

Geol. vjesnik	32	71—79	3 sl. u tekstu	Zagreb, 1979
---------------	----	-------	----------------	--------------

553.06:553.492

Strukturna kontrola ležišta boksita u sjevernoj Dalmaciji

Josip CRNICKI

*Rudarsko-geološko-naftni fakultet,
OOUR Viša geotehnička škola Varaždin,
Hinkovićeva ul. 7, YU — 42000 Varaždin*

Dosadašnje interpretacije ležišta boksita u sjevernoj Dalmaciji uzimale su u obzir samo primaran stratigrafski položaj boksita. Posljednjih godina nekoliko autora je ukazalo na vezu između geografskog položaja ležišta boksita i tektonskih smjerova u Dalmaciji. Koristeći podatke iz mehanike stijena, ovaj rad objašnjava akumulaciju boksita u strukturama sjeverne Dalmacije kao rezultat plastičnog ili progresivnog tečenja boksitne mase, uslijed djelovanja gravitacijskih i tektonskih napona. Pokazano je da postoji značajna korelacija između debljine boksita u ležištu i postotka glinovite komponente u krovinskim Promina-naslagama, što ukazuje na istodobno plastično ili progresivno tečenje boksita i gline u stijenskom masivu.

STRATIGRAFIJA

Prvi publicirani podaci o boksitima sjeverne Dalmacije mogu se naći u radovima Schubert-a (1904, 1905, 1908). Kasnije, razni autori su slijedili i dalje razrađivali Schubertovu klasifikaciju s dva boksitna horizonta: 1. boksit srednjeg eocena (u podini su vapnenci paleogena ili krede, a u krovini vapnenci, konglomerati i lapori srednjeg ili gornjeg eocena); 2. boksit senonske starosti (podina: vapnenci gornje krede; krovina: vapnenci paleogena ili eocena). Ovu klasifikaciju navode Jurković, 1962; Grubić, 1975; Bushinskii, 1975.

TEKTONIKA

Već dulje vremena je poznato da postoji neki odnos između tektonskih događaja i položaja ležišta boksita u Dalmaciji. Sakač (1961) je opisao složene tektonske strukture u kojima se nalaze boksiti kod Novigrada i Obrovca. Teško je bilo interpretirati skoro vertikalno položena boksitna tijela u području Maslenice (Marušić i Sakač, 1963). Geološka karta mjerila 1 : 5000 za područje Maslenice (Raljević, Fritz i Sušnjara, 1967) pokazuje rasjede, koji se poklapaju s pružanjem i geografskim razmještajem ležišta boksita. Marić (1971) je objavio ideju da je boksit masleničkog područja bio površinski transportiran i akumuliran u »paleokanjonu« neke »paleorijeke«, koji je nastao uzduž starih tektonskih smjerova.

Fotogeološka studija (Oluić, Haček i Hanich, 1971) ustanovila je u sjevernoj Dalmaciji jasnu korelaciju između rasjeda dinarskog pružanja i pružanja boksitnih ležišta. Oluić (1973) je objavio kako interpretacija avionskih snimaka u boji vodi k zaključku da većina ležišta boksita u Bukovici ima neku vezu sa strukturnim poremećajima, najčešće s rasjedima.

Prema Sakaču (1976a) boksitonosna zona Dalmacije bila je intenzivno poremećena tektonskim kretanjima za vrijeme orogenetskih faza u tercijaru. Ljuskave strukture su poznate u boksitnim područjima Mošća, Promine i Maslenice, a inverzne strukture s reversnim rasjedima u području Maslenice. Ove strukture mogu kontrolirati veće akumulacije boksita bez obzira na pomanjkanje izdanaka (Sakač, 1976b).

Studiranjem satelitskih i avionskih snimaka i na osnovu terenskih opažanja Grandić, Oluić i Bodrožić (1976) došli su do zaključka o tektonskim karakteristikama ležišta boksita u Bukovici: boksit erodiran na paleogeografskim uzvišenjima bio je transportiran i zatim akumuliran u zjapećim rasjedima.

