

Geol. vjesnik	27	239—253	1 sl., 2 tabele, 3 tab.	Zagreb, 1974
---------------	----	---------	----------------------------	--------------

552.3:551.782(161.16.44)

ANTE SUŠNJARA I BISERKA ŠCAVNIČAR

TUFOVI U NEOGENSKIM NASLAGAMA SREDNJE DALMACIJE (JUŽNA HRVATSKA)

U laporovitim neogenskim naslagama srednje Dalmacije prvi put su otkriveni tufovi. Obradene su stratigrafske karakteristike, te mineralni i kemijski sastav tufova. Dobiveni rezultati ukazuju na njihovu genetsku vezu s andezitsko-dacitskim vulkanizmom miocenske starosti. Pretpostavlja se donos vjetrom piroklastičnog materijala u područja basenske neogenske sedimentacije srednje Dalmacije.

1. UVOD

Istraživanja neogenskih tufova na području srednje Dalmacije vršena su 1971. i 1972. godine u okviru regionalnih geoloških istraživanja mineralnih sirovina. Izvršena je geološka prospekcija neogenskih basena Žegarskog polja, područja sjeveroistočno od Knina, Kosova polja, Petrova polja, Paškog polja sjeveroistočno od Vrlike, doline rijeke Cetine i uz obale jezera Peruća sjeverno od Sinja, te u području Sinjskog polja i doline potoka Vrbe. U nekim od spomenutih područja prvi put su otkriveni brojni izdanci tufova u neogenskim sedimentima.

Poticaj za ova istraživanja bio je nedostatak prirodnih pucolanskih materijala na području srednje Dalmacije, gdje je razvijena jaka cementna industrija koja troši veće količine takove sirovine. Pošto su u novije vrijeme (P. L u b u r i ć 1963) otkriveni tufovi u livanjsko-duvanjskom neogenskom basenu, to smo na osnovi sličnosti postanka i razvoja ovog basena s neogenskim basenima srednje Dalmacije pretpostavili mogućnost da su i u njima razvijeni tufovi. Tokom 1968. godine utvrđeni su prvi izdanci tufova i napravljen je program za njihova istraživanja.

U terenskoj prospekciji pored autora sudjelovali su geolozi Vilim Pencinger, Eugen Krkalo i Boris Vrbanac. Kemijske anali-

ze i analize po Fratini-u izrađene su u Centralnom laboratoriju »Dalmacija cementa«. Paleontološke odredbe izvršio je A. Šimunić, a rendgenografske analize S. Šćavničar. Ovom prilikom svima se zahvaljujemo.

Prvi geološko-paleontološki podaci o neogenskim sedimentima srednje Dalmacije datiraju još iz druge polovice prošlog stoljeća (F. Hauer 1868, M. Neumayr 1869 i S. Brusina 1874 i 1897). Od starijih autora F. Kerner (1916) je najdetaljnije opisao i raščlanio neogenske sedimente, te je u neogenu sinjskog područja izdvojio 7 članova.

Poslije II Svjetskog rata postoje brojni, uglavnom neobjavljeni radovi u kojima su opisani neogeni sedimenti pojedinih područja u srednjoj Dalmaciji. Pretežno su to elaborati i studije izvršene namjenski u sklopu hidrogeoloških i hidroenergetskih istraživanja, te istraživanja mineralnih sirovina i izrade osnovne geološke karte. To su radovi J. Poljaka (1947), M. Margetića (1947), D. Anića (1951—53), I. Crnolatca (1952), A. Takšića (1955, 1961 i 1968), M. Maleza & A. Sokač (1969), S. Marinčića i suradnika (1969), A. Šimunića (1971, 1973), A. Ivanovića i suradnika (1972) i drugih.

Kako se vidi iz ovih i ostalih radova, nisu bile poznate pojave tufova u neogenskim naslagama srednje Dalmacije. Prvi podaci dati su u radovima A. Šušnjare (1972 i 1973), te V. Pencingera & A. Šušnare (1973).

2. GEOLOSKE KARAKTERISTIKE NASLAGA

Sedimenti neogena u srednjoj Dalmaciji taloženi su u nekoliko relativno izoliranih slatkovodnih basena. Najveće im je rasprostranjenje u Sinjskom polju. Leže diskordantno na različitim kronostratigrafskim članovima mlađeg paleozoika, mezozoika i starijeg tercijara, a tek mjestimično na rubnim djelovima basena u tektonskom su kontaktu sa starijim naslagama. Većim dijelom su prekriveni kvartarnim tvorevinama, dok su na obodu basena najčešće lijepo otkriveni.

Litološki, neogenske naslage predstavljaju dosta jednoličnu seriju sedimentata koja je uglavnom izgrađena od lapora i vapnenih lapora. U bazalnom dijelu ima pojava brečokonglomerata. Redovito sadrže tanje ili deblje proslojke ugljena, a ponegdje i debele slojeve koji su eksploatirani. U dominantno laporovitoj seriji mjestimično ima i glina, silita, pješčenjaka i tufova.

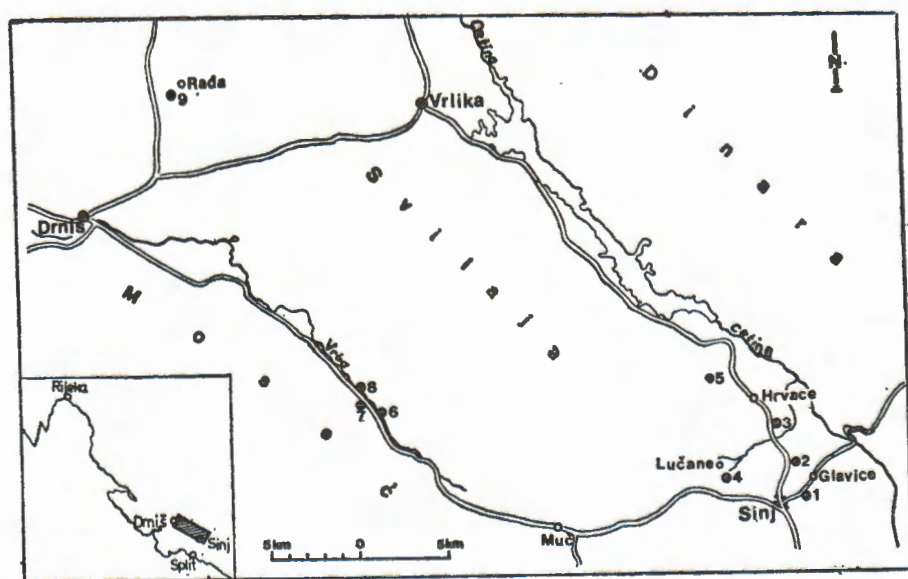
Neogenske naslage redovito su dobro uslojene. U centralnim dijelovima basena uglavnom su horizontalne, dok su uz rubove često ustrmljene. Ovo, kao i značajna debljina naslaga, ide u prilog mišljenju da se sedimentacija odvijala uz istovremeno postepeno spuštanje basena duž tektonskih linija.

