

## Korelacija akcesornih minerala gline iz podine kvarcnog pijeska u Loborici (Istra) i pijesaka iz bušotine Susak-1 (»Srednja« kreda, Sjeverni Jadran)

Rozalija MUTIĆ

*Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, p.p. 283, YU-41000 Zagreb*

**Ključne riječi:** Akcesorni, detritalni, vulkanogeni minerali; Montmorillonit; Autigeni kvarc; »Srednja« kreda; Sjeverni Jadran.

U mineralnom sastavu uzoraka gline i pijesaka iz gornjeg alba i cenoman-turonu utvrđen je znatan broj akcesornih minerala sa svim njihovim tipomorfnim odlikama i detritalnim obilježjima. Vulkanogeni minerali značajna su komponenta tog sastava. Vulkanški pepeo, izmijenjen u montmorillonit u uzorku gline, jedan je od mogućih izvorišta dijagenetskog silicija za tvorbu autigenog kvarca kao specifične i karakteristične pojave i u uzorcima pijesaka iz bušotine Susak-1. Dijagenetske autigeneze (aragonit, anhidrit, kalcit, dolomit) indikatori su različitih uvjeta okoliša u razvoju gline i pijesaka. Pretpostavlja se da je u mineralnoj asocijaciji uzoraka uz magmatske minerale predstavljen veliki i složeni alpski distributivni areal karakterističnih teških minerala.

**Key words:** Accessory, detrital, volcanic minerals; Montmorillonite; Authigenic quartz; »Middle« Cretaceous; Northern Adria.

Mineral composition of the sand and clay samples of the Upper Alban to Cenomanian-Turonian shows a large number of accessory minerals with all their typomorphic features and detrital characteristics. Volcanic minerals are an important component. Volcanic ash, altered to montmorillonite in they clay sample, is a possible source of the diagenetic silica for the formation of authigenic quartz, which is a specific and characteristic feature of the samples also in the Susak-1 well samples. Diagenetic authigenic minerals (aragonite, anhydrite, calcite, dolomite) indicate different environmental conditions in the development of clay and sand, respectively. The mineral association of the samples is believed to represent, in addition to the igneous minerals, the large and complex Alpine distribution area of the characteristic heavy minerals.

### Uvod

U uzorku gline iz podine kvarcnog pijeska (saldame) u Loborici u Istri izvršena je preliminarna odredba mineralnog sastava. Osim detritalnog kvarca u sastavu lake frakcije znatno su zastupljeni pojedinačni idiomorfni individuumi autigenog kvarca, zatim odlomci ili dijelovi kristalizirane kvarcne supstancije s nedovršenim rastom kristala, te čestice ili dijelovi sastavljeni od više udruženih cijelih kristala i dijelova kvarca s prekinutim rastom. Svi se ovi navedeni sastojci odlikuju jasno izraženim zonama rasta ili priraštaja kvarcne supstancije.

Istovjetnost takvog autigenog kvarca utvrđena je znatno ranije, i to odredbom mineralnog sastava uzoraka pijesaka iz bušotine Susak-1 (Mutić, 1968, neobjavljeno). Bušenje je izvršio INA-Naftaplin u svrhu istraživanja ugljikovodika u podmorju Jadrana.

Upravo konstatacija takvog kvarca u navedenim uzorcima, tj. u uzorku gline u Loborici i uzorcima pijesaka u bušotini Susak-1 i bila je poticaj da se u cijelosti revidira mineralni sastav pijesaka u bušotini Susak-1 radi eventualno daljeg iznalaženja zajedničkih obilježja u mineralnom sastavu ovih uzoraka na osnovi kojih bi se mogla izvršiti korelacija njihovog mineralnog sastava (sl. 1).

### Litološko-stratigrafski podaci

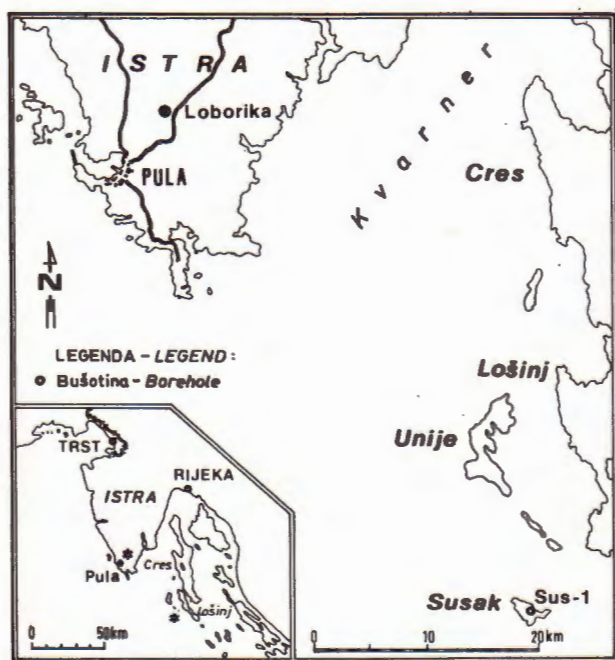
Prema podacima iz dokumentacijskog materijala u INA-Naftaplinu o izvođenju bušačkih radova na bušotini Susak-1 (1970) u intervalu od 18,4–1450 m nije vađena jezgra. Svojstva stijena determinirana

su na osnovi uzoraka iz isplake. Razvoj naslaga odgovara cenoman-turonu. Uzorci pijesaka uzeti su iz intervala od 464–1450 m u čijem su razvoju zastupani vapnenci u izmjeni s dolomitičnim i čertoznim vapnencima, a kristalasti vapnenci u izmjeni sa sivim laporima determinirani su u rasponu od 1179–1230 m.

Razvoj naslaga kvarcnih sedimenata na području Istre odgovara mladem dijelu alba (Polšak, 1965, 1970; Crnković, 1966).

U uzorku svijetlosmede gline iz udubljenja vapnenačke podine iznad koje su naslage kvarcnog pijeska u ležištu Šaulaga mineralošku je analizu izvršio Jović (1963, u: Polšak, 1965; Crnković, 1966). Jović je u lakoj frakciji determinirao angularne i subangularne odlomke kvarca, prizmatске kristale i agregate sitnozrnog kvarca, a u sastavu teške frakcije determinirao je ove minerale u tragovima: granat, amfibol, rutil, biotit, epidot i turmalin. Porijeklo kvarca autor veže za silicijske otopine, a dio pješćane frakcije smatra da je donesen u detritalnom stanju i taložen na starom reljefu.

Istraživanjem naslaga kvarca na području Istre koje se protežu od Žminja na sjeveru do Pule na jugu Crnković & Marić, (1969) utvrdili su glinovitu supstanciju u podini, krovini, a mjestimice i kao izdužene leće u naslagama kvarca, a također i duž vertikalnih i subvertikalnih kanala koji sijeku kvarcne naslage. Autori su naročitu pažnju obratili glini u podini kvarcnih naslaga i u donjim dijelovima tih kanala. Stoga su na originalnom uzorku i pojedinih frakcijama gline iz Lobarike izvršena laboratorijska ispitivanja sastava te gline.



Sl. 1. Položajna karta  
Fig. 1. Situation map

Prema podacima rendgenske analize uzorak gline sadrži kvarc i montmorilonit te ilit i kaolinit. (Analizu izvršila E. Tkalčec u Institutu za kemiju silikata). U infracrvenom apsorpcijskom dijelu spektra koji je izrađen u Institutu »Ruđer Bošković«, određen je montmorilonit, kvarc i klorit. Diferencijalno-termičkom analizom gline dobivene su krivulje s karakterističnim endotermnim i egzotermnim efektima montmorilonita. Izvršena je također kvantitativna kemijska i spektroskopska analiza uzorka gline.

Na temelju rezultata ispitivanja sastava gline autori zaključuju da su kvarcni pijesci i pješčenjaci s autigenim kvarcom genetski vezani s Fe-montmorilonitom. Pri rješavanju geneze kvarcnog pijeska upućuju na pojave i značaj vrela u kršu koji su nosioci velikih količina otopljenog silicija i mulja bogatog glinovitim materijalom. Kvarcne naslage Istre autori smatraju mehano-kemogenim sedimentima.