STRATIGRAFSKA ILI STRUKTURNA KONTROLA

Postoje činjenice i objašnjenja koja ukazuju da postoji korelacija između geografske lokacije ležišta boksita i strukturnih oblika. Međutim, praktični rad na istraživanju boksita još i danas se oslanja isključivo na tumačenjima o stratigrafskoj kontroli boksita.

Otpor prema prihvaćanju strukturne kontrole ima dvojaku prirodu: 1. Stratigrafski položaj boksita je dokazan, pa izgleda kao da je stratigrafska kontrola jedini logičan način interpretacije. 2. Neki geolozi smatraju da nije moguće prihvatiti akumulaciju boksita visokog kvaliteta u »paleokanjonu« ili zjapećim rasjedima, jer se događa značajna degradacija boksita nakon površinskog trošenja, transporta i nove sedimentacije (Grubić, 1975).

Strukturna kontrola boksitnih ležišta mogla bi biti prihvaćena bez negiranja stratigrafske kontrole, ako se u razmatranje uključe pogledi o podzemnom tečenju boksita. Boksit je mogao biti pokrenut iz svog originalnog stratigrafskog horizonta uslijed djelovanja povišenih gravitacijskih ili tektonskih napona, mogao je biti transportiran u formi plastične mase, i onda je mogao biti akumuliran u prostorima s nižim naponom. Ideje i objašnjenja o plastičnom tečenju stijena mogu biti nađeni u strukturnoj geologiji i geomehanici.

STRUKTURNA GEOLOGIJA

Strukturna geologija, kad obrađuje tečenje relativno hladnih stijena, specijalnu pažnju posvećuje soli, gipsu i anhidritu. Međutim, klasični eksperimenti Adams-a i Coker-a (1910), te Adams-a i Nicholson-a (1901) utvrdili su da i mramor može teći kod stanovitih temperatura i pritisaka.

Hill (1963) naglašava da se u posljednjim godinama predmetom česte diskusije javlja pitanje intenzivnih deformacija stijena i njihovog tečenja pod djelovanjem napona u krupnim masivima. On objašnjava da kod visokih pritisaka krivulja pritiska/deformacija kod stijena postaje slična takvoj krivulji za metale, tj. stijene pokazuju značajne plastične deformacije.

GEOMEHANIKA

Tečenje glinovitih stijena prema rudarskim podzemnim radovima vrlo je poznati problem u rudarskoj praksi, često teoretski obrađivan.

Modernu teoriju tečenja stijena sumirao je Tsytovič (1976). On objašnjava razliku između plastičnog i progresivnog tečenja. Kad opterećenje pređe neku određenu veličinu pojavit će se lokalna nepovratna smicanja, koja u određenim uvjetima mogu postići i preći dimenzije plastičnog toka. Transformacija plastičnog u progresivno tečenje napredovat će to brže što je veće opterećenje. Vrijeme ovdje ima također važnu ulogu: dulje li je vrijeme trajanja opterećenja, manji će biti napon kod kojeg će progresivno tečenje početi. Plastično i progresivno tečenje javit će se zbog pregrupiranja strukture stijene (s kidanjem starih strukturalnih veza i formiranjem novih), te stvaranja i razvoja mikroprslina, a što se dešava u tri faze:

U 1. fazi zatvaraju se postojeće mikroprslina uz istovremeno smanjivanje volumena stijene (faza zbijanja i elastične deformacije).