Starost ovih naslaga nije jednoznačno određena, iako su bogate fosilnim ostacima, uglavnom endemne faune i flore. Mišljenja pojedinih istraživača se razlikuju, tako da ih uvrštavaju od oligomiocena do pleistocena. Međutim, prevladavaju mišljenja da su miocenske starosti.

3. TUFOVI I TUFITIČNI SEDIMENTI

3.1. Stratigrafske karakteristike

U srednjoj Dalmaciji unutar neogenskih naslaga pronađeni su tufovi na više lokaliteta u području Sinja (Glavice, Lučane, Hrvace, Krin i Karakašica), zatim doline potoka Vrbe (Prnjak, Crivačke staje i Crivačka borovina), te Kosova polja (jugozapadno od sela Rađa). Slojevi i leće tufova uloženi su u laporima. Granica između lapora i tufova je oštra, pa nisu vezani prelaznim članovima. Međutim, mjestimično se uz tufove nalaze tufitični klastiti (siltosne gline, siltiti i sitnozrni pješčenjaci), to jest sedimenti koji sadrže primjese vulkanogenog materijala.



Sl. 1. Nalazišta neogenskih tufova u srednjoj Dalmaciji

Text-fig. 1. Location map of the Neogene tufts in Central Dalmatia

1 Glavice, 2 Karakašica, 3 Krin, 4 Lučane, 5 Hrvace, 6 Crivačke staje, 7 Crivačka borovina, 8 Prnjak, 9 Rađa.

Boja tufova je svijetlosiva do bijela sa nijansama zelenkaste. Makroskopski su vrlo slični laporima u kojima dolaze, tako da ih je ponekad teško razlikovati. To je vjerojatno bio glavni uzrok da već ranije nisu otkriveni.

Na različitim nalazištima utvrđena su u slijedu jedan do četiri sloja (leće) tufa, a debljina slojeva varira od 0,4 do 3 metra. Uloženi su u nižem dijelu slijeda laporovitih naslaga. U laporima neposredne podine i krovine tufova nalazi se mnoštvo sitnih gastropoda, koji u samom tufu potpuno izostaju. Tufovi mjestimično sadrže ostatke karboniziranog bilja.

Sa raznih lokaliteta iz neposredne krovine i podine tufova sakupljena je i određena slijedeća fauna:

- Lučane — *Melanopsis sinjana* Brus.
Fossarulus tricarinatus Brus.
Valvata sp.
- Hrvace — *Melanopsis bicoronata* Brus.
- Krin — *Fossarulus tricarinatus* Brus.
Melanopsis bicoronata Brus.
- Crivačke staje — *Fossarulus tricarinatus* Brus.
Fossarulus eginæ ecarinatus Brus.
Prososthenia sp.
Fossarulus buzolici Brus.

Na osnovi determiniranih vrsta ne može se sa sigurnošću odrediti točnija starost neogenskih tufova. Najčešće se pojavljuje i zastupljena je velikim brojem primjeraka vrsta *Fossarulus tricarinatus*, za koju O. Kühn (1963) smatra da je vrlo značajna i raširena u neogenkim basenima Dalmacije, te Bosne i Hercegovine, pa može poslužiti kao proizvodni fosil. On predlaže da se slojevi s *Fossarulus tricarinatus* uvrste u srednji miocen, što bi odgovaralo i s obzirom na starost neogenskih tufova iz Hrvatske, Bosne i Hercegovine i drugih područja. Tako su u Hrvatskom Zagorju i okolici Zagreba (D. Anić, 1958 i R. Mutić, 1969), zatim u okolici Tuzle, Lješljana i Tešnja (I. Soklić, 1957), te sjeverozapadno od Krškog polja (H. Pierau, 1958) i drugdje, slojevi s tufovima uvršteni u srednji miocen. P. Luburić (1963) također smatra da su tufovi livanjsko-duvanjskog basena srednjomiocenske do gornjomiocenske starosti.

Kako je vidljivo, glavna vulkanska aktivnost mlađeg tercijara u zapadnom dijelu Jugoslavije odvijala se pretežno u srednjem miocenu, pa su i tufovi u slatkovodnim neogenkim basenima Dalmacije najvjerojatnije vezani na to razdoblje. S obzirom na regionalnu rasprostra-

njenost tufova, moguće je da posluže kao reporni horizont za detaljnije litostratigrafsko raščlanjivanje slatkovodnih neogenskih sedimenata u dalmatinskim i bosansko-hercegovačkim basenima.

3.2. Mineralni sastav

Istraženi tufovi su vrlo sitnozrnati piroklastiti zemljastog izgleda. Pripadaju vitroklastičnim i kristalo-vitroklastičnim tufovima. Vulkansko staklo dominira, ali mnoge uzorke karakterizira prisutnost fragmenata kristaliziranih minerala u osnovi izgrađenoj od staklastih čestica vulkanskog pepela. Osnovna vulkanogena masa je izotropna ili pokazuje slabu devitrifikaciju. Iznimno se pojavljuju jače ili potpuno devitrificirani tufovi. Svi istraženi uzorci, usprkos manjih razlika u količini kristalizirane komponente, veličine čestica i stupnja alteracije, predstavljaju po strukturi, sastavu i genezi srodnu i jedinstvenu grupu piroklastita. Iz tog razloga mogao se dati zajednički mikrofiziografski opis za 40 istraženih uzoraka neogenskih tufova iz navedenih nalazišta srednje Dalmacije.

