. R. (1971): Migmatites and the origin of granitic rocks. — 2nd Ed., Elsevier, 1—405, Amsterdam—London—New York.
- Moorhouse, W. W. (1956): The paragenesis of the accessory minerals. — *Econ. Geol.*, 51, 248—262.
- Mutić, R. (1969): Neogenska magmatska aktivnost na jugoistočnim obroncima Medvednice (Zagrebačke gore). — *Geol. vjesnik*, 22, 423—438, Zagreb.
- Mutić, R. (1970): Petrografska i sedimentološka ispitivanja ugljenosnog područja Pregrade (Hrvatsko zagorje). — *Geol. vjesnik*, 23, 219—240, Zagreb.
- Mutić, R. (1973): Tufovi u neogenskim naslagama na sjevernim obroncima Medvednice (Zagrebačke gore). — *Geol. vjesnik*, 25, 227—235, Zagreb.
- Mutić, R. (1980): Tufovi u donjohelvetskim naslagama u području Brestika i Bojne (Banija, Hrvatska). — *Geol. vjesnik*, 31, 253—266, Zagreb.
- Mutić, R. (1981): Teški minerali u miocenskim naslagama sjeverozapadnog područja Hrvatskog zagorja. — *Geol. vjesnik*, 33, 145—167, Zagreb.
- Mutić, R. (1981): Akcesorni cirkon iz srednjomiocenskih tufnih naslaga središnje Hrvatske i zapadne Slavonije. — *Geol. vjesnik*, 34, 71—83, Zagreb.
- Mutić, R. (1981): 1. Pirokseni u kvartarnim naslagama Krškog polja, Zagrebačkog Posavlja i u bušotinama IG—1 i IG—2.  
2. Sanidin u kvartarnim naslagama bušotina IG—1 i IG—3. — *Geol. vjesnik*, 34, 85—93, Zagreb.
- Sartori, F. (1963): Studio di un tufo di Pitigliano (Grosseto). — *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Memorie*, 20, 318—339, Pisa.
- Simpson, B. (1933): The dusky apatites of the Eskdale (Cumberland) granite. — *Geol. Mag.*, 70, p. 375.
- Sobolev, V. S., Bazarova, T. Yu. & Bakumenko, I. T. (1972): Crystallization temperature and gas phase composition of alkaline effusives as indicated by primary melt inclusions in the phenocrysts. — *Bull. Volc.*, 35, 479—496.
- Sušnjara, A. & Ščavničar, B. (1974): Tufovi u neogenskim naslagama srednje Dalmacije (južna Hrvatska). — *Geol. vjesnik*, 27, 239—253, Zagreb.
- Zimmerle, W. (1969): Transparente Schwerminerale aus granitischen Gesteinen und aus Flüssen des Blauen-Massivs (Südwest-Schwarzwald). — *Z. deutsch. geol. Ges.* 121, 67—73, Hannover.



## Accessory Apatite from Middle Miocene Tuff Deposits of Central Croatia and West Slavonia

R. Mutić

Morphological features in preparations of heavy mineral fraction and the participation of apatite in the mineral composition of samples taken from tuff deposits of Central Croatia and West Slavonia have been studied by means the microvisual method using a polarizing microscope.

Of the total number of apatite samples examined (1586) 1088 crystals and broken crystals of apatite correspond to the older (B) phase of explosive volcanic activity in the development of Helvetian deposits, whereas the rest (498) relate to the younger (A) phase, i. e. to the development of tuff deposits in the Lower Tortonian.

In determining apatite elongations only whole crystals, numbering 905 pieces, have been considered. The frequency distribution of apatite crystals elongations in group of A and B samples (the younger and the older phase) has been found to be almost uniform, with very little variation, in distinction to the frequency distribution zircon elongations from the same deposits. Since according to Mehnert apatite elongation depends on the temperature at which apatite was formed, the apatite with such slight elongations probably originated at the lowest temperature of the magmatic melt during the Middle Miocene activity of this area. Since stubby — shaped crystals, according to the same author, are characteristic of acid rocks such as granites, the examined apatite would correspond to such a composition of the magmatic melt.

While examining inclusions, as the most typical phenomenon in the analyzed apatite, a total of 1586 whole and fractured crystals were found in these deposits. Precisely because of such a large number of examined individual items could the exceptional number and variety of the inclusions be noticed. There were represented three phases of inclusions: the gaseous, the glassy and the solid phase. The apatite abounded in glassy inclusions the most. Many inclusions were filled with glass, but because of apatite crushing there was also a large number of open and empty inclusions. Where the chance finds provided well preserved glass sticking out from the apatite like miniature »funnels«, it was possible to observe that the index of glass refraction was lower than the index of the Canada balsam refraction, and it was at the same time possible to notice the optical isotropic character of the glass, which could not be achieved with the glass in a host-apatite. Two generations of glass were found in one apatite inclusion on the basis of Becke's line movement. There were also some separate glassy inclusions in the apatite, which also represent two generations of glass regarding their position in the host and the outward appearance of the glass (Fig. 4, No. 18). A vesicle, placed very near the centre or in the centre of the crystal, corresponds to the older generation. Its glass is slightly altered, devitrified, so that it exhibits minute and very weak anisotropic effects between crossed nicols. Another vesicle is nearer to the periphery of the crystal and the glass it contains is homogeneous and clear, so it can be presumed to correspond to the younger generation of glass.

