

Geol. vjesnik	33	213—225	3 slike u tekstu 2 tabele i 2 table	Zagreb, 1981
---------------	----	---------	--	--------------

551.781:553.492

Boksiti starijeg paleogena na otocima sjevernog Jadrana

Boris SINKOVEC¹ i Krešimir SAKAČ²

¹ Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, Pierottijeva 6, 41000 Zagreb

² Geološko-paleontološki muzej, Zagreb, Demetrova 1, 41000 Zagreb

Boksiti starijeg paleogena veoma su rasprostranjeni na otocima sjevernog Jadrana. Opisan je geološki položaj i uvjeti formiranja ležišta, iznose se podaci o kemijskom i mineralnom sastavu boksita. Ustanovljeno je da je zbog ranih i kasnih postgenetskih procesa nastalo nekoliko generacija hidrargilita.

PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Boksiti na otocima sjevernog Jadrana bili su zanemareni u znanstvenim istraživanjima, pa je o njima objavljeno daleko manje podataka u odnosu na istovjetne boksite susjednih područja Istre i Dalmacije. Tomu ne nalazimo pravog razloga jer su oni ne samo široko rasprostranjeni već su veoma rano postali objektom žive rudarske djelatnosti. Istraživanja, a potom otkopavanje ležišta boksita započela su još prije Prvog svjetskog rata, i ona se s manjim prekidima vrše do danas.

Među najstarije podatke o prisutnosti boksita na ovim otocima ide napomena Waagena (1905), koji ga jednako kao većina tadašnjih bečkih geologa naziva »Bohnerz«. Opisujući boksite šire regije usputno spominju i boksite otoka sjevernog Jadrana više stranih autora, npr. Kerner (1920), Crema (1921), Eichleiter & Hackl (1920), Waagen (1936), Quitzow (1944), Weisse (1948) i dr. S nešto više pojedinosti opisuje ležišta boksita Lošinja i Cresa Socin (1941), a otoka Paga Tolić (1951—53).

Na listovima Osnovne geološke karte SFRJ, a osobito u tumačima ovih geoloških karata za područje sjevernog Jadrana, autori su neujednačeno obradili ležišta tamošnjih boksita. Tako uz dobre opise o načinu pojavljivanja boksita u području lista Raba (Mamužić & Milan, 1966. i 1973) i Cresa (Magaš, 1965. i 1973), imamo tek štire napomene za list Crikvenicu (Sušnjar & dr., 1963, Grimani & dr., 1973) i Labin (Sikić & dr., 1963, Sikić & Polšak, 1973), ali i netočnih podataka, npr. u navodu veličine ležišta koja su predimenzionirana u području Lošinja (Mamužić, 1965. i 1973), eksploatacijski se radovi nazivaju istražnim na dijelu otoka Paga u opsegu lista Molat (Mamužić & Sokač, 1973), dok se iznimno pojavljivanje ležišta boksita duž rasjedne granice između donje i gornje krede na Cresu označuje kao česta pojava (Magaš, 1973).

Kraće napomene o boksitima s otoka u sjevernom Jadranu daje i niz drugih autora, ali dosada nije bio objavljen cjelovit prikaz o tim boksitima, odnosno o njihovim mineralnim paragenezama i genetskim uvjetima.

GEOGRAFSKI POLOŽAJ

Pojave i ležišta boksita nalaze se na svim većim otocima sjevernog Jadrana, tj. na Cresu, Lošinju, Krku, Rabu i Pagu, kao i na brojnim manjim otocima, kao Grguru, Zečevu, Dolinu, Maunu itd. Pojavljuju se kao tragovi, pojedinačna ležišta, ali često kao skupine ležišta, koje se npr. na otoku Cresu u Dragozetićima sastoje od 81 rudnog tijela, u Koromačnom od 38 rudišta, oko Stare Baške na Krku ih je tridesetak, a slično je i na otoku Pagu na poluotoku Lunu i Caskoj, na jugozapadnim padinama Osorčice na Lošinju itd. Najvažnija nalazišta boksita u razmatranim područjima naznačena su na sl. 1.

STRATIGRAFSKI POLOŽAJ BOKSITA I NAČIN POJAVLJIVANJA LEŽIŠTA

Ležišta boksita na otocima sjevernog Jadrana nastala su u starijem dijelu paleogena. U podini su im vapnenci gornje krede, dok su im krovina liburnijske naslage (dio paleocena-najdonji eocen), a iznimno foraminiferski vapnenci (donji eocen i dio srednjeg eocena). I. Grimani & dr. (1973) navode pojavu boksita na otoku Krku s vapnenjačkim brečama (gornji eocen — donji oligocen) u krovini.

Gornjokredne naslage u podini boksita različite su starosti. Na otoku Cresu pripadaju cenoman—turonu (Magaš, 1973), na sjevernom dijelu Krka to su vapnenci turona (Grimani & dr., 1973), na južnom dijelu Krka i na Rabu radi se o turonsko-senonskim vapnencima (Mamužić & Milan, 1973), a na Pagu, Lošinju i drugim vanjskim otocima o senonskim vapnencima (Mamužić & Sokač, 1973, Mamužić, 1973).