Struktura osnove je vitroklastična. Sastoji se od nepravilnih zakrivljenih i ušiljenih ili rašljastih krhotina vulkanskog stakla. One često imaju triangularni oblik konkavnih rubova. Mnoge pokazuju sačastu ili mjehuričastu strukturu. Šupljine su okrugle, ali također istegnute u cjevaste oblike. Krhotine vulkanskog stakla su često izdužene, katkad spljoštene i subparalelno orijentirane. Njihova veličina najčešće varira u granicama 0,02—0,3 mm, iako u nekim primjercima doseže 0,5 mm. Optički su izotropne, ali nerijetko je duž rubova izdvojen vrlo tanki film anizotropnog lističavog produkta devitrifikacije. Indeks loma fragmenata stakla određen metodom imerzije iznosi $1,501 \pm 0,001$, što odgovara kiselom vulkanskom staklu. U međuprostorima fragmenata stakla ima amorfnog vulkanskog staklastog matriksa, koje je zamučeno, smeđaste boje i obično malo alterirano.

Kristalizirani minerali nalaze se gotovo u svim uzorcima, ali je njihova količina promjenljiva i varira od cca 5—35%. Mogu biti raspoređeni jednoliko, ali također kaotično ili koncentrirani u pojedinim slojevima. Veličina kristaliziranih minerala varira od 0,03—0,3 mm, iznimno do 0,5 mm, te ne predstavljaju izrazite porfiroklaste u odnosu na čestice stakla.

Sastav kristalizirane komponente tufova čine ovi minerali:

F e l d s p a t i: Među kristaliziranim zrnima feldspati dominiraju. Predstavljani su pretežno plagioklasima. Često su to fragmentirani i raspucani kristali ili oštrobodne krhotine nepravilnog oblika. Mnoga zrna plagioklasa odlikuju se zonarnom građom. Vrlo česti su polisintetski sraslaci. Kod svih zrna plagioklasa koja su bila u kontaktu s kanadskim balzomom utvrđeni su plagioklasi sastava oligoklasa i andezina, u kojima sadržaj

na je dvoosan pozitivan. Sastav plagioklasa određen je na temelju mjerenja optičkih elemenata nekoliko zrna pomoću Fedrovljevog univerzalnog stolića. (Primjenjene su krivulje za visokotemperaturne plagioklase — F. F e d i u k, 1961.). U tufovima iz različitih slojeva dvaju nalazišta utvrđeni su plagioklasi sastava oligoklasa i andezina, u kojima sadržaj anortitske komponente iznosi od 27—51%. Podaci mjerenja su slijedeći:

Područje Kosovo polje

- | | Ng | Nm | Np | |
|----|------------------------|--------------|--------------|--|
| 1. | $D_{1/2} = 30 \ 1/2$; | $59 \ 3/4$; | $86 \ 3/4$; | \perp (010) $43 \ 1/2^\circ$ an $13 \ 3/4^\circ$ WSW |
| | $B_{1/2} =$ isto | | | |
| | $2V = +82$ | | | |
| 2. | $D_{1/2} = 64 \ 1/4$; | $25 \ 1/2$; | $89 \ 1/2$; | \perp (001) $29 \ 1/2^\circ$ an $1 \ 2^\circ$ SSE |
| | $2V = -82 \ 1/2$ | | | |
| 3. | $s = 58$ | $; 32$ | $; 89$ | $; \perp$ (001) 35° an 3° SE |

Područje Crivačke staje

- | | | | | |
|----|------------------------|--------------|----------------|--|
| 1. | $D_{1/2} = 26$ | $; 64$ | $; 86 \ 1/3$; | \perp (010) $41 \ 1/2^\circ$ an $1 \ 1/2^\circ$ NE |
| | | | | ili; \perp (010) 34° an $2 \ 1/2^\circ$ NW |
| | $2V = -76$ | | | |
| 2. | $D_{1/2} = 68 \ 1/2$; | 22 | $; 88 \ 3/4$; | \perp (001) 27° an $1 \ 1/2^\circ$ NNE |
| | $2V = -84 \ 1/2$ | | | |
| 3. | $D_{1/2} = 30 \ 1/2$; | $62 \ 2/3$; | $78 \ 3/4$; | \perp (010) $51 \ 1/2^\circ$ an $2 \ 1/2^\circ$ E |
| | $B_{1/2} = 30 \ 1/2$; | $61 \ 3/4$; | 79 | $; \perp$ (010) $50 \ 1/2^\circ$ an $13 \ 3/4^\circ$ E |

Slični podaci za kemizam plagioklasa dobiveni su iz tufova ostalih nalazišta mjerenjem maksimalnog kuta simetričnog potamnjenja na odgovarajućim prerezima polisintetskih sraslaca po albitskom zakonu.

Prisutnost kalijskih feldspata utvrđena je samo u nekoliko uzoraka tufova, gdje dolaze kao pojedinačna zrna. To su bezbojna, svježja zrna sanidina, karakterizirana negativnim reljefom, vrlo malim kutem optičkih osi i optički negativnim karakterom.

K v a r c. Pojavljuje se u obliku nepravilnih angularnih fragmenata ili ušiljenih krhotina konkavnih rubova. Neka zrna sadrže inkluzije stakla. Potamnjuju homogeno, rjeđe mrljasto. Količina kvarca varira, ali općenito zaostaje za količinom plagioklasa i predstavlja u mnogim uzorcima sporedni sastojak. U vitroklastičnim tufovima s malo kristalizirane komponente nisu mikroskopski utvrđena slobodna zrna kvarca.

Rjeđe se pojavljuje druga modifikacija SiO_2 — *tridimit*. U preparatu lake frakcije primjećen je u obliku pločastih zrna koja karakterizira izrazito negativni reljef, dvoosni optički pozitivan karakter i slabi dvo-

Teški minerali. Kako teški minerali većim dijelom (osim biotita i katkad hornblende) predstavljaju akcesorne minerale, koncentrirani su separacijom po specifičnoj težini pomoću bromoforma. U 10 ispitanih uzoraka njihova količina varira od 0,09—1,05% (težinski postoci). Determinirani su pomoću polarizacijskog mikroskopa i binokularne lupe. Brojenjem cca 200—400 zrna teških minerala po uzorku, dobiveni su statistički podaci o učestalosti pojedinih mineralnih vrsta. Rezultati su izraženi u brojčanim postocima i prikazani tabelarno (tabela 1). U tabeli je dat odnos opakih i prozirnih zrna teških minerala, a zatim detaljan sastav prozirnih teških minerala. Dominantni teški minerali magmatskog porijekla su opaki minerali, te biotit, apatit, cirkon i hornblenda.