### Rezultati mineraloške analize

Mineralni sastav pjeskovito-siltne frakcije uzorka gline i uzoraka pijesaka određen je u frakciji od 0,045–0,150 mm. Separacija je teške i lake frakcije izvršena pomoću bromoforma gustoće 2,89. Udjeli teške frakcije dobiveni su jedino u uzorcima pijesaka i uneseni su u tabelu 1. Zbog oskudno zastupanih karakterističnih teških minerala u uzorku gline nije mogla biti izvršena separacija pa su od sveukupnog sastava uključivši i lake minerale učinjena 2 mikroskopska preparata.

Determinacija je mineralnog sastava uzorka izvršena pomoću polarizacijskog mikroskopa i binokularne lupe. U svakom je preparatu teške frakcije uzorka pijesaka iz bušotine Susak-1 izbrojeno 350–400 zrna, a učestalost je minerala izražena u postocima broja njihovih zrna. Najprije su na tabeli mine-

ralnog sastava u kolonu »ukupni sastav teške frakcije« izdvojena opaka zrna, klorit, biotit, anhidrit i ostali minerali. Peta komponenta, tj. »ostali minerali« uzeta je opet kao cjelina, i to kao kolona »prozirna zrna teških minerala« i u njoj su prikazani svi karakteristični minerali teške frakcije. Učestalost prozirnih zrna teških minerala u uzorku gline izražena je samo brojem zrna.

Na isti je način izvršena determinacija i učestalost lakih minerala i ostalih sastojaka u lakoj frakciji kako u uzorcima pijesaka tako i u uzorku gline. U svakom je preparatu lake frakcije izbrojeno oko 150 zrna i listića minerala kao i ostalih sastojaka, a rezultati su u postocima broja tih sastojaka uneseni u tabelu mineralnog sastava.

**1. Uzorak gline iz Loborike.** – Uzorak je gline smeđastosiv sa svjetlosivim gotovo bjeličastim nepravilnim sastojcima vrlo oštih ušiljenih i nepravilnih kontura, a koji se vide i kao nakupine ili gnijezda ili fino raspršeno bjeličasto trunje. Svi ti bjeličasti sastojci odgovaraju autigenoj kvarcnoj supstanciji u sastavu lake frakcije.

U sveukupnom mineralnom sastavu uzorka gline determinirani su ovi teški minerali: epidot, kloritoid, amfiboli, granati, staurolit, disten, cirkon, turmalin, rutil, apatit, augit, hipersten, fibrolit, aragonit, kromit, korund, klorit i biotit. Među opakim zrnima određen je pirit. Od navedenih minerala vulkanogeni su augit, hipersten, cirkon i apatit (tabela 1; table: I, sl. 1, 2, 11, 13; II, sl. 4, 8, 9).

Na originalnom uzorku gline u Istraživačkom odjelu JUCEME izvršena je i rendgenska difrakcijska analiza pomoću Philipsovog rendgenskog uređaja PW 1010. Primijenjeno je  $\text{CuK}\alpha$  zračenje. Rendgenogram je snimljen goniometrijskom tehnikom uz registriranje proporcionalnim brojačem. Analizom je ustanovljeno da uzorak sadrži kvarc, montmorilonit i klorit (sl. 2).

Aragonit je karakteristična i neobična mineralna pojava u sastavu uzorka gline. Autigen je na što upućuju nakupine neorijentiranih kraćih i duljih kristala aragonita poput najfinijih iglica, te kraćih i duljih zaobljenih zrna, gdje pojedini kristal izrasta iz drugog individuuma ili ga čitavog prorasta. Optička orijentacija ovako udruženih kristala odnosno sad jednog sad drugog individuuma ponajbolje dolazi do izražaja s promjenom intenziteta reljefa (pseudoproporcija). Negativnog je reljefa kada su njegovi izduženi kristali paralelni vibracionoj ravnini polarizatora (sl. 3 : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7), a u položaju na to okomitom reljef je istaknut pozitivan (sl. 3 : 1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a, 7a). U položaju kad se vidi njegov negativni reljef aragonit je bezbojan, odnosno bijel, a u položaju istaknutog reljefa je siv. Upravo po efektima pseudoapsorpcije moguće je pratiti međusobne odnose pojedinaca i prepoznavati generacije razvoja kristalizirane aragonitne supstancije. Na tom aragonitu nisu primijećeni nikakvi tragovi korozije, niti lučenja kristala.

Osim nekoliko sitnih okruglastih (vapnenačkih ?) forma fosila (sl. 4, III, 1, 2) u sastavu su uzorka gline utvrđeni i znatno krupniji nepravilni, četverouglasti i izduženi fragmenti i pločice, zatim ulomci koščica, pojedinačni koštani pršljenovi, zubići što su

Mineralni sastav teške i lake frakcije uzorka gline iz Lobarika i uzoraka pijesaka iz bušotine Susak-1  
 Mineral composition of heavy and light fraction in the clay sample from Lobarika and in the sand samples from the Susak-1 well

Redni broj No	Uzorak - Sample	% frakcije fraction		Ukupni sastav teške frakcije - 100% Total composition of heavy fraction - 100%				Prozirna zrna teških minerala - 100% Transparent grains of heavy minerals - 100 %											Sastav lake frakcije - 100% Composition of light fraction - 100%														
		teške heavy	lake light	Opaka zrna Opaque grains	co	b	ah	Ostali Others	ep	ct	am	ga	g	st	cy	zr	t	ru	ti	ap	a	hy	br	f	ar	cr	c	q	f	m	č.st.	č.v.p.	ost. fos.
	<b>LOBORIKA</b>			A = Broj zrna i listića - Number of grains and flakes																													
1.	glina - clay			5	4	3	-	6	2	8	-	15	8	1	3	4	2	-	5	4	2	-	1	18	2	2	61	13	4	4	9	9	
	Bušotina - Well			B = Broj zrna i listića u % - Number of grains and flakes in %																													
	<b>SUSAK-1</b>																																
	sivi karbonatni pijesak: gray carbonate sand:																																
2.	930-940 m	0,20	99,80	35	3	4	2	56	14	1	25	1	32	4	2	4	2	1	1	7	4	2	-	1	-	-	-	61	18	11	6	3	1
3.	1005-1010 m	0,90	99,10	23	2	3	1	71	19	1	18	1	40	5	3	1	1	1	1	4	4	1	-	1	-	-	-	63	20	7	7	2	1
	sivosmeđi karbonatni pijesak: graybrown carbonate sand:																																
4.	1075-1080 m	1,00	99,00	17	2	4	24	53	18	2	24	1	32	3	1	3	2	-	2	7	3	2	-	-	-	-	70	15	9	3	2	1	
5.	1190-1200 m	0,60	99,40	17	1	3	28	51	22	3	22	-	29	3	2	6	3	2	1	2	4	-	1	-	-	-	76	13	2	5	3	1	