The solid phase of inclusions in apatite consists of apatite microlites and pleochroic core. Apatite in apatite, i. e. two generations of mineral, with occasional glass vesicles due to its secondary growth. Another example of secondary growth is represented by not only two, but even three generations of apatite in some individuals. The pleochroic core is covered like a film with a thin and hardly visible powdery layer of dust stretching in the direction parallel to its elongation, i. e. the direction in which the extraordinary ray vibrates. The greyish-blue core, tinged with a greenish, sometimes brownish, nuance lies vertical to that direction.

The apatite itself had sometimes acquired the role of an inclusion in the total mineral composition of the samples. It is very frequent in biotite, but less so in amphiboles. Sometimes the apatite as inclusions had brought along the included glass.

The participation of apatite in the mineral composition of the samples in relation to other magmatogenic mineral components in both group A and B is almost

equal. The results of the examination of apatite participation, accordingly, along with the features described above, complete the survey of unmodified magmatic apatite as a component of the older and younger phases of the development of tuff deposits. Its inclusions, however, relicts of the primordial melt, represent the heterogeneity of conditions during the formation of such apatite and prove its origin in the magmatic melt.

In analogy to the opinion adopted by Clocchiatti (1974) following thermo-optical analyses, i. e. that the fracture of eruptive quartz crystals was conditioned by decrepitation of its inclusions, it can be presumed that inclusions played the same role in the process of fracture of apatite crystals as well. The author believes that decrepitation of inclusions is followed by fracture of crystals due to the accumulated energy in the mineral, which results from the abundance of fluid in the glass and was created either recently or at the moment of volcanic explosion. The large amount of broken zircon in the same samples of tuff deposits could also be explained if treated from this aspect (Mutić, 1981).

No matter how much the magmatogenic apatite acquires a detrital appearance through movement and alteration, and becomes, for instance, rounded with a more or less fibrose structure, it will nevertheless exhibit features of its origin. The presence of such apatite in the association of heavy detrital minerals of a sediment will thus define, among other rocks, its parent rock in the lithological complex of the area where these minerals originated.

TABLA — PLATE I

I. Inkluzije u apatitu iz uzoraka tufova skupine mlade (A) i starije (B) faze. (110x).

I. Inclusions in apatite from tuff samples of the younger (A) and older (B) phase. (110x)

- 1 uzorak-Sample 8403, (A) — Zrinska gora. Apatit s vrlo tankom poput pukotinice staklastom inkluzijom — Apatite with a very thin fissure-like glassy inclusion.
  - 2 uzorak-Sample 1825, (B) — Medvednica. Apatit bez inkluzija — Apatite without inclusions.
  - 3 uzorak-Sample T—12/3A, (B) — Medvednica. Apatit s tri zone rasta. Prema pomicanju Beckeove linije primjećuje se da indeks loma apatita raste od unutarnje zone prema periferiji, što upućuje na promjenu sastava apatita — Apatite with three growth zones. In accordance with the movement of Becke's line it can be noticed that the index of refraction of apatite increases from the inner zone to the periphery, which points to a change in apatite composition.
  - 4,6,8,9,14 uzorak-Sample T—12/3A, (2x), 1827, 1825 (2x), (B) — Medvednica. Apatit sa staklastim inkluzijama — Apatite with glassy inclusions.
  - 5 uzorak-Sample 2485, (B) — Zrinska gora. Dvije faze inkluzija: plin + staklo — Two phase inclusions: gas + glass.
  - 7 uzorak-Sample B—2, (A) — Medvednica. Dvije faze inkluzija: staklo + apatit — Two phase inclusions: glass + apatite.
- Apatit s pleohroitskom jezgrom — Apatite with pleochroic core.
- 10,12,13 uzorak-Sample B—2 (2x), (A), T—12/3A, (B) — Medvednica.
  - 11 uzorak-Sample 256, (B) — Papuk.
- Apatit kao inkluzija u amfibolu — Apatite as inclusion in amphibole.
- 15,16,17 uzorak-Sample T—5A, 147, T—9B, (B) — Medvednica.
  - 18 uzorak-Sample 3309, (B) — Cazin.
  - 19,20 uzorak-Sample T—9B, T—12/3A, (B) — Medvednica.

II. Magmatogeni apatit u terigenom detritusu klastičnih naslaga.

II. Magmatogene apatite in terrigenous detritus of clastic deposits.

- 21,22,23,24 uzorak-Sample 5070 — Samoborska gora, pješčenjak-sandstone, helvet-Helvetian.
- 25 uzorak-Sample NOS, bušotina-borehole, dubina-depth 33—34 m, Samoborsko Posavlje, šljunkoviti pijesak — gravelly sand, pliocen-kvartar, Pliocen-Quarter.
- 26 uzorak-Sample 17, profil Vinagora, Hrvatsko zagorje, pijesak-sand, torton-Tortonian.
- 27,32,33 uzorak-Sample IG—3, bušotina-borehole, dubina-depth 26,00 m, Zagrebačko Posavlje, siltni pijesak-silty sand, kvartar-Quarter.
- 28,29,30,31 uzorak isti-Same sample, Apatit s tragovima udaraca od nošenja vjetrom-Apatite with traces showing that it had been picked and carried by wind.
- 34 uzorak-Sample IG—1, bušotina-borehole, dubina-depth 70,00 m, Zagrebačko Posavlje, pjeskovito glinoviti silt — sandy clayey silt, kvartar-Quarter.