Opaki minerali zastupljeni su pretežno ilmenitom. Pojavljuje se u crnim sjajnim romboedrijskim kristalićima tabularnog habitusa zbog naglašene bazalne plohe. Često je zaobljen, poluzaobljen i korodiran. Hematit, magnetit i limonit pojavljuju se rjeđe.

Biotit je redoviti teški mineral. Količinski varira od akcesornog sastojka u pojedinim uzorcima do značajnijeg nakupljanja u drugima, kada predstavlja makrokonstituent i vidljiv je prostim okom kao tamnosmeđi subparalelno orijentirani listići. Oblik listića je nepravilan, pa i zaobljen, ali se pojavljuju i pravilni heksagonalni listići. Biotit karakterizira izraziti pleohroizam od žute i žutosmeđe do crvenosmeđe boje. U konvergentnom svijetlu mnogi listići biotita pokazuju izraziti doosan, optički negativan karakter. Kod nekoliko ovakvih listića na teodolitnom mikroskopu određen je kut optičkih osi i dobivene vrijednosti variraju od -20° do -26° . Prisutan je međutim u ovim tufovima i biotit s vrlo malim kutem optičkih osi. Kad je alteriran (kloritiziran), biotit postaje izblijeđen, smeđe-zelenkaste boje, a pleohroizam je znatno slabiji.

Apatit je jedan od osnovnih teških minerala ovih tufova. Pojavljuje se u obliku kratkoprizmatskih ili izduženih prizmatskih kristala, te stupačastih i nepravilnih zrna koja su angularna i subangularna. Često ima igličastu staklastu ili cjevastu jezgru paralelnu s osi c. Zrna su svježa, bezbojna i prozirna. Rjeđi su pleohroitični apatiti sa pleohroizmom: E = dimljivo siva, O = bjeličasto siva. Opažen je i rast bezbojnog apatita oko pleohroitske apatitske jezgre. Vulkanogeni apatit razlikuje se morfološki od detritičnog apatita koji dolazi u asociiranim tufitičnim sedimentima i biti će opisan kasnije.

Cirkon je zastupljen prizmatskim kristalićima. Kristali mogu biti u smjeru osi c vrlo izduženi i igličasti ili su kratkoprizmatskog habitusa. Rjeđa su slomljena zrna. Po stupnju zaobljenosti variraju od angularnih do poluzaobljenih. Bezbojni su, prozirni i svježi. Često sadrže mineralne i staklaste inkluzije.

Tabela 1 — Table I

Teški minerali iz neogenskih tufova srednje Dalmacije
Heavy minerals from neogene tuffs of central Dalmatia

Uzorak Sample	Lokalitet Locality	% Opačka zrna Opaque grains	% Prozirna zrna Transparent grains	Prozirna zrna teških minerala — 100% Transparent grains of heavy minerals — 100%													
				b	ap	zr	tu	ti	ru	an	py	am	co	ct	ep + zt	g	st
1	Krin	38,1	61,9	1,1	40,4	30,5	4,0	1,8	1,1	—	—	1,5	—	0,4	4,0	14,3	—
2	Krin	36,3	63,7	4,5	54,4	30,6	—	—	—	0,5	—	6,4	0,5	—	0,5	2,3	0,5
3	Hrvace	25,1	74,9	5,7	14,6	35,4	0,6	0,6	0,6	—	—	36,1	1,3	—	1,9	3,2	—
4	Hrvace	50,4	49,6	3,3	43,5	20,4	2,2	0,7	0,4	—	—	24,9	—	0,4	—	3,7	0,4
5	Glavice	25,0	75,0	0,5	31,2	32,8	2,1	0,5	—	1,1	0,5	25,5	—	—	1,6	4,2	—
6	Lučane	7,8	92,2	0,8	60,0	28,8	0,4	0,4	0,8	0,4	0,4	1,6	0,8	—	2,0	3,3	—
7	Crivačke staje	9,3	90,7	28,1	15,5	10,4	0,4	0,4	—	0,4	—	19,3	24,1	—	0,7	0,7	—
8	Crivačke staje	18,8	81,2	30,9	22,3	4,7	3,4	1,3	—	0,4	—	24,9	0,4	—	1,7	9,9	—
9	Crivačka borovina	14,9	85,1	3,5	24,8	28,9	—	—	—	—	1,2	37,6	—	—	1,8	2,3	—
10	Kosovo polje	28,0	72,0	—	33,2	12,7	0,5	1,0	0,5	—	0,5	46,2	0,5	—	1,0	3,9	—

Legenda:	b	biotit biotite	ti	titanit sphene	am	amfibol amphibole	g	granat garnet
Legend:	ap	apatit apatite	ru	rutil rutile	co	klorit chlorite	st	staurolit staurolite
	zr	cirkon zircon	an	anatas anatase	ct	kloritoid chloritoid		
	tu	turmalin tourmaline	py	piroksen pyroxene	ep + zt	epidot + coizit epidote + zoisite		

A m f i b o l i su redoviti teški minerali ovih tufova. Iako nisu primjećeni u izbruscima, utvrđeni su u separiranim teškim frakcijama. Pripadaju pretežno hornblendi. To su fragmenti prizmatskih kristala ili prutičasta zrna, više ili manje izdužena smjerom osi c. Na zrnima su dobro vidljive pukotine kalavosti. U prolaznom svjetlu hornblenda je maslinasto-zelene i smeđozelene boje. Maksimalni kut kosog potamnjenja varira od $21\frac{1}{2}^{\circ}$ do 25° . Pleohroizam je u nijansama zelene i smeđe boje. U nekoliko uzoraka pojavljuje se u manjoj količini i aktinolit svjetlozelene boje i fibrozno-prutičastog habitusa. Pleohroizam varira od blijedozelene do blijede plavičasto-zelene boje. Maksimalni kut kosog potamnjenja iznosi $15-17^{\circ}$.

Ostali teški minerali pojavljuju se u manjim, često neznatnim količinama, a neki samo sporadično. Tako je turmalin oskudno zastupljen u ovoj mineralnoj asocijaciji, a opaženi su smeđi, ružičasti i plavozeleni varijeteti. Konstantno su prisutna angularna zrna granata. Prate ga zelenkastožuti epidot, bezbojni coisit, klorit, a sporadično kloritoid, te staurolit. Od minerala titana pojavljuju se poluzaobljena zrna titanita, rjeđe rutil i anatas. U nekoliko uzoraka nađen je piroksen. Ovi minerali mogu biti magmatskog porijekla, ili predstavljati produkt izmjene magmatskih minerala, ali također kontaminacije materijala sedimentnog i metamorfnog porijekla.