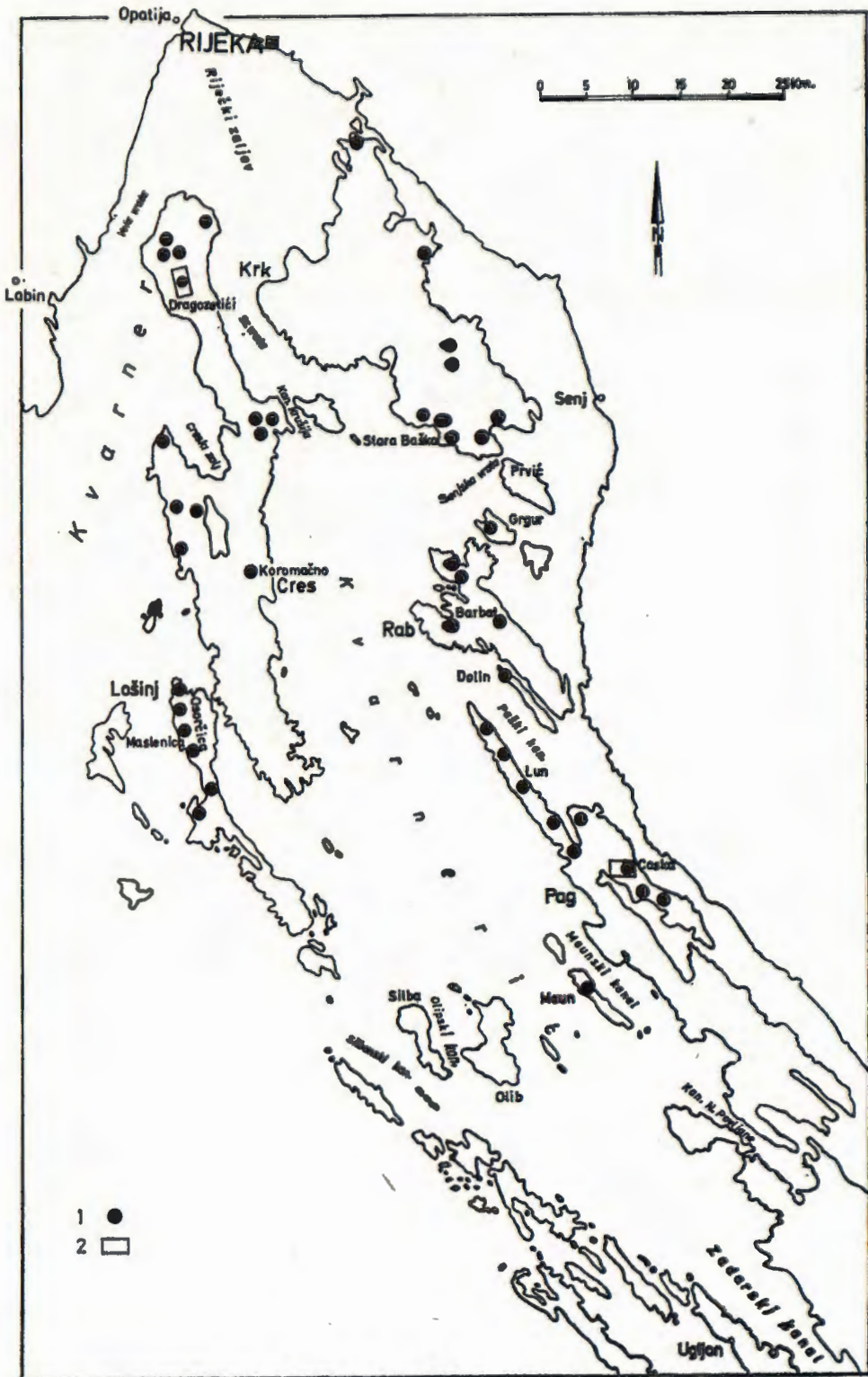
Krovinske naslage starijeg paleogena leže na gornjokrednim vapnencima s jako izraženom erozionom diskordancijom. Liburnijski slatkovodno-brakični, a dijelom i marinski vapnenci debljine većinom od samo nekoliko metara, premda nisu taloženi u čitavom prostoru, redovito su krovina boksita. Foraminiferski vapnenci kontinuirano su taloženi na liburnijske naslage, označavaju napredak marinske transgresije u eocenu i potpuno prekrivanje starog kopna.

Sl. 1. Rasprostranjenost ležišta boksita na otocima sjevernog Jadrana

- 1 = Skupine ležišta
- 2 = Položaj geoloških skica

Text-fig. 1. The spreading of the bauxite deposits on the islands of the northern Adriatic

- 1 = Group of the bauxite deposits
- 2 = Position of the geological sketch



Razlike u stratigrafskom hijatusu nemaju utjecaja na orudnjenost paleoreljefa, ukoliko su liburnijske naslage krovina boksita. Tako su tereni Cresa s najvećim hijatusom (podina su cenoman-turonski vapnenci) u prosjeku slično orudnjeni kao i boksitonosna područja gdje je stratigrafski hijatus najmanji, npr. na otoku Pagu s vapnencima senona u podini boksitnih ležišta. Ovu pojavu možemo povezati sa zonarnim pojavljivanjem liburnijskih naslaga koje su taložene u nižim dijelovima paleoreljefa. Takvi dijelovi paleoreljefa imali su i najpovoljnije uvjete za boksitizaciju i akumulaciju boksita. Nekadašnji viši dijelovi paleoreljefa oskudnije su orudnjeni, jer su produkti površinskog trošenja s njih spirani i odnošeni u niže dijelove, gdje se najranije započela sedimentacija u paleogenu u slatkovodno-bočatim, a potom i marinskim uvjetima. U vrijeme napredovanja transgresije produkti površinskog trošenja dijelom su otplavljeni u marinsku sredinu gdje nije bilo uvjeta za formiranje ležišta boksita. Stoga su izdanci boksita rjeđi duž granice gornjokrednih naslaga i eocenskih foraminiferskih vapnenaca.