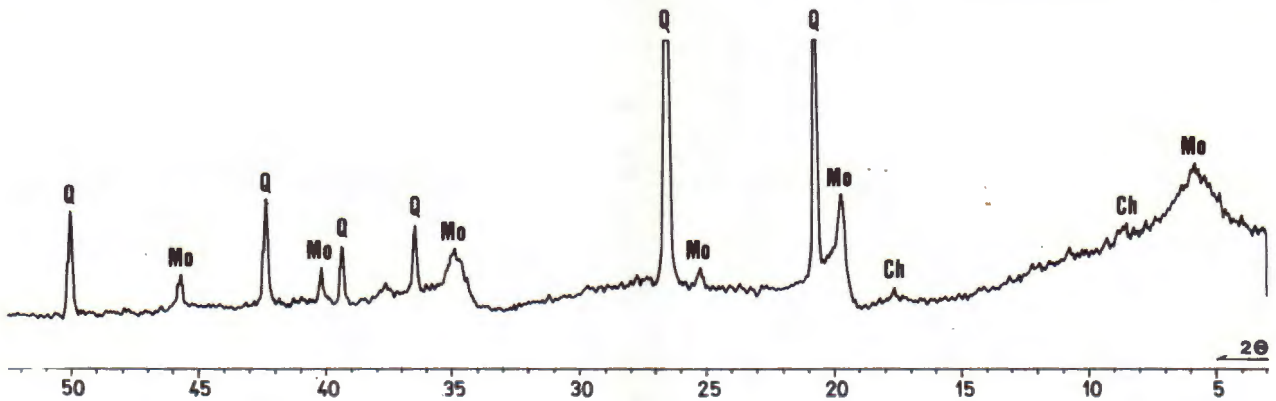
Legenda - Legend

co klorit - chlorite  
 b biotit - biotite  
 ah anhidrit - anhydrite  
 ep epidot - epidote  
 ct kloritoid - chloritoid  
 am amfiboli - amphiboles  
 ga glaukofan - glaucophane  
 g granati - garnets

st staurolit - staurolite  
 cy disten - kyanite  
 zr cirkon - zircon  
 t turmalin - tourmaline  
 ru rutil - rutile  
 ti titanit - titanite  
 ap apatit - apatite  
 a augit - augite  
 hy hipersten - hypersthene

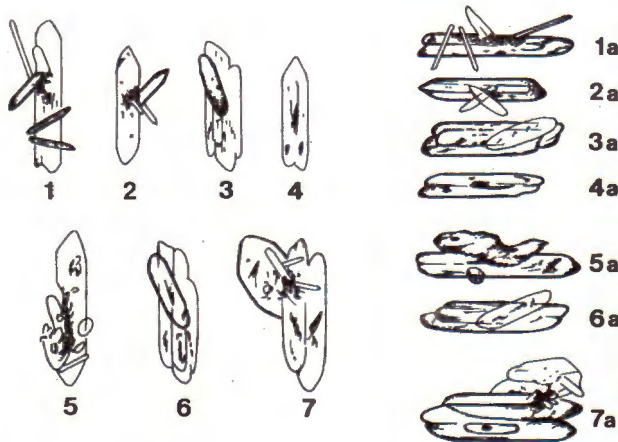
br brukit - brookite  
 f fibrolit - fibrolite  
 ar aragonit - aragonite  
 cr kromit - chromite  
 c korund - corundum  
 q kvarc - quartz  
 f feldspati - feldspars  
 m muskovit - muscovite

č.st. čestice stijena - rock fragments  
 č.v.p. čestice vulkanskog pepela - volc. ash fragments  
 ost. fos. ostaci fosila - fossil remains  
 Ostali - prozirna zrna teških minerala  
 Others - transparent grains of heavy minerals



Sl. 2. Difraktogram uzorka gline iz Lobarike  
Q = kvarc, Mo = montmorilonit, Ch = klorit

Fig. 2. X - ray of the clay sample from Lobarika  
Q = quartz, Mo = montmorillonite, Ch = Chlorite



Sl. 3. Autigeni aragonit u uzorku gline iz Lobarike. Crtano iz mikroskopskog preparata (0,045–0,150 m). Nije u mjerilu.

Fig. 3. Authigenic aragonite in the clay sample from Lobarika. Drawn from the microscopic preparation (0,045–0,150 m). Not to scale.

- 1–7 Izduženi kristali aragonita u položaju negativnog reljefa.  
1–7 Elongate crystals of aragonite in the position of negative relief.
- 1a–7a Isti kristali aragonita u položaju istaknutog pozitivnog reljefa.  
1a–7a The same crystals of aragonite in the position of prominent positive relief.
- 1,1a i 2,2a Aragonit s izraslim i proraslim sitnim igličastim kristalčićima. Orijentacija sićušnih individua prema matičnom kristalu izražena je različitim intenzitetom njihova reljefa (pseudoapsorpcija)  
1,1a i 2,2a Aragonite crystals with over- and intergrown minute needle-like crystals. The orientation of small acicular crystals toward the »host« crystal is expressed in the different intensity of their relief (pseudoabsorption).
- 3,3a i 6,6a Aragonit trojak s inkluzijom subzaobljenog izduženog aragonita.  
3,3a i 6,6a Triple aragonite crystal with inclusion of subrounded elongated aragonite.
- 5,5a Aragonit sa sitnim inkluzijama zaobljenog aragonita.  
5,5a Aragonite with tiny inclusions of rounded aragonite.
- 7,7a Tri generacije kristala aragonita.  
7,7a Three generations of aragonite crystals.

vjerojatno riblji ostaci. Uz rubove su pločasti ulomci skoro bezbojni, a u središnjim dijelovima žućkasti su do žućkastosmeđasti. Na pojedinim se tim dijelovima primjećuje organska struktura. EkspONENT je loma tih sastojaka viši od eksponenta loma kanadskog balzama. Većina njih pokazuje više-manje slabi dvolom i nejednoliko potamnjenje. Mineralna supstanca tih struktura prema podacima iz literature odgovarala bi kolofanu (Barić & Tajder, 1967).

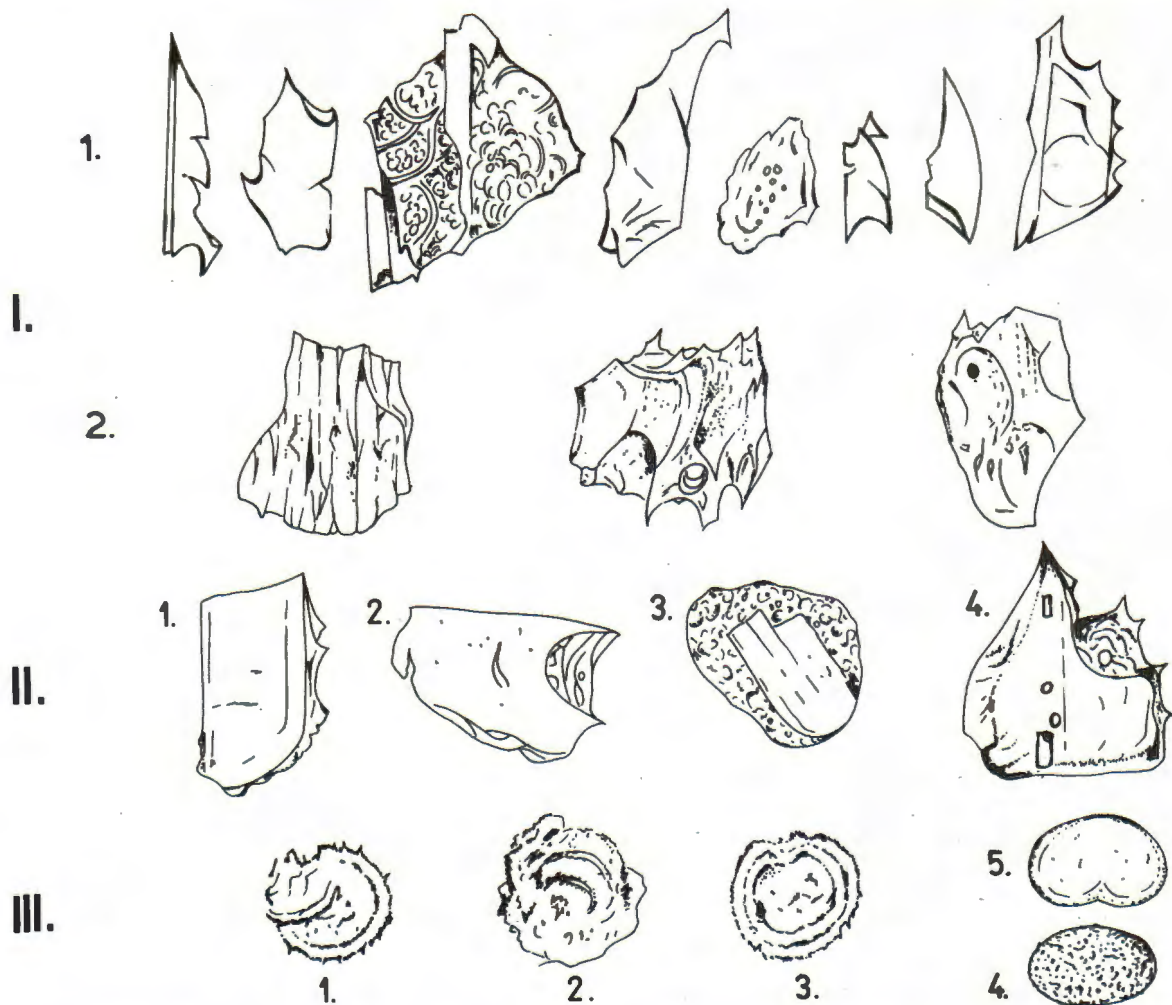
U sastavu gline zastupane su i čestice vulkanskog pepela (sl. 4, I, 1), no češće su oštre krhotinice vrlo svježeg bistrog vulkanskog stakla koje bi prema Sieveru (1962) odgovarale česticama sekundarnog opala koji se, kako ističe autor, često javlja udružen s vulkanskim pepelom u bentonitu.