Minerali glina utvrđeni su kod onih uzoraka tufova, kod kojih je vulkanski staklasti matriks u većem ili manjem stupnju devitificiran izmijenjen. Produkti izmjene stakla su blijedozelenkaste i blijede žućkastosmeđe boje, a struktura im je finolistićava. Pripadaju, prema rendgenografskom nalazu, montmorilonitu i ilitu.

Kalcit. U više tufova pojavljuju se agregati kalcita mikrokristalaste ili zrnaste strukture. Kalcit je u tufovima produkt normalne karbonatne sedimentacije, koja se odvijala u basenu, gdje su akumulirani tufovi. Također ima pojava naknadne kalcitizacije tufova.

Na istraženim lokalitetima uz tufove pojavljuju se tufitični klastični sedimenti: sitnozrni pješčenjaci, siltiti i pjeskovito-siltozne gline. Ovi sedimenti uz osnovnu detritičnu komponentu sadrže primjese vulkanskog materijala (tufa). Dominantni detritični konstituent u siltitima i pješčenjacima je sitnozrni kvarc, ali su značajno zastupljeni zaobljeni listići muskovita i klorita. Biotit je u podređenoj količini. Feldspati su također rijetki. Od fragmenata stijena prisutna su zrnca čerta, pelita i vapnenca. Matriks se sastoji od smjese ilita i klorita s nešto fino-zrnog kvarca. Pjeskovite i siltozne gline sadrže silt-arenitski detritus kao sporednu komponentu, dok je osnovna masa pelitomorfna i sastoji se od finolistićavog agregata dvaju minerala glina: ilita i montmorilonita. Ovaj je mogao nastati alteracijom detritičnog mulja, ali i najfinijeg vulkanogenog staklastog materijala. Sigurnije indikacije o prisustvu piroklastičnih primjesa u ovim klastitima pruža sastav njihovih teških frakcija (tabela 2).

Tabela II — Table II

Teški minerali iz tufitičnih sedimenata neogena srednje Dalmacije
Heavy minerals from neogen tuffaceous sediments of central Dalmatia

Uzorak Sample	Lokalitet Locality	% Opaka zrna Opaque grains	% Prozirna zrna Transparent grains	Prozirna zrna teških minerala — 100% Transparent grains of heavy minerals — 100%														
				bi v.	ap v.	ap d.	zr v.	zr d.	tu d.	tu a.	br	ti	ru	am	co	ep + zt	g	st
10	Lučane	3,5	96,5	—	1,8	9,9	10,0	30,7	14,8	4,0	0,4	—	13,0	—	10,3	1,8	3,1	—
11	Crivačke staje	9,8	91,2	0,3	18,0	18,7	10,8	22,0	7,5	—	0,3	1,0	7,9	9,2	0,3	0,7	3,0	0,3
12	Crivačke staje	2,6	97,4	0,4	0,9	21,6	7,5	36,5	11,9	0,4	0,9	—	14,5	—	5,3	—	—	—
13	Crivačke staje	3,2	96,8	10,7	4,0	24,8	4,7	16,1	8,0	—	—	—	11,4	2,7	15,4	—	2,0	—
14	Crivačka borovina	5,7	93,3	0,5	2,5	30,1	2,5	27,1	13,1	—	0,5	—	13,6	—	8,0	0,5	1,5	—

Legenda:	bi v.	biotit vulkanogeni	tu d.	turmalin detritičan	am	amfibol
Legend:	biotite volcanic		tourmaline detrital		amfibole	
	zr v.	cirkon vulkanogen	tu a.	turmalin s autigenim rastom	co	klorit
	zircon volcanic		tourmaline with authigenic		chlorite	
	zr d.	cirkon detritičan		outgrowth	ep +zt	epidot + coizit
	zircon detrital		br	brukit		epidote + zoisit
	ap v.	apatit vulkanogen		brookite	g	granat
	apatite volcanic		ti	titanit		garnet
	ap d.	apatit detritičan		sphe	st	staurolit
	apatite detrital		ru	rutil		staurolite
				rutile		

U ovim sedimentima utvrđena su dva, po porijeklu različita tipa teških minerala. Jedni, identični s onima u tufovima (prizmatski apatit, cirkon, hornblenda i biotit) predstavljaju primjese vulkanogenog porijekla. Drugi su teški minerali detritičnog porijekla, predstavljeni vrlo zaobljenim apatitom, ovalnim cirkonom, zaobljenim zrnima rutila, subzaobljenim smeđim turmalinom i turmalinom s autigenim rastom, te zaobljenim listićima klorita. Opakih minerala ima malo. Detritični teški minerali morfološki se izrazito razlikuju od istih minerala vulkanogenog (tufnog) porijekla, naročito po većem stupnju obrazije, uvjetovane višestrukim re-sedimentiranjem. Po mineralnoj asocijaciji i strukturnim karakteristikama ukazuju na porijeklo iz skitskih i permo-skitskih klastita. Klastični sedimenti ove starosti nalaze se u blizini nalazišta tufova. Njihov detritus je u neogenu pretaložen i interstratificiran s tufom među lapore.

Uz mikroskopske, izvršene su i tri rendgenografske analize i to metodom praška i uz brojačku tehniku. Rezultati ovih analiza su u skladu sa mineralnim sastavom dobivenim mikroskopskim analizama. Osim toga, rendgenografski je određen tip minerala glina. Utvrđeni sastav je slijedeći:

1. Kristalo-vitroklastični tuf (Crivačke staje): neutralni plagioklas, kvarc, montmorilonit, biotit, te staklo.
2. Vitroklastični tuf (Crivačke staje): uz znatnu količinu stakla, sadrži: montmorilonit, ilit, plagioklas i kvarc.
3. Tufitična siltozna glina (Crivačka borovina): kvarc, montmorilonit, ilit i plagioklas.

3.3 Kemijski sastav i pucolanitet

Kemijske analize i analize pucolaniteta napravljene su od srednjih uzoraka uzetih metodom brazde iz pojedinih slojeva tufa na lokalitetima Lučane, Hrvace, Glavice, Prnjak, Crivačke staje i Crivačka borovina.