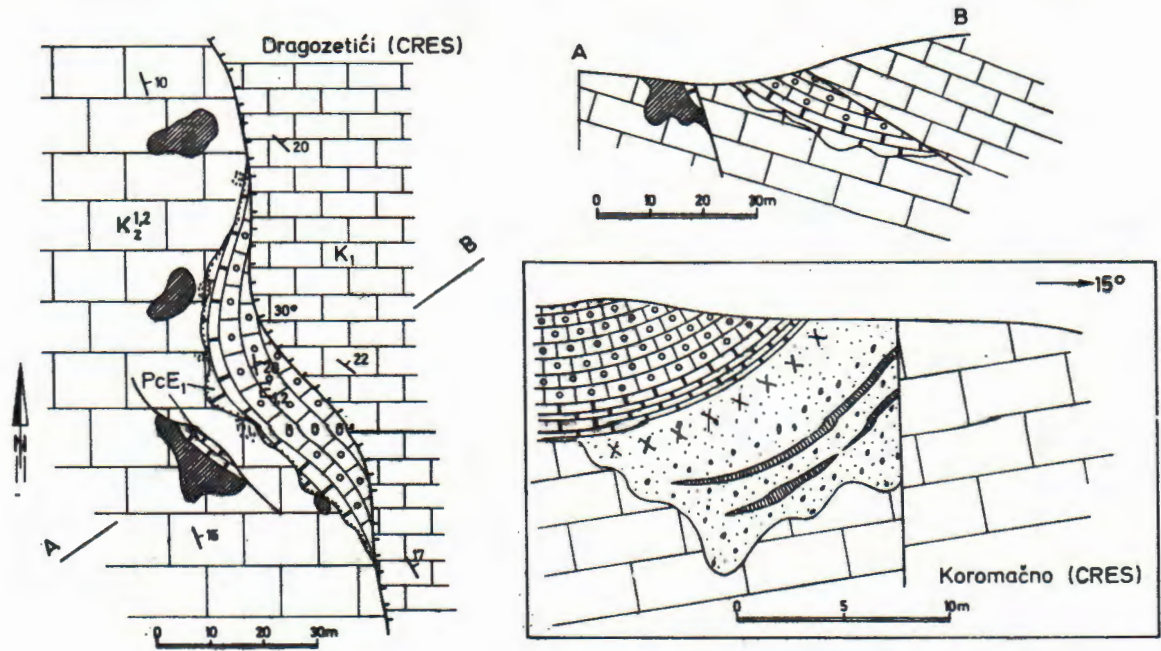
Boksiti se pojavljuju u dosta raspucanim podinskim vapnencima kao džepasta, crijevasta, koritasta ili bunaru nalik ispunjenja. Strane ležišta često su veoma strme, nerijetko se barem jedan bok ležišta podudara sa rasjednom plohom ili većom pukotinom. Mnoga su ležišta otvorena »podinskog« tipa. To su relikti nekadašnjih rudnih tijela. Brojna su duž granice krednih i paleogenskih naslaga na krilima sinformnih ili antiformalnih tektonskih struktura, ili su povezana uz erozione ostatke krovinskih naslaga. Većina ih je nesumnjivo ispod različito debelog pokrova krovinskih naslaga starijeg paleogena. Ležišta se pojavljuju u jednostavnim tektonskim odnosima, kao u Caskoj na otoku Pagu (sl. 3), ali isto tako i u složenim tektonskim situacijama, kao npr. u Dragozetićima na otoku Cresu, gdje su se duž reversnog rasjeda sačuvali uske zone paleogenskih naslaga uz koje su vezana ležišta boksita (sl. 2). Ležišta boksita veličine su od samo nekoliko stotina tona boksita do više tisuća tona, a izuzetno i do više desetaka tisuća tona.

Sl. 2. Geološka skica dijela boksitonosnog područja Dragozetići (otok Cres) i profil kroz tipično ležište boksita u području Koromačno (otok Cres)

1 = Foraminiferski vapnenci, donji i srednji eocen ($E_{1,2}$), 2 = Liburnijski vapnenci, paleocen i donji eocen (PcE_1), 3 = Vapnenci, cenoman i turon ($K_{1,2}$), 4 = Vapnenci, donja kreča (K_1), 5 = 5.1. Ležište boksita, 5.2. Tragovi boksita, 6 = Boksit : 6.1. oolitični, 6.2. piritizirani, 6.3. pelitni, 7 = Rasjed : 7.1. Normalni, 7.2. Reversni, 8 = Položaj sloja, 9 = Profilna linija.

Text-fig. 2. Geological sketch of the part of the bauxitebearing area Dragozetići (island Cres), and cross-section of the typical bauxite deposit, Koromačno (island Cres)

1 = Foraminiferal limestone, Lower and Middle Eocene ($E_{1,2}$), 2 = Liburnian limestone, Paleocene and Lower Eocene (PcE_1), 3 = Limestone, Cenomanian and Turonian ($K_{1,2}$), 4 = Limestone, Lower Cretaceous (K_1), 5 = 5.1. Bauxite deposit, 5.2. Trace of the bauxite, 6 = Bauxite : 6.1. Oolitic, 6.2. Pyritic, 6.3. Pelitic, 7 = Fault : 7.1. Normal, 7.2. Overtorn, 8 = Dip of bed, 9 = Cross-section



KEMIJSKI I MINERALNI SASTAV BOKSITA

Kemijski sastav boksita na otocima sjevernog Jadrana utvrđen je mnogobrojnim analizama uzoraka uzetih u vrijeme istraživanja i eksploatacije ležišta. Po kemijskim osobinama ovi boksiti slični su boksitima iste starosti u Istri što se vidi iz nekoliko tipičnih analiza:

Tabela I — Table I
Kemijski sastav boksita
Chemical Composition of Bauxites

	1	2	3	4	5	6
Al ₂ O ₃	57,19%	55,43%	55,80%	56,97%	50,55%	58,42%
SiO ₂	3,90	5,05	2,71	4,50	5,05	3,08
Fe ₂ O ₃	22,98	23,02	25,64	23,05	26,83	21,95
TiO ₂	3,20	3,20	3,00	3,10	3,05	3,00
G. ž.	12,73	13,30	12,85	12,35	14,55	13,55

1. Barbat — Rab, 2. Dolin, 3. Maslenica — Lošinj, 4. Dragozetići — Cres (srednja vrijednost), 5. Stara Baška — Krk, 6: Zubovići — Pag.

U boksitima su rendgenskom i mikroskopskom analizom ustanovljeni ovi minerali: bemit, hidrargilit, kaolinit, hematit, pirit, getit, anatas, a od akcesornih minerala zapaženi su turmalin, cirkon i liskun. Glavni minerali su bemit i hematit, a mjestimično getit i hidrargilit.

Rendgenskoj analizi podvrgnut je uzorak iz Dragozetića (B—7) s otoka Cresa, zatim uzorak iz Stare Baške (B—23) s otoka Krka i uzorak iz Luna (P—15) s otoka Paga:

B—7: bemit>hematit>anatas

B—23: bemit, hidrargilit>getit>kaolinit, anatas

P—15: bemit>getit>kaolinit, anatas

Minerali boksita, osim pirita a dijelom i hidrargilita, su kriptokristalasti i intimno izmiješani. Oni grade optičke izotropnu masu koja je mineralima željeza crveno ili žuto obojena.

Pored najčešće kriptokristalastog hidrargilita mjestimično se u tektonski zdrobljenom boksitu nalazi mikrokristalasti hidrargilit, gdje on veže fragmente mikrobreče. Zrna hidrargilita mozaično srastaju, rjeđe su paralelno orijentirana. Dužina im je 1—10 μ, iznimno do 20 μ. Znatno je češći autigeni hidrargilit koji zapunjava šupljine u boksitu sa dužinom zrna 5—10 μ, rijetko i do 50 μ. Nadalje, u boksitu se nalaze detritična zrna mikrokristalastog hidrargilita. Najčešće su to vrlo sitna zrna, duga do 20 μ, koja predstavljaju krhotine kristala hidrargilita. Veća zrna, duga do 400 μ su kristalni agregati hidrargilita i ona su često zaobljena (Tabla II, sl. 1—4).