Sastav lake frakcije uzorka gline iz Lobarike i uzoraka pijesaka iz bušotine Susak-1 pokazao se, uključivši i spomenuti vulkanski pepeo, potpuno identičnim i zbog toga će sastav svih 5 uzoraka biti kasnije obuhvaćen zajedničkim prikazom.

**2. Uzorci pijesaka iz bušotine Susak-1.** – Iz bušotine Susak-1 analizirani su uzorci pijesaka s ovih dubinskih horizonata: 1190–1200 m, 1075–1080 m, 1005–1010 m i 930–940 m. Uzorci iz prva dva dublja intervala su sivosmeđi, a ostala su dva uzorka sivi.

Uzorci su prije laboratorijske obrade za mineralošku analizu pregledani pod binokularnom lupom. Prilično homogen sastav uzoraka čine čestice karbonatnih stijena, zatim subromboedri i romboedri karbonata, zrna prozirnog i neprozirnog kvarca i naku-pine tih zrna. Vrlo se često susreće pirit, a ima i nešto malo limonitiziranih ljuskica. Karbonatne su čestice u uzorcima angularne do subangularne, a među kvarcom primijećena su i subzaobljena zrna. Prilično visokim stupnjem sferičnosti odlikuju se čestice iz dublja dva intervala za razliku od uzoraka s dva viša horizonta koji sadrže znatno više izduženih i nepravilnih čestica i zrna. Na osnovi vizuelne procjene prva dva uzorka odozgor odgovaraju sitnozrnatom pijesku, dok su druga dva uzorka iz dubljih nivoa sitnijeg zrna i odgovaraju pjeskovitom siltu.

Prema ranijoj litološkoj odredbi uzorci su pijesaka iz bušotine Susak-1 karbonatni pijesci. Laboratorijskim je postupkom istodobnog otapanja kalcita i dolomita u uzorcima određen ukupni karbonat, čiji se sadržaj kreće od 87,04–95,41% (kalcit + dolomit).



Sl. 4. Vulkanski pepeo, vulkanogeni kvarc i feldspati, silicificirani obrisi fosila u uzorku gline iz Lobarike i u uzorcima pijesaka iz bušotine Susak-1.  
Crtano iz mikroskopskih preparata lake frakcije (0,045–0,150 mm). Nije u mjerilu.

Fig. 4. Volcanic ash, volcanic quartz and feldspars, silicified fossil remains in the clay sample from Lobarika and in the sand samples from the Susak-1 well.  
Drawn from microscopic preparations of light fraction (0,045–0,150 mm). Not to scale.

I. Vulkanski pepeo – Volcanic ash

- 1 Uzorak gline iz Lobarike. – Clay sample from Lobarika.
- 2 Uzorak pijeska 930–940 m iz bušotine susak-1. – Sand sample 930–940 m from the Susak-1 well.

II. 1,2 – Vulkanogeni kvarc u uzorku pijeska 930–940 m iz bušotine Susak-1. – Volcanic quartz in the sand sample 930–940 m from the Susak-1 well.

- 3 – Vulkanogeni feldspat u čestici vulkanskog stakla u uzorku pijeska 930–940 m iz bušotine Susak-1. – Volcanic feldspar in a volcanic glass fragment; sand sample 930–940 m from the Susak-1 well.

- 4 – Vulkanogeni feldspat (sraslac) u uzorku pijeska 1005–1010 m iz bušotine Susak-1. – Volcanic feldspar (twin) in the sand sample 1005–1010 m from the Susak-1 well.

III. Silicificirani ostaci fosila – Silicified fossil remains.

- 1,2 – Uzorak gline iz Lobarike – Clay sample from Lobarika.
- 3 – Uzorak pijeska 1190–1200 m iz bušotine Susak-1. – Sand sample 1190–1200 m from the Susak-1 well.
- 4 – Uzorak pijeska 1005–1010 m iz bušotine Susak-1. – Sand sample 1005–1010 m from the Susak-1 well.
- 5 – Uzorak pijeska 1075–1080 m iz bušotine Susak-1. – Sand sample from the Susak-1 well.

Tim se postupkom nije išlo do potpunog otapanja karbonata kako bi se na taj način od razaranja i eliminiranja sačuvale neke karakteristične mineralne vrste u sastavu. Upravo zbog toga su u preparatima teške i lake frakcije zaostala zrna kalcita i dolomita koja su i pripomogla provjeravanju determinacije kalcita i dolomita u sastavu.

**Teška frakcija.** – Revizijom mineralnog sastava uzoraka pijesaka iz bušotine Susak-1 proširio se spektar determiniranih vrsta u sastavu teške frakcije.

Ranije su u sastavu utvrđeni ovi minerali: epidot, kloritoid, amfiboli, granati, staurolit, disten, cirkon, turmalin, rutil, titanit, kromit i apatit, zatim listićavi minerali klorit i biotit. U sastavu opakih zrna determiniran je pirit. Ovom ponovnom odredbom mineralnog sastava u uzorcima pijesaka utvrđeni su još i ovi minerali: augit, hipersten, anhidrit, glaukofan, fibrolit i brukit.

Granati, amfiboli i epidot su najučestaliji mineralni sastojci uzoraka pijesaka. Također su redoviti u

sastavu ali znatno slabije učestalosti: staurolit, disten, apatit, cirkon, turmalin, kloritoid i titanit. U po jednom uzorku manjkaju: glaukofan, rutil i hipersten, dok su akcesorni: brukit, fibrolit i kromit. Anhidrit je posebna i količinski značajna intrabazenska autigena komponenta mineralnog sastava naročito u uzorcima iz dublja dva intervala u bušotini. Od listićavih je minerala biotit obilniji od klorita. Pojedinačni i nakupine autigenih heksaedara piritu susreću se u sastavu opakih zrna; naročito su česti u sastavu uzoraka iz dublja dva intervala bušotine.

Posebno obilježje mineralne asocijacije pijesaka predstavljaju vulkanogeni minerali: augit, cirkon, hipersten, hornblend, apatit i biotit. Idiomorfni cirkon sa zaostalim vulkanskim staklom (tabla I, sl. 10), zatim staklaste inkluzije u cirkonu i hiperstenu (tabla I, sl. 14,7), vrlo svježi idiomorfni apatit (tabla II, 6-9), svježa ali kršena hornblend (tabla II, sl. 1) idiomorfni biotit sa zaostalim konturama inkluzija vjerojatno apatita (tabla II, sl. 3), sve te navedene tipomorfne odlike upućuju na magmatsko porijeklo spomenutih minerala. Zastupana su u sastavu i zaobljena zrna tih istih minerala kao i zrna s reliktima trošenja kao npr. fino nazubljen augit i izmijenjen hipersten (tabla I, 6, 9).