Sadržaj glavnih komponenata i iznos gubitka žarenjem u 8 analiziranih uzoraka varira u slijedećim granicama:

SiO ₂	61,08—70,21%	sa srednjom vrijednosti	66,49%
Al ₂ O ₃	12,04—15,92%	„	„ 14,12
Fe ₂ O ₃	1,40— 5,21%	„	„ 2,98
CaO	0,85— 6,49%	„	„ 2,03
MgO	0,41— 1,62%	„	„ 1,05
Na ₂ O	0,44— 3,77%	„	„ 1,71
K ₂ O	0,80— 3,16%	„	„ 2,34
Gub. žar.	6,34—10,80%	„	„ 7,91

Sadržaj SiO_2 je relativno visok. Kako većina uzoraka ne sadrži mnogo slobodnih zrna kvarca, glavni dio SiO_2 je vezan za staklastu osnovu tufova. Sadržaj K_2O treba pretežno pripisati prisustvo biotita i ilita, jer su K-feldspati vrlo oskudno zastupljeni u ovim tufovima. Premda postoje variranja u sadržaju pojedinih komponenata, koja su vezana za razlike u količinskim odnosima kristaliziranih magmatskih minerala, stakla, produkata devitrifikacije i eventualno prisutnih kontaminacija, navedeni kemizam tufova upućuje na njihovu genetsku vezu s kiselom do neutralno-kiselom magmom. Ovo je i u skladu s mineralnim sastavom ovih tufova.

Sa svih otkrivenih nalazišta izvršene su analize pucolaniteta po Frattini-u. Dobivene su vrijednosti koje variraju u slijedećim granicama:

mmoli OH^-/lit	3,21—4,80
mmoli CaO/lit	0,71—1,41

Ovi rezultati ukazuju na vrlo dobru pucolansku aktivnost istraženih tufova. S time su u skladu i mikroskopska ispitivanja iz kojih je vidljivo da je tuf izgrađen pretežno od staklaste materije za koju je vezano svojstvo reaktivnosti.

3.4 Ekonomsko značenje

Tufovi imaju višestruku primjenu, a najveće količine troše se u cementnoj industriji, gdje se upotrebljavaju kao prirodni aktivni dodatak (pucolan) u proizvodnji cementa. Analizama je utvrđeno da su istraživani tufovi vrlo kvalitetan pucolanski materijal, pa njihova primjena kao sirovine ovisi o veličini ležišta i ekonomskim uvjetima eksploatacije. Iako su prospekcijom dobiveni tek osnovni geološki podaci, ipak se može nazrijeti ekonomska vrijednost otkrivenih pojava. Nalazište u području Crivačkih staja može predstavljati ekonomski vrijedno ležište. Na ovom lokalitetu utvrđena su tri sloja tufa, debljina kojih se kreće do cca 3 m. Tuf ovdje ima znatno rasprostranjenje na površini, pokriven samo tankim slojem humusa, gline ili lapora, što je vrlo povoljno za eventualnu eksploataciju površinskim kopom. Također su dobri i transportni uvjeti, jer se ležište nalazi neposredno uz cestu Split—Drniš.

Ostala nalazišta s ekonomskog gledišta su manje zanimljiva, bilo da su slojevi tufa tanki ili nepovoljno padaju u odnosu na morfologiju terena, te nema uvjeta za eksploataciju površinskim kopom.

Detaljnija istraživanja, koja bi dala pravu sliku o vrijednosti nalazišta, nisu vršena.

4. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Svi istraženi uzorci tufova u neogenu srednje Dalmacije imaju sličan sastav i strukturu. Manje razlike postoje u količinskim odnosima kristalizirane komponente, vulkanskog stakla i produkata devitrifikacije. Pripadaju vrlo sitnozrnim vitroklastičnim i kristalo-vitroklastičnim tufovima, s ujednačenom veličinom fragmenata staklaste i kristalizirane komponente.

Na temelju njihovog mineralnog sastava (prisustva kiselog vulkanskog stakla, neutralnih plagioklasa, osrednjeg do relativno niskog sadržaja slobodnog kvarca, prisustva biotita i hornblende) može se zaključiti da pripadaju andezitsko-dacitskim tufovima. I kemijske analize upućuju da su ovi tufovi genetski vezani za kiselu magmu ili magmu koja je po kemizmu na granici kiselog i neutralnog karaktera.

Uspoređujući istražene tufove Kosova polja, Sinja i doline potoka Vrbe s neogenskim tufovima područja Livna (P. Luburić, 1963, E. Kralo, 1974, B. Šćavničar, 1974), opaža se gotovo potpuna identičnost s obzirom na sastav tufova i asociiranih sedimenata. Ovo, kao i sličan način pojavljivanja, te pripadnost jednom stratigrafskom horizontu, ukazuje da su vezani za istu vulkansku aktivnost.

Na području srednje Dalmacije i u livanjsko-duvanjskom neogenskom basenu, te u širem okolnom području ovih basena, do sada nisu otkriveni proboji vulkanskih stijena neogenske starosti. Eruptivne stijene koje nalazimo u području srednje Dalmacije, pripadaju starijem vulkanizmu. Odsutnost bilo kakvih tragova erupcija u tercijaru ovog područja upućuje da je izvorno područje piroklastičnog materijala udaljenije. Ove tufove vjerojatno treba vezati za neogensku magmatsku aktivnost područja Bosne, gdje se najbliže obrađenom području nalaze andezitsko-dacitski vulkaniti neogenske starosti.

Kako istraženi tufovi predstavljaju produkte eksplozivnog vulkanizma najsitnijeg zrna, najvjerojatnije je vulkanski pepeo donesen u ova područja vjetrom, gdje se obarao u sedimentacijske basene i na okolne kopnene površine. S ovih je ponovo zajedno s ostalim materijalom, ispran u negativne prostore, pri čemu je moglo doći do miješanja sa sedimentnim detritusom i do formiranja tufitičnih klastita.

Primljeno 20. 02. 1974.

Institut za geološka istraživanja,
41000 Zagreb, Sachsova 2

LITERATURA

- Anić, D. (1951—53): Starost naslaga sa smeđim ugljenom u Bosni, Hercegovini i Dalmaciji. — Geol. vjesnik, 5—7, 73—110, Zagreb.
Anić, D. (1958): Starost andezitnih erupcija u Hrvatskom Zagorju. — Geol. vjesnik, 11, 261—262, Zagreb.