Pirit je čest, osobito u djelomično deferificiranom boksitu. Nalazi se koncentriran u nakupinama sitnih kristala, a ima ga i u formi krupnih kristala dugih do 600 μ (tabla I, sl. 3 i 4). Na izdancima pirit je limonitiziran.

Struktura boksita je pelitna, pseudoolitna i oolitna. Prevladava pseudoolitna struktura kod koje se u pelitomorfnoj osnovi nalaze zaobljena zrna boksita. Promjer zrna je 0,1—0,6 mm, ali se nalaze i veća zrna koja su mjestimično oolitne strukture. Kod boksita oolitne strukture ooliti su gotovo redovito pretaloženi, a uz njih se nalaze i pseudooliti. (Tabla I, sl. 1 i 2).

OSVRT NA GENEZU BOKSITA

Boksitizacija glinovitog ishodišnog materijala vršena je za vrijeme donjopaleogenske emerzione faze koja je uslijedila nakon slabih laramijskih pokreta. Za vrijeme kopnene faze razvio se blago razvedeni paleoreljef na karbonatnoj površini gdje su prevladavale vrtače, koje su povremene površinske vode zapunjavale boksitičnim materijalom.

U početnoj fazi boksitizacije glinoviti materijal imao je veliki sedimentacijski volumen, a u takvim talozima moguć je razvoj oolita. Usporedno s boksitizacijom djelovanjem erozije razarana su tek nastala ležišta boksita, a površinske povremene vode prenašale su boksitični materijal u obližnje novonastale vrtače. Takav slijed zbivanja ponavljao se za cijelo vrijeme boksitogeneze kroz čitavo razdoblje kopnene faze. Zbog toga u boksitima prevladava pseudoolitna struktura, a i ooliti u boksitu s oolitnom strukturom najčešće su pretaloživani. Na višekratno pretaloživanje boksita upućuje i česta prisutnost detritičnih zrna mikrokristalastog hidrargilita u boksitu. Ova zrna potječu od žilica mikrokristalastog hidrargilita koje su se nalazile u erozijom razorenim ležištima boksita. Višekratno pretaloživanje boksitičnog materijala pogodovalo je boksitizaciji, stoga su boksiti otoka sjevernog Jadrana dobre kvalitete.

Proučavanjem donjopaleogenskih boksita Istre (Šinkovec, 1973) utvrđeno je da je teško pretpostaviti transport ishodišnog materijala s udaljenih područja, koja bi odgovarala nekom hipotetskom masivu izgrađenom od alumosilikatnih stijena. Na temelju odnosa sadržaja makro- i mikroelemenata u boksitima i podinskim krednim vapnencima zaključeno je nadalje da je moguće, a i vjerojatno, da ishodišni materijal istarskih boksita najvećim dijelom potječe od netopivog ostatka podinskih vapnenaca. Budući da boksiti otoka sjevernog Jadrana pripadaju istom stratigrafskom horizontu kao i spomenuti istarski boksiti, a imaju i gotovo identične ostale osobine, možemo zaključiti da je i u ovom slučaju ishodišni materijal istovetnog porijekla, tj. da pretežno potječe od netopivog ostatka podinskih krednih vapnenaca.

Može se pretpostaviti i eolsko porijeklo ishodišnog materijala. Radi provjere ove pretpostavke ispitan je sadržaj teških akcesornih prozirnih minerala u 3 uzorka boksita Istre i 6 uzoraka s otoka sjevernog Jadrana (Tabela II).^{*} Utvrđeno je da su teški akcesorni minerali u ovim uzorcima boksita brojačano i vrstama veoma oskudni a u nekim uzorcima (br. 1 i 2) nisu ni nađeni. Minerali su vrlo sitni. Najčešći je zaobljeni i poluzaobljeni

cirkon dužine 0,04—0,08 mm. U tragovima se nalaze amfibol, staurolit, cirkon, granat, rutil i klorit. Od akcesornih lakih minerala prevladava kvarc, dok su feldspat i muskovit znatno rjeđi.

Tabela II — Table II

Teški minerali iz boksita starijeg paleogena u Istri i na otocima sjevernog Jadrana
Heavy Minerals from the Early Paleogene Bauxite of Istria and northern Adriatic's islands

Uzorak Sample	Prozirna zrna teških minerala (broj zrna) Transparent grains of heavy minerals (number of grains)						
	Zr	Amf	St	Zt	Co	Gr	Ru
1. Šepčiči (Pazin)							
2. Žuljani (Labin)							
6. Marići (Labin)	3	1		1			
8. Dragozetići (Cres)	2				1		
16. Koromačno (Cres)							1
21. Pernat (Cres)	3		1			1	
23. Stara Baška (Krk)	1						
27. Vrbnik (Krk)	1						
30. Caska (Pag)	1						

Zr — cirkon (zircon), Amf — amfibol (amphibole), St — staurolit (staurolite), Zt — coisit (zoisite), Co — klorit (chlorite), Gr — granat (garnet), Ru — rutil (rutile)

* Analize je izradila B. Ščavničar na čemu joj zahvaljujemo.