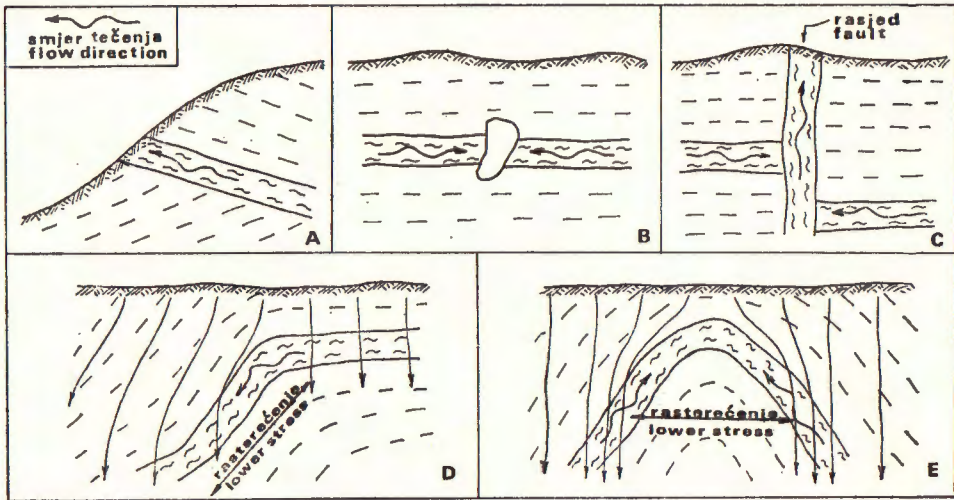
U 2. fazi (faza plastičnog tečenja) struktura se prestrojava bez promjene volumena stijene. Agregati čestica i pojedine čestice svrstavaju se u redove uzduž smjera aktivnih sila.

U 3. fazi, ili fazi progresivnog tečenja, volumen stijene se povećava i njen ukupni otpor pada uslijed pojava novih mikroprslina, koje nastavljaju sa širenjem i postaju odlučujuće za ubranu deformaciju, koja će rezultirati u tečenju povezanom s ekstruzijom stijene prema području s manjim naponom.

Ispitivanja u laboratoriju za mehaniku stijena mogu se odrediti fizički parametri za neku određenu stijenu, a na osnovu tih parametara moguće je pomoću Burger-ovih matematičkih modela ili Mohr-ovih krugova izračunati i grafički prikazati ponašanje, plastičnu deformaciju i uslove tečenja stijene pod djelovanjem određenih napona, u toku nekog vremenskog intervala. Proučavanja geomehaničkih svojstava boksita u ovu svrhu do danas učinjena, te u literaturi nisu nađeni podaci o geomehaničkim parametrima za boksit. Taj rad tek predstoji.

Smjer plastičnog tečenja

Može se općenito reći da će se kod plastičnog i progresivnog tečenja mobilna stijena kretati prema područjima ili prostorima s manjim opterećenjem (naponom, pritiskom). Prostori s manjim opterećenjem jesu: a) površina terena, b) prirodne ili umjetne šupljine (kaverne, spilje, rudarski otvori), c) rasjedi, d) strma krila boranih struktura (za razliku od blago nagnutih ili horizontalnih krila), e) antiklinale, posebno tjemena antiklinala (Skice A do E).



Sl. 1. — Fig. 1

Primjeri iz Dalmacije

Ovo je prvi pokušaj tumačenja ležišta boksita Dalmacije pomoću koncepcije o plastičnom ili progresivnom tečenju uslijed djelovanja gravitacijskih i tektonskih sila. Trebat će uložiti još dosta truda da se dobije cjelovita slika o strukturnom položaju mnogobrojnih ležišta boksita u Dalmaciji.

Područje Maslenice: Ležišta boksita nastala su akumulacijom u dvije strukturne jedinice: 1. vertikalni (ili skoro vertikalni) normalni rasjed dinarskog smjera, s pružanjem od Velebitskog kanala do kanjona rijeke Zrmanje, i 2. reversni rasjed (navlaka?), također dinarskog pružanja. Na dijelovima terena čelo reversnog rasjeda nalazi se u neposrednoj blizini normalnog rasjeda (Jasenice, Duge Njive), ponegdje reversno krilo prelazi preko normalnog rasjeda (Kranjčevac), a izgleda da se položaj čela reversnog rasjeda i normalni rasjed nalaze skoro u istoj liniji u Grižinići i Nekića Ogradi. Postojeća standardna interpretacija ležišta Č u k o v a c bazira se isključivo na stratigrafskom shvaćanju ležišta, gdje boksit mora ležati na foraminiferskom paleocenskom vapnencu, a treba biti prekriven eocenskim Promina naslagama. Strukturna interpretacija daje ovu sliku: Vrlo strm rasjed zapunjen boksitom, blago nagnuti slojevi okolnih stijena, koji su povijeni blizu rasjednih ploha zbog diferencijalnog kretanja, i to s lukovima koji su karakteristični za normalne rasjede.