- Brusina, S. (1874): Prilozi paleontologiji hrvatskoj ili kopnene i slatkovodne iskopine Dalmacije, Hrvatske i Slavonije. — Rad JAZU, 28, 1—109, Zagreb.
- Brusina, S. (1897): Građa za neogensku malakološku faunu Dalmacije, Hrvatske i Slavonije uz neke vrste iz Bosne, Hercegovine i Srbije. — Djela JAZU, 18, 1—43, Zagreb.
- Crnolatac, I. (1952): Tumač reambuliranoj geološkoj karti područja Cetine od izvora do Trilja. — Fond dok. Inst. geol. istr. br. 1772, Zagreb.
- Fediuk, F. (1961): Fjedorovova mikroskopska metoda, Nakl. Česk. Slov. Ak. Vied, 185 str., Praha.
- Hauer, F. (1868): Geologische Übersichtskarte der Österreich. Ungar. Monarchie, 1: 476.000, Blatt X, Dalmatien. — Jahrb. geol. Reichsanst., 18, 431—454, Wien.
- Ivanović, A., Sikirica, V. & Sakač, K. (1972): Tumač Osnovne geološke karte list Drniš. — Fond dok. Inst. geol. istr. br. 5193, Zagreb.
- Kerner, F. (1916): Erläuterungen zur Geologischen Karte Sinj—Split. — Geol. Reichsanst., Wien.
- Krkalo, E. (1974): Istraživanje i proračun rezervi tufa na području Mandaka i Gosta kod Livna. — Fond dok. Inst. geol. istr. br. 33/74, Zagreb.
- Kühn, O. (1963): Das Süßwassermiozän des ostadriatischen Gebietes. — Ann. Museo geol., (2), 31, 255—279, Bologna.
- Luburić, P. (1963): Pojave tufova i bentonita u naslagama slatkovodnog neogena u livanjsko-duvanjskom ugljenosnom basenu u jugozapadnoj Bosni. — Geol. glasnik, 8, 203—211, Sarajevo.
- Malez, M. & Sokač, A. (1969): O starosti slatkovodnih naslaga Erveničkog i Žegarskog polja. — III Simpozij Dinarske asocijacije, 81—93, Zagreb.
- Margetić, M. (1947): Tektonski poremećaji kao temelj postanka krških polja srednje Dalmacije. — Geol. vjesnik, 1, 68—110, Zagreb.
- Marinčić, S. i suradnici (1969): Tumač Osnovne geološke karte list Omiš. — Fond dok. Inst. geol. istr. br. 4673, Zagreb.
- Mutić, R. (1969): Neogenska magmatska aktivnost na jugoistočnim obroncima Medvednice (Zagrebačke gore). — Geol. vjesnik, 22, 423—438, Zagreb.
- Neumayr, M. (1869): Über jungtertiäre Süßwasserablagerungen in Dalmatien und Croatien. — Verh. geol. Reichsanst., 1869, str. 106, Wien.
- Pencinger, V. & Šušnjara, A. (1973): Geološka prospekcija neogenskih tufova na području srednje Dalmacije. — Fond dok. Inst. geol. istr. br. 26/73, Zagreb.
- Pierau, H. (1958): Zur Stratigraphie und Tektonik jungtertiärer Ablagerungen im nordwestlichen Krško polje in Slowenien. — Geologija, 4, 111—148, Ljubljana.
- Poljak, J. (1947): Geologija i hidrogeologija doline Cetine od izvora do Hana. — Fond dok. Inst. geol. istr. br. 677, Zagreb.
- Soklić, I. (1957): Kenozoik Bosne i Hercegovine. — II kongres geologa Jugoslavije, 64—72, Sarajevo.
- Šćavničar, B. (1974): Mikroskopske analize piroklastita i pratećih sedimentata iz neogena područja Livna. — Fond dok. Inst. geol. istr. br. 34/74, Zagreb.
- Šimunić, A. (1971): Neogen i kvartar Kninskog polja. — Magistarski rad. Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Šimunić, A. (1973): Determinacija makrofaune iz neogena Srednje Dalmacije. — Fond dok. Inst. geol. istr. br. 28/73, Zagreb.
- Šušnjara, A. (1972): Dopunska istraživanja tufova, glina, pelita i kvarcnih pijesaka na području Srednje Dalmacije. — Fond dok. Inst. geol. istr. br. 4, Zagreb.
- Šušnjara, A. (1973): Tuffs in Neogene deposits of Central Dalmatia. — Bull. sci. Cons. Acad. Yougosl., (A), 18/7—9, 140—141, Zagreb.

- Takšić, A. (1955): Geološke prilike Goručice—Sinj. — Fond dok. Inst. geol. istr. br. 2488, Zagreb.
- Takšić, A. (1961): Geološke prilike područja Karakašića—Glavice kod Sinja. — Fond dok. Inst. geol. istr. br. 3437, Zagreb.
- Takšić, A. (1968): Die Vertebratenfauna aus dem Goručicat bei Sinj. — Bull. sci. Cons. Acad. Yougosl., (A), 13/3—4, 74—75, Zagreb.

A. SUŠNJARA and B. ŠĆAVNIČAR

TUFFS IN NEOGENE DEPOSITS OF CENTRAL DALMATIA (SOUTHERN CROATIA)

In central Dalmatia, inside the fresh-water Neogene maris, tuffs have been discovered for the first time in several localities near Sinj, in the valley of the Vrba stream and in the field of Kosovo. One to four beds of 0.4 to 3 m of thickness were found. On the basis of the determined fossil species (see in the Croatian text), the Middle Miocene Age of the tuffs was assumed. This conforms to the period of the main volcanic activity in the Tertiary in the wide region of the Dinarides.

Tuffs have an earthy appearance and can be from white-grey to pale green in colour. Texturally they are fine-grained vitroclastic and crystal-vitroclastic tuffs. The glass shards and crystal fragments have equal size, ranging from 0.03 to 0.3 mm.

Dalmatian Neogene tuffs are predominantly composed of the arcuate shards and pumice fragments of acid volcanic glass ($N = 1.5$). They are bound by a glassy matrix which is partially devitrified. The alteration products, montmorillonite and illite, were determined by X-ray. The crystal fragments (5—35%) belonged chiefly to zoned or twinned high-temperature plagioclases, varying from basic oligoclase to andesine, while K-feldspars were rare. (Data from feldspars measurements are given in the text.) Free quartz grains were present in small amounts. The principal volcanic heavy minerals were biotite, apatite, zircon, hornblende and opaque grains (chiefly ilmenite) (Table 1). Some metamorphic minerals appeared in small quantities.