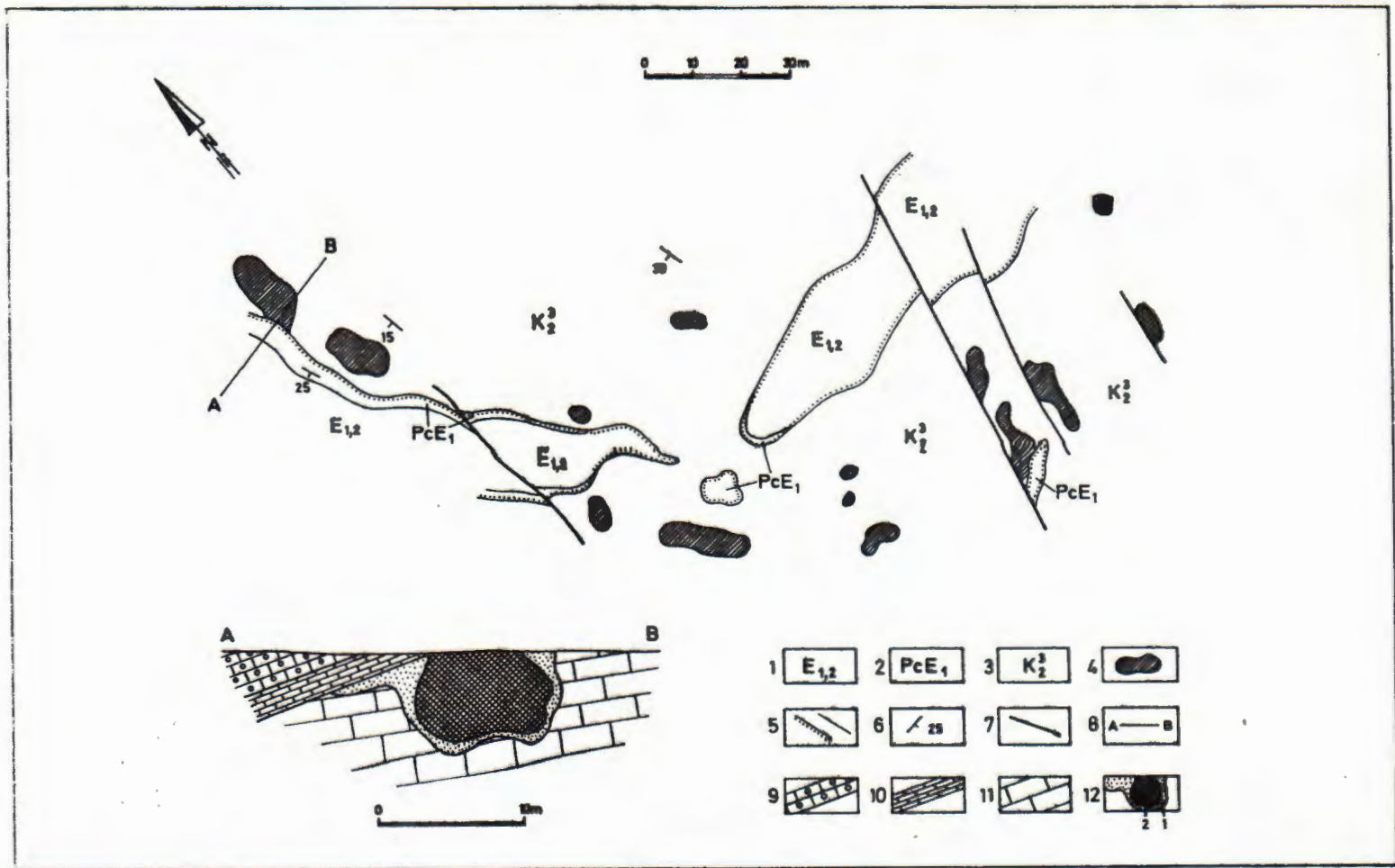
Po sadržaju teških akcesornih minerala istraživani boksiti gotovo su identični starijepaleogenskim boksitima Dalmacije (Šušnjara & Ščavničar, 1976). To upućuje na to da su ishodišni materijali i uvjeti postanka starijepaleogenih boksita na području vanjskih Dinarida bili identični.

Sl. 3. Geološka skica boksitonosnog područja Caska (otok Pag)

1 = Foraminiferski vapnenci, donji i srednji eocen (E_{1,2}), 2 = Liburnijske naslage, vapnenci, paleocen i donji eocen (PcE₁), 3 = Rudistni vapnenci, senon (K₂^s), 4 = Ležište boksita, 5. Geološka granica : 5.1. Transgresivna, 5.2. Normalna, 6 = Položaj sloja, 7 = Rasjed, 8 = Profilna linija, 9 = Foraminiferski vapnenac, donji i srednji eocen (E_{1,2}), 10 = Liburnijske naslage, vapnenci, paleocen i donji eocen (PcE₁), 11 = Rudistni vapnenci, senon (K₂^s), 12 Boksit : 12.1. Žuti 12.2. Crveni.

Text-fig. 3. Geological sketch of the bauxitebearing area Caska (island Pag)

1 = Foraminiferal limestone, Lower and Middle Eocene (E_{1,2}), 2 = Liburnian beds, limestone, Paleocene and Lower Eocene (PcE₁) 3 = Rudistid limestones, Senonian (K₂^s), 4 = Bauxite deposit, 5 = Geological boundary : 5.1. Transgressive, 5.2. Normal, 6 = Dip of bed, 7 = Fault, 8 = Cross-section, 9 = Foraminiferal limestone, Lower and Middle Eocene (E_{1,2}), 10 = Liburnian beds, limestone, Paleocene and Lower Eocene (PcE₁), 11 = Rudistid limestones, Senonian (K₂^s), 12 = Bauxite; 12.1. Yellow, 12.2. Red.



Navedeni autori ispitali su i sadržaj teških akcesornih minerala u većem broju uzoraka podinskih krednih vapnenaca s područja Dalmacije. Glavni akcesorni minerali su korund, amfibol, granat, epidot i piroksen. Cirkon, turmalin i rutil su rjeđi, dok se u tragovima nalaze disten, klorit, titanit, anatas, coisit, apatit i kromspinel. Budući da su navedeni minerali u uvjetima boksitizacije više ili manje neotporni, u boksitu prevladavaju najotporniji cirkoni, koji oblikom i veličinom slične na cirkone iz podinskih vapnenaca.

Eolski sedimenti obično sadrže veće količine različitih teških akcesornih minerala od kojih su neki otporni na površinsko trošenje i koji bi se dijelom zadržali u boksitu ukoliko bi eolski sedimenti bili ishodišni materijal boksita. Kako se u boksitu nalazi gotovo isključivo cirkon, smatramo da eolski materijal nije imao značajnijeg udjela u formiranju starije-paleogenskih boksita.

Na boksitima otoka u sjevernom Jadranu zapažena su djelovanja ranih i kasnih postgenetskih procesa.

Pri kraju kopnene faze ležišta boksita koja su se nalazila u nižim dijelovima terena bila su pokrivena močvarama, pa je stoga takav boksit bio podvrgnut postgenetskim procesima. Uslijed negativnog redoks potencijala koji je vladao u močvarnim uvjetima vršila se deferifikacija boksita, a dio željeza bio je vezan za pirit.