J a s e n i c e: Već ranije je bilo ustanovljeno da je ovo najveće ležište boksita u sjevernoj Dalmaciji prekriveno s foraminiferskim i krednim vapnencima. Spominjan je i reversni rasjed i navlaka.

Svi elementi ukazuju da je ležište boksita D u g e N j i v e istog strukturnog tipa kao što je ležište Jasenice, s tom razlikom da je najveći dio reversnog krila ((foraminiferski i kredni vapnenci) denudacijom uklo-

njen. Otokapno ležište Dračevac je istog strukturnog tipa kao i ležište Čukovac. Na zapadnom čelu dnevnog kopa jasno se vidi strm normalan rasjed, a projekcije slojnih ploha Promina-naslaga u sjevernom boku dnevnog kopa sjekle su otkopano ručno tijelo.

Jaseničko Polje: Ovdje je isti slučaj kao kod Čukovca i Dračevca: vertikalni normalan rasjed zapunjen boksitom, glinom i laporima. Na oba čela, istočnom i zapadnom, jasno se vidi rasjed. Projekcije blago nagnutih slojeva Promine presijecale su otkopano boksitno tijelo. Gline i lapori, gotovo vertikalno »uslojeni« u krovini i podini boksita, do sada su interpretirane kao strmo nagnute Promina-naslage. Međutim, koncepcija o strukturnoj kontroli tumači da su gline i lapori plastično tekli istovremeno s boksitom, te su akumulirani u rasjednoj zoni istog normalnog rasjeda, ali nisu miješani s boksitom zbog njihovih različitih fizikalnih svojstava.

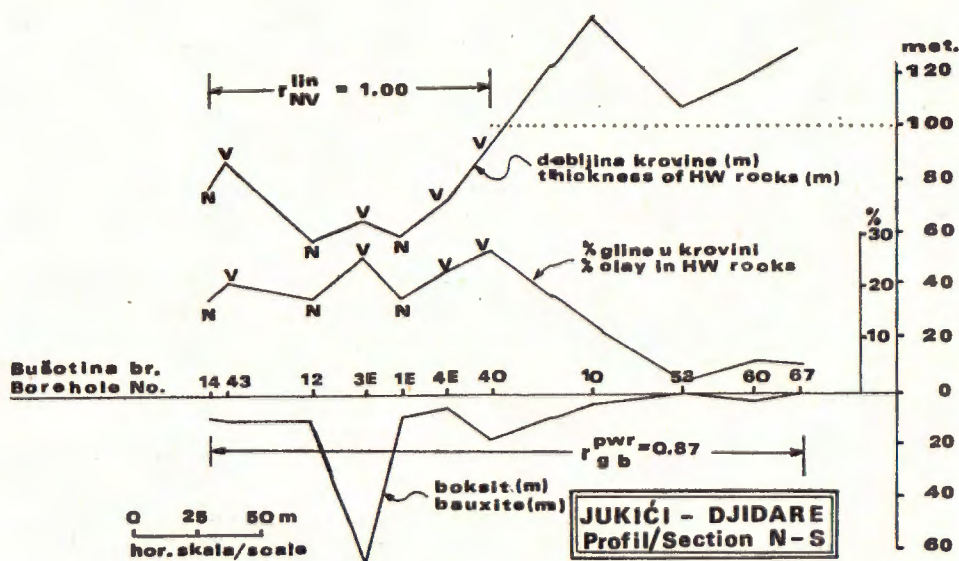
Područje Drniša: Ležište Kumano je vezano za normalan vertikalni rasjed, u pružanju kojeg se prema istoku nalazi i niz drugih ranije eksploatiranih ležišta boksita. Nameće se misao da je i ovo najveće ležište u drniškom kraju zapravo boksitom, glinom i laporom zapunjen strm rasjed. Na planini Moseć kod Drniša nalaze se na površini dvije dugačke kontaktne linije foraminiferskih vapnenaca i prominskih naslaga. Obje linije su primarno orudnjene i duž njih se nalazi mnogo malih ležišta i pojava boksita. Međutim, većih ležišta nema, jer slabo poremećeni kontakt ukazuje da nije bilo tektonskih zbivanja potrebnih za plastično pokretanje boksitne mase i stvaranje strukturnih zamki. Ipak bi još trebalo vidjeti, da li neki rasjedi i antiklinale ne predstavljaju orudnjene strukture.