Također se i ostali minerali u sastavu uzoraka odlikuju raznolikošću u pogledu veličine zrna, svježine kao i učinaka mehaničkog trošenja zrna i izmjene u njihovom sastavu. Primijećeni su nadalje autigeni priraštaji na distenu, staurolit s detritalnom jezgrom, detritalni apatit sa staklastom inkluzijom porijeklom je iz starijih piroklastita kao i druga detritalna obilježja.

**Laka frakcija.** – Sastav lake frakcije svih 5 uzoraka čine kvarc, feldspati, muskovit, čestice stijena, čestice vulkanskog pepela i relikti forma fosila.

Kvarc znatno dominira u sastavu svih 5 uzoraka. Na osnovi tipomorfnih odlika genetski su izdvojena četiri varijeteta kvarca:

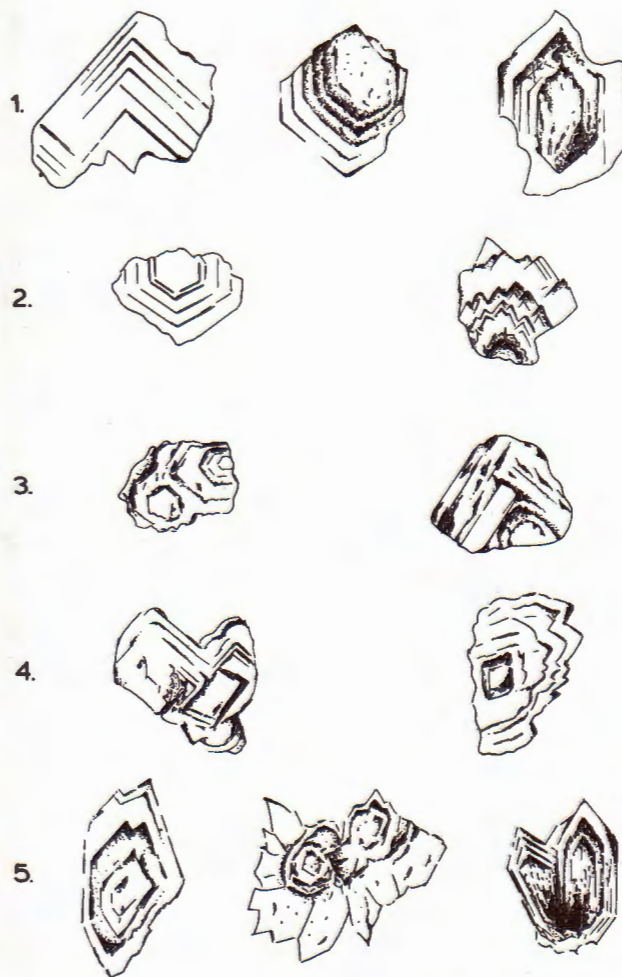
1. – Detritalan subzaobljen i zaobljen, često sferičan kvarc s izrazitim učincima dugog pretaložavanja ili transporta.

2. – Vrlo svježi i ponajčešće malo izduženi kvarc s inkluzijama paralelno i poput snopića orijentiranih vrlo svježih svijetlomodrih kristalića amfibola, što vjerojatno upućuje na relativno blisko metamorfno izvorište kvarca.

3. – Vulkanogeni idiomorfni kvarc sa zaostalim vulkanskim staklom na njegovim konturama, zatim staklo u udubljenjima ili »zaljevima« (sl. 4, II, 1, 2) na kvarcnim zrcima koji se pripisuju magmatskoj resorpciji i kvarc u kojem su nizovima sićušnih igličastih cirkona markirane zone rasta kvarcne supstancije u magmi i slično.

4. – Brojne i raznolike forme autigenog kvarca najznačajnija je pojava u mineralnom sastavu uzorka gline iz Lobarika i uzoraka pijesaka iz bušotine Susak-1. U tom su sastavu znatno zastupane kristalne forme kvarca, i to cijele i kršene s jasno i oštro izraženim nizovima zona priraštaja kristalizirane supstancije, i to nekoliko tih zona, pa i više njih, a na jednom takvom dijelu kvarcne supstancije konstatirane su 23 zone priraštaja. Unutar pojedinih zona ili priraštaja kvarcne supstancije primjećuje se fina

smeđasta nejednoliko raspodijeljena supstancija katkada slabo crvenkasta od željezovite supstancije. Ta je uklopljena fina nečistoća ponajčešće vidljiva u završnim dijelovima pojedinih zona, dok su početne daljnje faze priraštaja redovito bistre i čiste (sl. 5). Smeđasta je supstancija češća u zonama kvarcnih priraštaja u uzorcima iz dublja dva intervala u bušotini Susak-1. Rozete su interesantna forma kvarcne autigene supstancije. Upravo se u tim formama tu i tamo u centralnim dijelovima primjećuju djelići obrisa forma fosila.



Sl. 5. Autigeni kvarc u uzorku gline iz Lobarika i u uzorcima pijesaka iz bušotine Susak-1. Crtano iz mikroskopskih preparata lake frakcije. (0,045–0,150 mm) Nije u mjerilu.

Fig. 5. Authigenic quartz in the clay sample from Lobarika and in the sand samples from the Susak-1 well.

Drawn from the microscopic preparations of light fraction. (0,045–0,150 mm). Not to scale.

- 1 – Uzorak gline iz Lobarika. – Clay sample from Lobarika.
- 2 – Uzorak pijeska 930–940 m iz bušotine Susak-1. Sand sample 930–940 m from the Susak-1 well.
- 3 – Uzorak pijeska 1005–1010 m iz bušotine Susak-1. Sand sample 1005–1010 m from the Susak-1 well.
- 4 – Uzorak pijeska 1075–1080 m iz bušotine Susak-1. Sand sample 1075–1080 m from the Susak-1 well.
- 5 – Uzorak pijeska 1190–1200 m iz bušotine Susak-1. Sand sample 1190–1200 m from the Susak-1 well.

I među feldspatima su zastupana zrna detritalnog i vulkanogenog porijekla. Obilnija su u sastavu detritalna zrna. Zastupani su hipidiomorfni, rjeđe nepravilni feldspati, ponajčešće su subzaobljeni i zaobljeni, često s tragovima mehaničkog trošenja po površini zrna a i s tragovima izmjene u sastavu. U odnosu na indeks loma nižeg su ili vrlo bliskog indeksu loma kanadskog balzama, što bi odgovaralo albitu i oligoklasu. Prilično su rijetki feldspati višeg indeksa loma. Najčešći su samci, ali zastupani su i feldspati sraslačke građe. Primijećen je i mikroklin.

Vulkanogeni varijetet feldspata primijećen je u čestici zaobljenog vulkanskog stakla; na nekim se od njih primjećuje zaostalo vulkansko staklo po obodu zrna, ali i u »zaljevima«, a neki opet sadrže staklaste inkluzije (sl. 4, II, 3, 4). Naročito se četverouglastim vrlo ostrim i britkim konturama i lomom odlikuju svježja staklasta zrna bez inkluzija, ali i s inkluzijama apatita; znatno su nižeg indeksa od indeksa loma kanadskog balzama, te bi možda ta zrna odgovarala sanidinu. Poneka zrna feldspata, poput kvarca, sadrže inkluzije svijetlodrogog amfibola.

Među česticama stijena utvrđen je mikrokvarcit, tinjčasti mikrokvarcit, zatim čestice što ih čine po tri minerala (muskovit-kloritoid i neodrediva zrna koja interferiraju u bojama višeg reda), katkada i dva minerala (kvarc-feldspat, muskovit-kloritoid i dr.) i čestice kvarcfeldspatskih stijena.

U sastavu su lake frakcije uzoraka zastupane i čestice vulkanskog pepela s dobro izraženom karakterističnom strukturom. Te su čestice nižeg indeksa loma od indeksa loma kanadskog balzama te bi prema tome odgovarale kiselom vulkanskom staklu (sl. 4, I, 1, 2).