Kasni postgenetski procesi uvjetovani su djelovanjem tektonike, kao i površinskih procesa na boksit kada su ležišta boksita uslijed erozije dospjela na površinu ili u njenu blizinu. Utjecaj tektonike naročito se zapaža na ležištima boksita otoka Cresa, gdje su mnoga ležišta poremećena rasjedima, pa su neka od njih u inverznom položaju. Kod takvih tektonskih kretanja boksit je bio drobljen, što se zapaža pod mikroskopom na uzorcima tektonske mikrobreče. Kroz zdrobljene zone cirkulirale su vadozne vode, koje su u višim dijelovima uslijed prisutnih organskih kiselina ili sumporne kiseline nastale oksidacijom pirita izluživale aluminij iz boksita. U nižim dijelovima ležišta, nakon raspadanja organskih kiselina i povećanja pH vode, uslijedilo je obaranje aluminijske i kristalizacija mikrokristalastog hidrargilita u osnovi mikrobreče i u šupljinicama i drugim pukotinama u boksitu (Tabla II, sl. 3 i 4).

Mjestimično se zapaža da mikrokristalasti hidrargilit ne gradi samo osnovu mikrobreče nego da zahvaća i fragmente. Iz ovoga se može zaključiti da je cirkulacijom vode izvršena i djelomična hidrargilitizacija boksita.

Cirkulacijom površinskih voda kroz boksit mjestimično je vršena u manjem stupnju deferifikacija boksita, a zatim obaranje željeza kao limonitne žilice i prožimanje boksita limonitom.

Iz izloženog može se zaključiti da u boksitima otoka sjevernog Jadrana možemo izdvojiti nekoliko generacija hidrargilita. Najprije je nastao kriptokristalasti hidrargilit u vrijeme boksitizacije ishodišnog glinovitog materijala. Ovakav je hidrargilit vjerojatno u početku prevladavao u boksitu, ali je zatim »starenjem«, nakon što je ležište bilo prekriveno krovinskim sedimentima, najvećim dijelom prešao u bemit. Drugi tip hidrargilita nastao je u žilicama u boksitu iz cirkulirajućih voda za vrijeme boksitogeneze. Ovaj hidrargilit je mikrokristalast, razaranjem ležišta bok-

sita dao je detritična zrna hidrargilita, koja se često nalaze u boksitu. Najmlađi hidrargilit identičan je po osobinama i postanku opisanom žičnom hidrargilitu, nastao je nakon što su ležišta boksita dospjela u blizinu površine.

LITERATURA

- Crema, C. (1921): Le bauxiti dell'Istria e della Dalmazia. *La miniera Ital.*, 4/1—2, 3—10, Roma.
- Eichleiter, C. F. & Hackl, O. (1920): Arbeiten aus dem chemischen Laboratorium der Geologischen Staatsanstalt, ausgeführt in den Jahren 1913—1918. *Jb. Geol. Staatsanst.* (Reichsanst.), LXIX (1919), 1—42, Wien.
- Grimani, I., Sušnjar, M., Bukovac, J., Milan, A., Nikler, L., Crnolatac, I., Sikić, D. & Blašković, I. (1973): Tumač Osnovne geološke karte SFRJ, list Crikvenica, M 1:100.000, 1—47, Izd. Savezni geol. zavod, Beograd.
- Magaš, N. (1965): Osnovna geološka karta SFRJ, list Cres, M 1:100.000, Izd.: Savezni geol. zavod, Beograd.
- Magaš, N. (1973): Tumač Osnovne geološke karte SFRJ, list Cres, M 1:100.000, 1—42, Izd. Savezni geol. zavod, Beograd.
- Mamužić, P. (1965): Osnovna geološka karta SFRJ, list Lošinj, M 1:100.000, Izd. Savezni geol. zavod, Beograd.
- Mamužić, P. (1973): Tumač Osnovne geološke karte SFRJ, list Lošinj, 1—34, Izd. Savezni geol. zavod, Beograd.
- Mamužić, P. & Milan, A. (1973): Tumač Osnovne geološke karte SFRJ, list Rab, 1—39, Izd. Savezni geol. zavod, Beograd. M 1:100.000.
- Mamužić, P., Milan, A., Korolija, B., Borović, I. & Majcen, Z. (1966): Osnovna geološka karta SFRJ, list Rab, M 1:100.000, Izd. Savezni geol. zavod, Beograd.
- Mamužić, P. & Sokač, B. (1973): Tumač Osnovne geološke karte SFRJ, listovi Molat i Silba, M 1:100.000, 1—45, Izd. Savezni geol. zavod, Beograd.
- Mamužić, P., Sokač, B. & Velić, I. (1967): Osnovna geološka karta SFRJ, listovi Molat i Silba, M 1:100.000, Izd. Savezni geol. zavod, Beograd.
- Quitow, H. W. (1944): Die geologische Stellung der ostadriatischen Bauxitvorkommen. *Zeitschr. prakt. Geol.*, 52/2, 11—19, Halle (Saale).
- Socin, C. (1941): Carta geologica delle tre Venezie, foglio 77b, della isola di Cherso. Inst. Firenze.
- Sokač, B., Nikler, L., Velić, I. & Mamužić, P. (1967): Osnovna geološka karta SFRJ, list Gospić, M 1:100.000, Izd. Savezni geol. zavod, Beograd.
- Sokač, B., Šćavničar, B. & Velić, I. (1976): Tumač Osnovne geološke karte SFRJ, list Gospić, M 1:100.000, 1—64, Izd. Savezni geol. zavod, Beograd.
- Sikić, D. & Polšak, A. (1973): Tumač Osnovne geološke karte SFRJ, list Labin, M 1:100.000, 1—55, Izd. Savezni geol. zavod, Beograd.
- Sikić, D., Polšak, A. & Magaš, N. (1963): Osnovna geološka karta SFRJ, list Labin, M 1:100.000, Izd. Savezni geol. zavod, Beograd.
- Sinkovec, B. (1973): The origin of early paleogene bauxites of Istria, Yugoslavia. *3ème Congr. Inter. d'ICSIBA*, 151—164, Nice.
- Sušnjara, M., Bukovac, J., Nikler, L., Crnolatac, I., Milan, A., Sikić, D., Grimani, I., Vulić, Z. & Blašković, I. (1963): Osnovna geološka karta SFRJ, list Crikvenica, M 1:100.000, Izd. Savezni geol. zavod, Beograd.
- Sušnjara, A. & Šćavničar, B. (1976): Akcesorni teški minerali u boksitima i karbonatnim stijenama podine u SR Hrvatskoj. *Zbornik radova IV jugosl. simp. istr. i eksploat. boksita*, 53—66, Hercegnovi.
- Tolić, Lj. (1951—53): Boksitna ležišta otoka Paga. *Geol. vjesn.*, 5—7, 373—376, Zagreb.
- Waagen, L. (1905): Erläuterungen zur geologischen Karte Veglia und Novi, 1—24, Izd. Geol. Reichsanst., Wien.
- Waagen, L. (1936): Die Bauxitlagerstätten in Österreich und den sogenannten Nachfolgestaaten und deren praktische Verwertbarkeit. *Zeitschr. prakt. Geol.*, 44/9, 133—143, Halle (Saale).
- Weisse, J. G. de (1948): Les bauxites de l'Europe centrale. (Province dinarique et Hongrie). *Mém. Soc. Vaudoise Sci. Nat.*, 58, Vol. 9/1, 1—162, Lausanne.