Područje Imotskog: Boksitna ležišta Ričica kod Imotskog predstavljaju najljepše i najočiglednije primjere boksitom zapunjenih rasjednih zona.

Ležište Jukići — Đidare: Za potrebe ovog rada matematički i grafički je obrađeno ležište Jukići — Đidare kod Drniša. Ovo ležište boksita pronašla je i opisala ekipa Instituta za geološka istraživanja iz Zagreba (Sakač, Šušnjara i Lukšić, 1973). To je ležište kontaktnog tipa s foraminiferskim vapnencima u podini i Promina-naslagama u krovini. Boksit se nalazi u dubini od 50 do 140 metara ispod površine terena. Srednja debljina boksitnog tijela je 4,5 metara. Ležište se nalazi u simetričnoj uspravnoj antiklinali, čija krila su nagnuta od 45° do 65°. Rasjedi nisu utvrđeni. Laporu su nabušeni u većini bušotina, ali ih nema na površinskim izdancima. Ukupno je izbušeno 10.497 metara sa 108 bušotina.

Prominske naslage samo su kvalitativno opisane na profilima bušotina, pa ih je bilo potrebno prevesti u kvantitativne podatke na slijedeći način: Pretpostavljeno je da vapnenci i konglomerati sadrže 100% vapnenačke komponente, laporoviti vapnenac 70% vapnenačke i 30% glinovite komponente, lapor 50 : 50%, te glina 100% glinovite komponente. Ovako obrađeni podaci sigurno nisu točni, ali to je bio jedini put da se dođe do nekih rezultata, pa makar oni imali i neku sistematsku grešku.

Koristeći na gore opisan način obrađene podatke iz bušotina načinjen je diagram (profil) J—S (sl. 2). Promatranjem ovog profila mogu se uočiti slijedeće pravilnosti:



Sl. 2. — Fig. 2

Na krajnjem sjevernom dijelu profila u području bušotina 58 do 67 nema boksita, ili ga ima vrlo malo u bušotini 60. U istom području postotak glinovite komponente u krovini boksita je najmanji i ne prelazi 6%. Južno od bušotine 58, boksita ima svi više do bušotine 3E, a onda opet manje prema bušotini broj 14. U istom sektoru je postotak glinovite komponente u prominskim naslagama znatno veći i iznosi do 27% kod bušotine 40. Upotrebljen je »Curve fitting« program na kalkulatoru Hewlett-Packard 67 i ustanovljeno je da odnos između debljine boksita i postotka glinovite komponente u krovini nije linearan, eksponencijalan ili logaritmički, već potencijalan:

$$g = 6,93 b^{0,88}$$

g = % glinovite komponente u krovini,

b = debljina boksita (m).