Osim već spomenutih obrisa forma fosila u rozetama kvarcne autigene supstancije te se forme fosila u sastavu lake frakcije susreću i pojedinačne, bilo da su potpuno silicificirane ili su konturirane sa submikroskopskim sićušnim zrcima neodredive slabo smeđaste supstancije (sl. 4, III, 1-5).

### Diskusija i zaključak

Mineraloška istraživanja, čiji se rezultati iznose u ovom prikazu, izvršena su u uzorku gline iz podine kvarcnog pijeska u Lobarici i uzorcima pijesaka iz bušotine Susak-1. Ovom je mineraloškom analizom obuhvaćeno dakle samo 5 uzoraka. Pa ipak, u cijelosti uzevši, analizom je utvrđen isti sastav akcesornih minerala u njihovim taložnim sredinama, tj. u četiri uzorka pijesaka s različitim dubinskim nivoa u bušotini Susak-1 i lateralno u prostoru na znatno udaljenoj relaciji, u uzorku gline iz podine kvarcnog pijeska u Lobarici, u Istri.

U mineralnom sastavu gline i pijesaka determiniran je znatan broj minerala sa svim njihovim tipomorfni odlikama i detritalnim obilježjima, a također i autigeni minerali. Na osnovi postignutih rezultata u uzorcima su utvrđeni i izdvojeni argumenti koji potkrepljuju istovjetnost sastava terigenog materijala, ali i argumenti koji upućuju na diferencijaciju okoliša tih dviju udaljenih taložnih sredina.

Na istovjetnost sastava u svih pet analiziranih uzoraka upućuju ove konstatacije:

1. Akcesorni minerali porijeklom iz matičnih stijena niskog i visokog stupnja metamorfoze, starijih klastita i piroklastita, kiselih i bazičnih magmatskih stijena. Kloritoid i glaukofan u toj mineralnoj asocijaciji značajni su i smatraju se kritičnim indeks mineralima ili dijagnostičnim mineralima uvjeta metamorfizma;
2. Asocijacija tipomorfni vulkanogenih varijeteta cirkona, augita, hiperstena, hornblende, apatita i biotita u teškoj te kvarca i feldspata naročito sanidina u lakoj frakciji;
3. Vulkanski pepeo ili staklo;
4. Sferične i ovalne vjerojatno vapnenačke (neodredive) silicificirane forme fosila podjednake veličina;
5. Dijagenetski razvoj autigene kristalizirane kvarcne supstancije također je karakteristično i značajno zajedničko obilježje mineralnog sastava lake frakcije svih 5 analiziranih uzoraka. Taj je razvoj kvarca najizrazitije autohtono specifično obilježje koje zbližuje, gotovo povezuje u jednu sedimentacijsku cjelinu okoliše sredina gline u Lobarici i pijesaka u bušotini Susak-1.

Diferencijacija ili nepodudarnost koja je izražena u mineralnom sastavu uzoraka intrabazenskog je karaktera i vezana je za razvoj autigenih minerala u specifičnim dijagenetskim uvjetima taložnih sredina gline i pijesaka. Anhidrit je u sastavu pijesaka u bušotini Susak-1 »detritalan« u najužem intraformacijskom smislu (Tišljarić et al., 1981). Autigeni aragonit bez relikata korozije, što je markantno izraženo na autigenom aragonitu zbog kisele sredine naslaga kvartara nedaleko Đakova (Mutić, 1984), jedini je karbonat u sastavu gline u Lobarici (osim jednog romboedra dolomita) i obilježava blago alkalnu taložnu sredinu. Osim tog aragonita u uzorku gline iz Lobarice (»srednja« kreda) i spomenutog autigenog aragonita iz okolice Đakova (kvartar), autigeni je aragonit utvrđen također i u uzorku boksita u Hercegovini (gornja kreda – slatkovodni neogen: Mutić, 1990, neobjavljeno). Svi ti nalazi autigenog aragonita u različitim razdobljima geološke prošlosti ipak ne govore o njegovoj nestabilnosti. Correns (1969) pretpostavlja da tlak može biti efektivan kao katalizator za izvjesne transformacije minerala, jer mnogi metastabilni minerali npr. dijamant i aragonit nisu transformirani u toku geološke prošlosti u stabilne forme.

Ribljii su ostaci također nađeni u istom uzorku gline u Lobarici što bi vremenski vjerojatno odgovaralo pojavama dobro sačuvanih ribljih ostataka u naslagama apt-alba u »komenskim škriljancima« na Tršćansko-komenskoj visoravni (Pleničar, 1960).

S utvrđenom vulkanskom komponentom u mineralnom sastavu uzoraka predstavljeno je magmatsko izvoriste minerala, čestica vulkanskog pepela na što upućuje i zaostalo vulkansko staklo na rubovima cirkona, kvarca i feldspata kao i staklaste i plinovite inkluzije u tim mineralima, a također i u hiperstenu i apatitu (sl. 4, table I, II).

Zaostale neizmijenjene čestice vulkanskog pepela, određen montmorilonit u sastavu gline u Lobarici i utvrđen autigen kvarc, sve to zajedno potkrepljuje pretpostavku o porijeklu silicijske supstancije i diagenetskom procesu u razvoju autigenog kvarca u saldama. Siever (1962) smatra da je devitrifikacijom marinskih naslaga pepela oslobođeni silicij vjerojatno značajan izvor diagenetskog silicija.

Premda u uzorcima pijesaka iz bušotine Susak-1 nedostaje glina, to se ipak, analogno nalazu istih vulkanogenih minerala i pepela u njihovom sastavu, diageneza autigenog kvarca može također vezati za proces devitrifikacije vulkanskog pepela u sva 4 uzorka, odnosno na njihovim dubinskim intervalima. Možda se ovi horizonti po autigenom kvarcu približuju pojavama interstratificiranih tankih slojeva čerta u tanko pločastim vapnencima »srednje« krede na Tršćansko-komenskoj visoravni (Pleničar, 1960). Na području južne Istre u naslagama vapnenaca i manjim dijelom dolomita u malim količinama osim lapora i breča također je zastupan i čert (Polšak, 1965). Pretpostavlja se da pojava vulkanogenih minerala i pepela u analiziranim uzorcima pijesaka iz bušotine Susak-1 i gline u Lobarici odgovara povremenim submarinskim vulkanskim eksplozijama s kojima koincidiraju i donosi akcesornih detritalnih minerala iz sjeverozapadnih predjela.

Postignuti rezultati mineraloške analize uzorka gline iz Lobarike i uzoraka pijesaka iz bušotine Susak-1 s detritalnim obilježjima mineralnih sastojaka upućuju na veliki i složeni alpski distributivni areal akcesornih minerala.

Prvi flišni sedimenti istočnih Alpa nastaju u baremu; oni su predorogeni ili rano orogeni, dok su glavne terigene flišne sekvencije albske starosti (Wildi, 1985). Na osnovi tipičnih karakterističnih asocijacija teških minerala više-manje kontinuiranih flišnih jedinica u tom su prostranstvu izdvojene provincije teških minerala na kojima se zasnivaju pretpostavke o paleogeografskoj evoluciji alpskog Tetisa i njegovih kopnenih rubova od rane krede (Wolletz, 1963, Wildi, 1985). Karakteristični teški minerali tih arenitnih flišnih bazena utvrđeni su i u sastavu analiziranih uzoraka pijesaka iz bušotine Susak-1 i uzorku gline u Lobarici, gdje su vjerojatno transportirani i u taložne sredine »srednje« krede u ovim našim prostorima.

#### Zahvale

Zahvaljujem INA-Naftaplenu za korištenje dokumentacijskih podataka bušotine Susak-1, a posebno sam zahvalna mr. T. Jagaćić, ing. geol. na iskazanoj susretljivosti i pomoći oko dobivanja podataka. Također zahvaljujem Istraživačkom odjelu JUCEME za izvršenu rendgensku analizu. Kolegama u Institutu za geološka istraživanja izražavam svoj zahvalnost, i to ing. I.