The Early Paleogene Bauxites of North Adriatic Islands

B. Šinkovec and K. Sakač

The bauxite occurrences and deposits of Early Paleogene age are known in all large islands of northern Adriatic, i. e. on the islands of Cres, Lošinj, Krk, Rab and Pag, as well as on many minor islands such as Grgur, Zečevo, Dolin, Maun etc.

Bauxite formed on a paleokarstic surface of calcareous rocks, commonly limestone of Upper Cretaceous, during the continental stage subsequent to the weak Laramide movements. The development of bauxite was interrupted by sedimentation of fresh to brackish, partly even marine Liburnian deposits (part of Paleocene — the lowest part of Eocene) within the low positions of paleorelief. Afterward, a complete inundation and sedimentation of foraminiferal limestone of Lower Eocene have followed.

The bauxite deposits either individual or in groups, the latter being more frequent, are situated within determined zones, usually overlain with Liburnian sediments, seldom more than a few meters thick. The ore bodies are small and of various irregular shapes — pockets, troughs, cylinderlike pods and similar. They fill the cavities in fractured upper Cretaceous footwall limestone.

Chemical composition of bauxite in northern Adriatic is similar to the composition of Early Paleogene bauxite of Istria (table I). The following mineral constituents have been determined: boehmite, hydrargillite, kaolinite, hematite, pyrite, goethite, anatase. The chief minerals are boehmite and hematite, locally goethite and hydrargillite.

All mineral constituents except pyrite are cryptocrystalline and tightly intermixed. In addition to the mostly cryptocrystalline hydrargillite, there are microcrystalline hydrargillite cementing the fragments of bauxite microbreccia produced by tectonic deformation.

Much more frequent is authigenic hydrargillite which fills up the cavities and fissures in bauxite. There are also detrital grains of microcrystalline hydrargillite in bauxite. These are mostly very fine and represent fragments of hydrargillite crystals. Larger grains, up to 200 microns are crystal aggregates of hydrargillite; they are often round shaped.

The texture of bauxite is pelitic, pseudo-oolithic and oolithic. The pseudo-oolithic prevails.

The process of bauxitization of the source clay material occurred during the stage of Early Paleogene emersion, on a carbonate surface weakly deformed by tectonics. Among karstic features the most frequent were sinkholes in which bauxitic material accumulated by sporadic running water. Simultaneously with the bauxitization, the newly formed bauxite deposits were destroyed by erosion, while intermittent surface waters transported bauxitic material into the appearing sinkholes in the vicinity. Such process perpetuated during the whole bauxitogenic period. Therefore, the pseudo-oolithic texture of bauxite is dominant. Multifold redeposition of bauxite is also suggested by frequent presence of detrital grains of microcrystalline hydrargillite in bauxite. The grains derive from microcrystalline hydrargillite veinlets in bauxite deposits disintegrated by erosion. The multifold redeposition of bauxitic material was suitable to bauxitization, and therefore bauxite of northern Adriatic islands is of high quality.

By the investigation of Early Paleogene bauxite of Istria (Šinkovec, 1973) it has been established that the source material of bauxite has possibly or even probably derived in its major amount from insoluble residue of footwall limestone.

Since the north-Adriatic bauxite belongs to the same horizon as bauxite of Istria, which are also spatially related, we may draw the conclusion that the source material is the same, i. e. that bauxite derives prevailingly from insoluble residue of the footwall Cretaceous limestone.

The eolian origin of source material may be also suggested. The heavy fraction of transparent accessory minerals in bauxite of Istria and of north-Adriatic islands has been examined (Table II). The analyses show that the amount and the varieties of heavy accessory minerals in bauxite are limited. The prevailing mineral is zircon, which is similar in shape and size to zircon of footwall limestone. According to the

composition of heavy accessory minerals, the explored bauxite is almost identical with the Early Paleogene bauxite of Dalmatia, which indicates that the source material and the conditions of development of Early Paleogene bauxite in the outer Dinaride region were similar.

The eolian sediments commonly contain a considerable amount of various heavy accessory minerals, some of them resistant to the surface weathering processes and consequently would partly remain in bauxite if eolian sediments were source material. However, as zircon is almost the only accessory mineral, we consider that the eolian material is not an important constituent of Early Paleogene bauxite.

The impact of early and late post-genetic processes is evident in bauxite of north-Adriatic islands.

At the end of the continental phase, bauxite deposits situated in the lower parts of the ground were covered by swamps. Such bauxite underwent certain post-genetic processes, such as deferrification of bauxite and a part of iron bound to pyrite due to the negative redox potential of the environment.

The late post-genetic changes of bauxite were caused by tectonics and/or by surface processes when bauxite deposits remained at surface or subsurface positions because of the erosion. The shattered zones were permeated by circulating vadose waters which leached alumina out from bauxite in upper levels. These waters contained organic or sulphuric acids produced by oxidation of pyrite. After the decomposition of organic acids and the increase of pH of water, the precipitation of aluminium and crystallization of microcrystalline hydrargillite took place in the lower levels of the deposits forming the matrix of microbreccia both in cavities and fractures in bauxite.

Locally microcrystalline hydrargillite penetrates into the fragments of microbreccia, which suggests a partial hydrargillization of boehmite caused by the circulation of water.