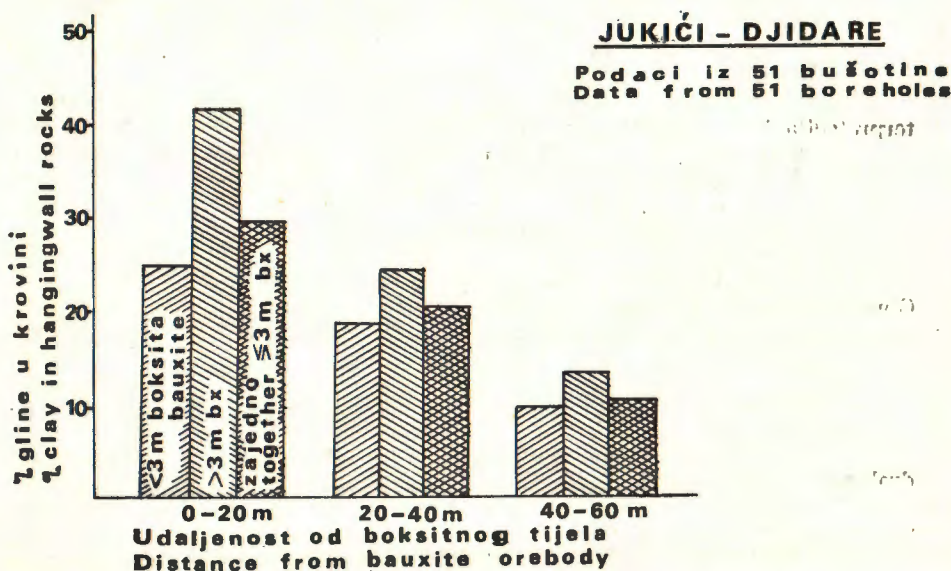
Isti program dao je i koeficijent korelacije (potencijalne — PWR) u iznosu od $r = 0,87$, što je vrlo snažna korelacija i pokazuje vrlo visok stupanj veze između debljine boksita i postotka glinovite komponente u krovini iznad boksitnog tijela.

Odnos glinovite komponente u krovini boksita i debljine boksita je proučen sa željom da se ustanovi ispravnost slijedeće prve pretpostavke: Ako je došlo do plastičnog ili progresivnog tečenja boksita uslijed djelovanja gravitacijskih ili tektonskih sila, onda je uz boksit morala teći i glina koja je sigurno plastičnija od boksita. Ako su tekli i glina i bok-

sit onda mora postojati i značajna korelacija između debljine boksita i debljine gline u području akumulacije, što je i utvrđeno.

Daljnje promatranje krivulje na profilu J—S ukazuje da je debljina boksita najveća tamo gdje je debljina krovine najmanja. Interpretacija je jednostavna: boksit je akumuliran u tjemenu i blizu tjemena antiklinale, jer su tamo vladali najmanji naponi (skica E na sl. 1).

Uočena je i druga pravilnost: Za antiklinalni dio (ispod 100 m debljine krovine) vrijedi ovaj odnos: gdje su više točke »V« na krivulji postotaka glinovite komponente, tamo su i više točke »V« na krivulji debljine krovine. Isto vrijedi i za niže točke »N«. Koeficijent linearne rang korelacije je $r = 1,00$ — dakle potpuna zavisnost! Zaključak: Ako ima više gline u krovinskim Promina-naslagama, onda i krovina ima veću debljinu. Ova pravilnost može se ovako objasniti: Plastičnim tečenjem gline prema tjemenu antiklinale i njenom akumulacijom povećala se i debljina krovinskih naslaga.



Sl. 3. — Fig. 3

Statističkom obradom podataka za bušotine s ležišta Jukići — Đidare ustanovljena je i treća pravilnost: Najviše glinovite komponente u prominskim naslagama ima u blizini boksita, udaljavanjem od boksitnog kontakta prema površini terena učešće glinovite komponente je sve manje. Krovinske naslage podijeljene su u 20 metarske intervale, izračunate su aritmetičke sredine i standardna devijacija za postotak glinovite komponente u krovini, odvojeno za različite debljine boksitnog tijela: manja od 3 m, veća od 3 m, i zajedno za debljinu boksita manju i veću od 3 metra. Rezultat je prikazan na sl. 3.