Galoviću za uzorak gline iz Lobarike, dru E. Prohiću za pomoć u interpretaciji rendgenograma, dru I. Gušiću za prijevod teksta na engleski jezik i St. Koščalu za izradu crteža.

Primljeno: 4. I. 1990.

Prihvaćeno: 7. V. 1990.

#### LITERATURA

- Barić, Lj. & Tajder, M. (1967): Mikrofiziografija petrogenih minerala. Školska knjiga, 235, Zagreb.
- Correns, C. (1969): Introduction to mineralogy. 1-484, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- Crnković, B. (1966): Naslaga kvarcnog pijeska i pješčenjaka (saldame) Istre. Referati VI savetovanja, Deo II, Miner. i petrog. rudna ležišta. Razno, Savez geol. društ. SFRJ, 637-695, Ohrid.
- Crnković, B. & Marić, L. (1969): Montmorilonitska glina u kvarcnim naslagama (saldama) Istre. Acta geol., 6, (prir. istraž. Jugoslav. akad. znan. umjetn.) 17-25, Zagreb.
- Mutić, R. (1967): Pijesak otoka Suska. Geol. vjesnik, 20, 41-56, Zagreb.
- Mutić, R. (1968): Sedimentno-petrografska obrada uzoraka pijesaka iz bušotine Susak-1. Fond str. dokum. Inst. za geol. istraživanja, br. 4585, Zagreb.
- Mutić, R. (1981): Akcesorni cirkon iz srednjomiocenskih tufnih naslaga središnje Hrvatske i zapadne Slavonije. Geol. vjesnik, 34, 71-83, Zagreb.
- Mutić, R. (1981): Pirokseni u kvartarnim naslagama Krškog polja, Zagrebačkog Posavlja i u bušotinama IG-1, IG-2. Sanidin u kvartarnim naslagama bušotine IG-1, i IG-3. Geol. vjesnik, 34, 85-93, Zagreb.
- Mutić, R. (1982): Akcesorni apatit iz srednjomiocenskih tufnih naslaga središnje Hrvatske i zapadne Slavonije. Geol. vjesnik, 34, 71-83, Zagreb.
- Mutić, R. (1983): Vulkanski pepeo planine St. Helensa (Washington, USA). Geol. vjesnik, 36, 189-201, Zagreb.
- Mutić, R. (1984): Aragonit u kvartarnim naslagama nedaleko Đakova u Slavoniji (Hrvatska). Geol. vjesnik, 37, 105-115, Zagreb.
- Pettijohn, F. J., Potter, F. E. & Siever, R. (1973): Sand and Sandstone. Springer-Verlag, p. XVI + 618, Berlin - Heidelberg - New York.
- Pleničar, M. (1960): Stratigrafski razvoj krednih plasti na južnem Primorskem in Notranjskem. Geologija, 6, 22-118, Ljubljana.
- Polšak, A. (1965): Geologija južne Istre s osobitim obzirom na biostratigrafiju krednih naslaga. Geol. vjesnik, 18/2, 415-509, Zagreb.
- Polšak, A. (1970): Osnovna geološka karta SFRJ, Tumač za list Pula. Sav. geol. zavod. Beograd.
- Siever, R. (1962): Silica solubility, 0°-200°, and the diagenesis of siliceous sediments. Journal. Geol., 70, 127-150.
- Tišljar, J., Đurasek, N., Sokač, B. & Velić, I. (1981): Facijalna korelacija donje krede Jadranskog područja. Zbornik radova znan. savj. za naftu, JAZU, A, 8, 163-170, Zagreb.
- Wildi, W. (1985): Heavy mineral distribution and dispersal pattern in penninic and ligurian flysh basins (Alps, northern Apennines), Gior. Geologia, 47, 77-99, Bologna.
- Wolletz, G. (1963): Charakteristische Schwermineralgehalte in Kreide - un alttertiär - Schichten der nördlichen Ostalpen. Jb. geol. Bundesanst., 106, 89-120.



## Correlation of the accessory minerals from the clay underlying the quartz sand in Lobarika, Istria, and from the sands in the Susak-1 well (»Middle« Cretaceous, Northern Adria, Yugoslavia)

R. Mutić

Mineralogical research whose results are reported in this paper has been carried out on a clay sample from the footwall of the quartz sand deposits in Lobarika, Istria (saldames), and on the samples of carbonate sands from the deep well Susak-1 (Text-fig. 1).

In 1968, during the initial exploration of the Susak-1 well, mineralogical analysis of the four samples of carbonate sands from the depth interval 464–1450 m (Table 1), consisting of Cenomanian–Turonian dolomitized and chertose limestones, recorded the presence of authigenic quartz in the light mineral fraction. More recently, the preliminary mineral composition analysis of the clay sample underlying Albian quartz sands in Lobarika, Istria, showed identical occurrence of diagenetic authigenic quartz. This result promoted the revision of the mineral composition of the well samples, in order to check for possible additional common characteristics, which would enable a more complete correlation of the mineral composition between both groups of samples.

Although only 5 samples have been analysed, this analysis as a whole, showed identical mineral composition in both groups of samples, indicating roughly the same type of depositional environment at various depths in the Susak-1 well (4 samples) and, laterally, at a distance of 56 km, in the clay sample in Lobarika, Istria.

The identity of the composition of all the five analysed samples is particularly evidenced by their following common characters:

(1) The presence of accessory minerals derived from the high-grade and low-grade metamorphic rocks, older clastic and pyroclastic rocks, and acid and basic igneous rocks. Of especial importance within that association are chloritoid and glaucophane, which are critical and/or diagnostic for particular metamorphic conditions (Table 1).

(2) The presence of the association of the typomorphic volcanic varieties of zircon, augite, hypersthene, hornblende, apatite and biotite in the heavy fraction, and quartz and feldspar in the light fraction (Pls. I-II; Fig. 4, II).

(3) The presence of volcanic ash or glass (Fig. 4, I.).

(4) The presence of spherical and oval, probably calcareous, indeterminate fossil forms of the same size and shape (Fig. 4, III).

(5) Diagenetic growth of authigenic crystalline quartz is also a common characteristic of the light mineral fraction of all 5 analysed samples (Text-fig. 5). This type of quartz growth is the most prominent autochthonous specific feature, indicating the homogeneity and unity of the sedimentary depositional environments of the sands in the Susak-1 well and the Lobarika clay in Istria on a regional scale.

The differences in the mineral composition of the analysed samples, which do exist, are of intrabasinal character and are caused by the differential development of authigenic minerals in specific diagenetic environments of sand and clay, respectively. Thus, anhydrite in the sands of the Susak-1 well is strictly »detrital«, in the most restricted intraformational sense, while clear

and fresh calcite and dolomite rhombohedrons and subrhombohedral forms indicate a quiet marine environment. The authigenic aragonite without corrosion traces (Text-fig. 3) is the only carbonate mineral in the Lobarika clay and indicates a slightly alkaline depositional environment. The fish remains found also in the same clay sample. Well-preserved fish remains are known from Aptian–Albian »Komen Slates« from the Trieste–Komen plain in the Trieste hinterland (Pleničar, 1960).

The igneous component established in the mineral composition of the samples represents the magmatic source of the minerals, the volcanic ash grains, which is also proved by the remains of volcanic glass on the margins of zircon, quartz and feldspar grains, as well as glassy and gaseous inclusions in these minerals (Text-fig. 4, Pls. I-II).

The volcanic ash particles remained in the Lobarika clay sample (determined as montmorillonite – Text-fig. 2) indicate the devitrification of the volcanic ash in the marine environment (Siever, 1962), and the releasing of the siliceous matter involved in the genesis of the authigenic crystallized quartz, which was also identified in the microscopic preparation of the clay light fraction.

Although clay is absent from the sand samples in the Susak-1 well, the diagenesis of the authigenic quartz, analogously to the find of the same volcanic relicts in their composition, may be connected also to the devitrification processes of the volcanic ash in all the four samples, that is, at their respective depth intervals. Maybe these levels, with their authigenic quartz, come close to the thin lense – and nodule-like chert intercalations in the platy and thin-bedded »Middle« Cretaceous limestones on the Trieste–Komen plain (Pleničar, 1960) and in Istria (Polšak, 1965).