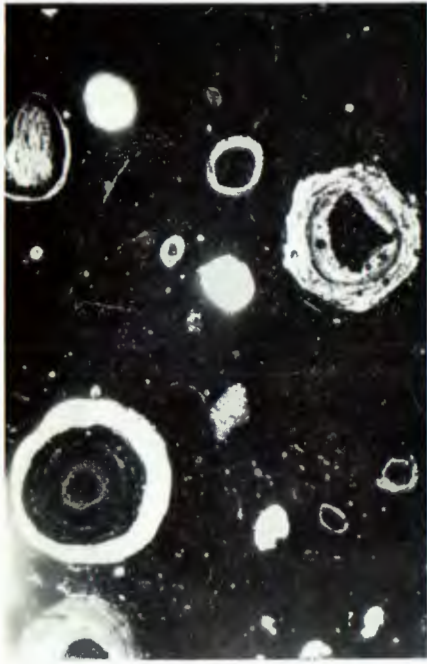
Consequently, we may conclude that there are several generations of hydrargillite in bauxite of north-Adriatic islands. The first one was formed as cryptocrystalline hydrargillite during the bauxitization of the source clayey material. This type of hydrargillite apparently prevailed in bauxite at the initial stage of the process, while later, as the deposits were overlain by roofwall sediments, it was transformed into boehmite by the »maturing« process.

The second generation of hydrargillite formed in veinlets within bauxite from circulating waters during the bauxitogenesis. This hydrargillite is microcrystalline. It produced detrital hydrargillite grains often found in bauxite by the disintegration of bauxite deposits.

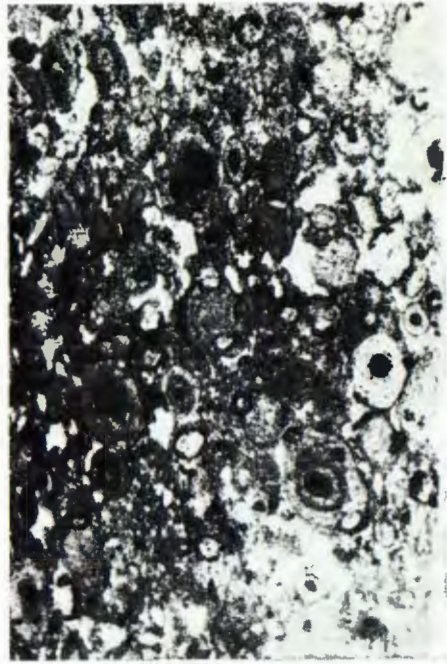
The youngest hydrargillite is of identical properties and origin as the vein-type hydrargillite. It developed after the deposits came near to the surface.

TABLA -- PLATE I

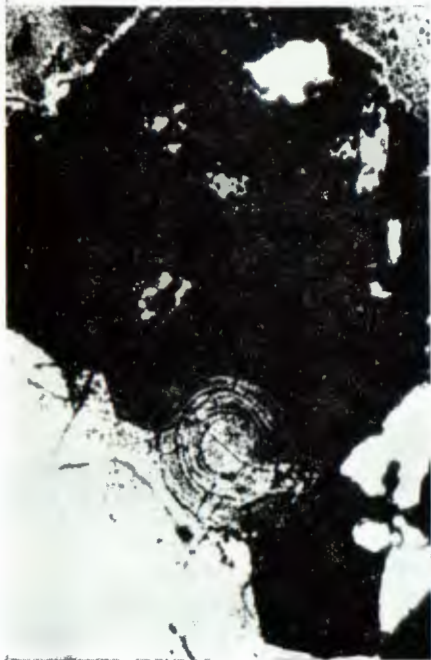
1. Caska (Pag). Oolitna struktura boksita, 30x.
Oolitic texture of bauxite, 30 x.
2. Vrbnik (Krk). Pretaloženi ooliti u boksitu. Supljine su dijelom zapunjene mikrokristalastim hidrargilitom (bijelo), 140 x.
Redeposited oolites in bauxite. Microcrystalline gibbsite partly fills the cavities (white), 140 x.
3. Koromačno (Cres). Ooolit obuhvaćen rastom kristala pirita (crno), 140 x.
Oolite embedded in a pyrite crystal (black), 140 x.
4. Stara Baške (Krk). Limonitizirani kristali pirita u boksitu, 140 x.
Limonitized pyrite crystals in bauxite, 140 x.



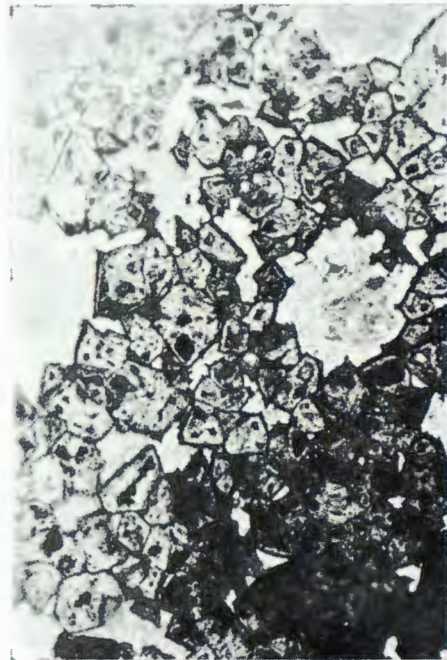
1



2



3



4

TABLA — PLATE II

1. **Koromačno (Cres).** Detritično zrno krupnokristalastog hidrargilita u boksitu, +N, 180 x.
Detrital grain of coarse-crystalline gibbsite in bauxite, +N, 180 x.
2. **Koromačno (Cres).** Mikrokrystalasti hidrargilit (bijelo) zapunjava šupljine i pukotine u boksitu, 170 x.
Microcrystalline gibbsite (white) fills cavities and cracks in bauxite, 170 x.
3. **Stara Baška (Krk).** Kataklažirani boksit; fragmenti boksita u matriksu mikrokrystalastog hidrargilita, 30 x.
Cataclastic bauxite; fragments of bauxite in matrix of microcrystalline gibbsite, 30 x.
4. **Koromačno (Cres).** Izluženi pirit u boksitu. Šupljine su dijelom zapunjene mikrokrystalastim hidrargilitom, 55 x.
Leached pyrites in bauxitex. Microcrystalline gibbsite partly filling the cavities, 55 x.



1



2



3



4