On the basis of the mineral composition it was possible to determine the investigated samples as andesitic-dacitic tuffs. The chemical analyses of the tuffs point as well to their genetic connection with acid or an intermediate-acid magma. (Values of the main chemical components and their averages are given in the text.)

The mixing of volcanic and sedimentary clastic materials caused the formation of tuffaceous sediments (sandstones, silstones, mudstones), containing both detrital and volcanic minerals. (Table 2 shows mixed heavy minerals.)

Although these tuffs were deposited in several separate basins, they all belong to the same stratigraphic unit and have identical minerals composition, suggesting the same volcanic activity. In the investigated area, as well as in the region of Dalmatia, Neogene volcanic rocks have not been discovered up to present day. We suggest, therefore, that the fine-grained pyroclastic material had been transported by wind from another region of Dinarides, where the Tertiary volcanism had been active.

Received 20 February 1974

Institute of Geology,
41000 Zagreb, Sachsova 2

TABLA — PLATE I

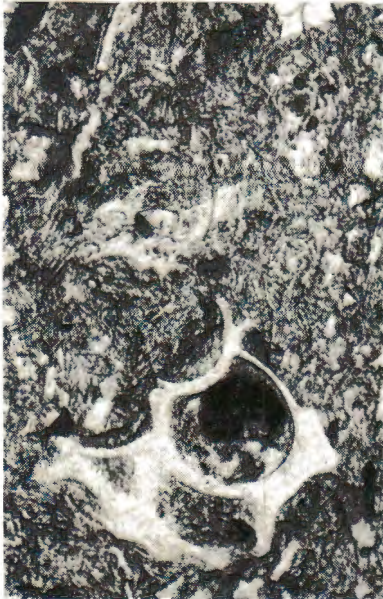
- 1—2. Vitroklastični tuf iz neogenskih naslaga. Lokalitet Glavice, 90 X.
1—2. Vitroclastic tuff from Neogene deposits. Locality Glavice, 90 X.
- 3—4. Kristalo-vitroklastični tuf iz neogenskih naslaga. Lokalitet Crivačke staje.
87 X.
- 3—4. Crystal-vitroclastic tuff from Neogene deposits. Locality Crivačke staje.
87 X.



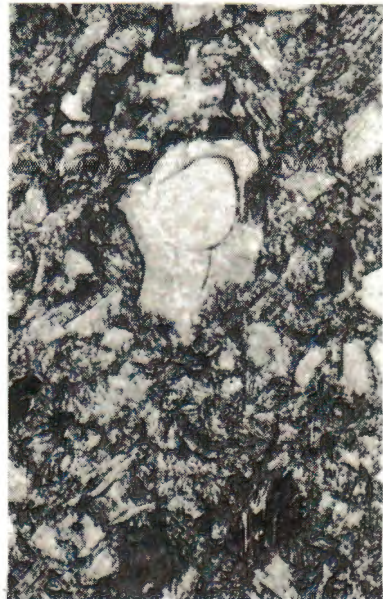
1



2



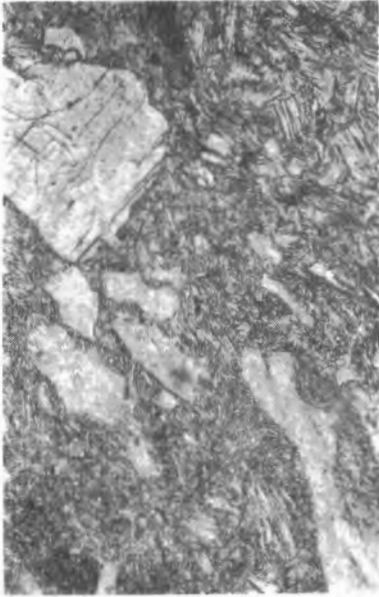
3



4

TABLA — PLATE II

- 1—4. Kristalo-vitroklastični tuf iz neogenskih naslaga. Lokalitet Crivačke staje.
90 ×
- 1—4. Crystal-vitroclastic tuff from Neogene deposits. Locality Crivačke staje.
90 ×



1



2



3



4

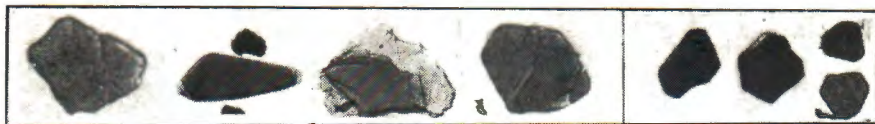
TABLA — PLATE III

Teški minerali iz neogenskih tufova srednje Dalmacije.
Heavy minerals from Neogene tuffs of central Dalmatia

1. Apatit. Lokaliteti: Kosovo polje, Krin, Lučane, Crivačka borovina, Crivačke staje. 90 ×.
1. Apatite. Localities: Kosovo polje, Krin, Lučane, Crivačka borovina, Crivačke staje. 90 ×.
2. Biotit. Lokaliteti: Krin, Crivačke staje, Lučane. 90 ×.
2. Biotite. Localities: Krin, Crivačke staje, Lučane. 90 ×.
3. Ilmenit. Lokaliteti: Crivačke staje, Kosovo polje. 89 ×.
3. Ilmenite. Localities: Crivačke staje, Kosovo polje. 89 ×.
4. Cirkon. Lokaliteti: Hrvace, Crivačka borovina, Crivačke staje, Kosovo polje, Krin. 92 ×.
4. Zircon. Localities: Hrvace, Crivačka borovina, Crivačke staje, Kosovo polje, Krin. 92 ×.
5. Amfiboli s autigenim rastom. Lokalitet Krin. 90 ×.
5. Amphiboles with authigenic outgrowth. Locality Krin. 90 ×.
6. Amfiboli. Lokaliteti: Crivačka borovina, Crivačke staje, Krin. 90 ×.
6. Amphiboles. Localities: Crivačka borovina, Crivačke staje, Krin. 90 ×.
7. Frakcija teških minerala iz tufa: apatit, hornblenda, cirkon, ilmenit, granat. Lokalitet Hrvace. 90 ×.
7. Heavy mineral fraction from tuff: apatite, hornblende, zircon, ilmenite, garnet. Locality Hrvace. 90 ×.



1



2

3



4



5



6



7