The occurrences of igneous minerals and volcanic ash are thought to correspond to the occasional events regarding undersea explosive volcanic activity which coincides with the influx of accessory detrital minerals from the northwestern regions.

The results obtained by the mineralogical analysis of both groups of samples (a clay sample from Lobarika and sand samples from the Susak-1 well) indicate, with their characteristic detrital features, a large and complex Alpine distribution areas of the accessory minerals.

The earliest flysch sediments in the eastern Alps were formed in the Barremian; they are pre-orogenic or early orogenic, while the main flysch sequences are Albin (Wildi, 1985). Based on typical and characteristic heavy mineral associations in the more or less continuous flysch units, heavy mineral provinces could be established in that area. They served as a basis for attempting the reconstruction of the paleogeographic evolution of the Alpine Tethys and its continental margins since the Early Cretaceous (Wolletz, 1963, Wildi, 1985). The heavy mineral associations characteristic of those arenitic flysch basins have also been established in both the Lobarika clay sample and in the Susak-1 well sand samples, they have probably been transported also into the »Middle« Cretaceous depositional environments in our regions.

TABLA - PLATE I

Vulkanogeni teški minerali (258-297 X).  
Volcanic heavy minerals (257-297 X).

I. Lobarika

- 1,2 AUGIT - AUGITE
- 11 CIRKON - ZIRCON, polukristal - half-crystal.
- 13 CIRKON - ZIRCON, kršen, s inkluzijom plina i stakla  
- broken, with the gaseous and glassy inclusions.

II. Bušotina Susak-1 - Susak-1 well.

- 3,4 AUGIT - AUGITE, vrlo svjež - very fresh, uzorak -  
sample 930-940 m.
- 5,6 AUGIT - AUGITE, vrlo svjež - very fresh, uzorak -  
sample 1075-1080 m.
- 7 HIPERSTEN - HYPERSTHENE, svjež, s inkluzijama  
stakla - fresh, with the glassy inclusions, uzorak - sample  
1075-1080 m.
- 8,9 HIPERSTEN - HYPERSTHENE, detritalan - detritic,  
uzorak - sample 930-940 m.
- 10 CIRKON - ZIRCON, sa zaostalim vulkanskim staklom  
i s inkluzijama plina - with remained volcanic glass and  
inclusions of gas, uzorak - sample 930-940 m.
- 14 CIRKON - ZIRCON, kršen, s inkluzijom vulkanskog  
stakla - crashed, with inclusion of the volcanic glass,  
uzorak - sample 1190-1200 m.
- 12 CIRKON - ZIRCON, uzorak - sample 1190-1200 m.
- 15 CIRKON - ZIRCON, uzorak - sample 1005-1010 m.

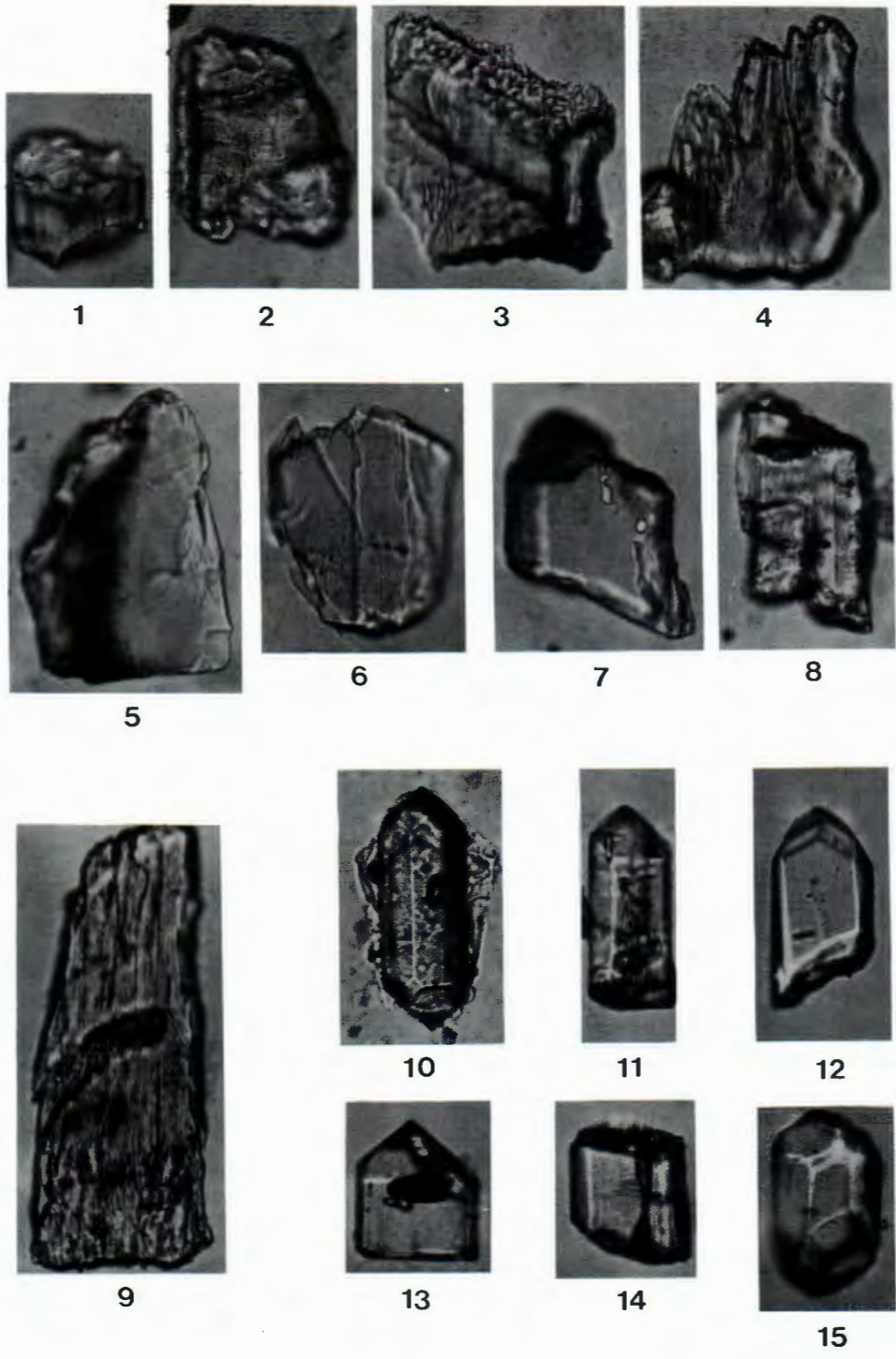


TABLA - PLATE II

Vulkanogeni teški minerali (257-297 x).

Volcanic heavy minerals (257-297 x).

I. LOBORIKA

4 HORNBLENDA, zelenosmeda - HORNBLLENDE, greenbrown.

8,9 APATIT - APATITE (137 x, 55 x).

II. Bušotina - well SUSAK-1

1. HORNBLENDA, smeđa - HORNBLLENDE, brown, uzorak - sample 930-940 m.

2. HORNBLENDA, zelena - HORNBLLENDE, green, uzorak - sample 930-940 m.

3. BIOTIT, smeđi - BIOTITE, brown, uzorak - sample 930-940 m.

5. HORNBLENDA, zelena - HORNBLLENDE, green, uzorak - sample 1075-1080 m.

6. APATIT, s pleohroitskom jezgrom poput skeleta i sićušnim inkluzijama vulkanskog stakla - APATITE, with pleohroic core skelet-like and minute inclusions of the volcanic glass, uzorak - sample 1190-1200 m.

7. APATIT, vrlo svjež - APATITE, well fresh, uzorak - sample 1190-1200 m.

Metamorfni - metamorphic mineral (282x, 291x).

10,11 GLAUKOFAN - GLAUCOPHANE, uzorak - sample 1075-1080 m.