LITERATURA

- Adams, F. D. and Coker, E. G. (1910): The flow of marble. *Amer. Journ. Sci.*, vol. 29, ser. 4.
- Adams, F. D. and Nicholson, J. T. (1901): An experimental investigation into the flow of marble. *Phil. Trans.* ser. A, vol. 195.
- Bushinskii, G. I. (1975): *Geologiya boksitov*. Nedra, Moskva, 416.
- Grandić, S., Oluić, M. i Bodrožić, Đ. (1976): Noviji postupci i rezultati u istraživanju boksitnih ležišta u području Bukovice. *IV simpozij o istraživanju i eksploataciji boksita*, Herceg Novi, str. 73—80.
- Grubić, A. (1975): Geologija jugoslavenskih boksita. *Srpska akademija znanosti i umjetnosti*, posebna izdanja, knj. CDLXXXIII, Beograd, str. 181.
- Hill, E. S. (1963): *Elements of structural geology*, J. Wiley, New York.
- Jurković, I. (1962): Rezultati naučnih istraživanja rudnih ležišta u N. R. Hrvatskoj. *Geološki vjesnik*, sv. 15/I, 249—294, Zagreb.
- Marić, L. (1971): Karbonatne stijene i mineralna ležišta u jadranskom pojasu Dinarida. *Simpozij o zaštiti prirode u našem kršu*. Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, 261—271.
- Marušić, R. i Sakač, K. (1963): Istražni radovi na boksit na području Obrovac u godini 1962. Fond dokumenata »Jadral«-a, Obrovac, 35.
- Oluić, M., Grandić, S., Haček, M. i Hanich, M. (1972): Tektonska građa vanjskih Dinarida Jugoslavije. *Nafta* br. 1—2, Zagreb, 3—16.
- Oluić, M., Haček, M. i Hanich, M. (1971): Fotogeološko — tektonska interpretacija šireg područja Bukovice. *Geološki vjesnik*, sv. 24, Zagreb, 57—63.
- Oluić, M. (1973): Aerosnimci u boji kao novi elemenat u geološkom istraživanju boksitnih ležišta. *Geološki vjesnik*, sv. 25, 303—311, Zagreb.
- Raljević, B., Fritz, F. i Šušnjara, A. (1967): Geološka istraživanja boksitonosnog područja Ždrilo — Obrovac — Žegar. Fond dokumenata Geološkog zavoda Zagreb, br. 4554.
- Sakač, K. (1961): Geološka građa i boksitne pojave u području Novigrad — Obrovac. *Geološki vjesnik*, sv. 14, 323—344, Zagreb.
- Sakač, K., Šušnjara, A. i Lukšić, B. (1973): Ležište boksita Jukići — Đidare kod Drniša. Fond dokumenata Instituta za geološka istraživanja, Zagreb, Broj 5351.
- Sakač, K. (1976a): Paleogeografska, sedimentološka i tektonska zbivanja u sjeverozapadnoj i srednjoj Dalmaciji, Lici i dijelu Velebita i njihova povezanost s boksitogenim procesima u mezozoiku i kenozoiku. Fond dokumenata »Jadral«-a, br. 1976/I, Obrovac, str. 30.
- Sakač, K. (1976b): Geološka starost i karakteristike ležišta boksita. Fond dokumenata »Jadral«-a, br. 1976/2, Obrovac, str. 20.
- Schubert, R. (1904): Das Verbreitungsgebiet der Promina-schichten im Kartenblatte Novigrad — Benkovac. *Jahrb. geol. Reichsanst.*, Wien, 461—510.
- Schubert, R. (1905): Die geologischen Verhältnisse des norddalmatinischen Küstenstreifens Ždrilo — Castelvenier — Ražanac. *Verh. geol. Reichsanst.*, Wien, 272—284.
- Schubert, R. (1908): Die nutzbaren Minerallagerstätten Dalmatiens. *Ztschr. prakt. geol.*, Wien, 49—56.
- Tsyтович, N. (1976): *Soil mechanics*. Mir, Moskva, str. 293.

Structure control of bauxite deposits in North Dalmatia

J. CRNICKI

There is no doubt that bauxite of the karstic region of Dalmatia belongs to the group of sedimentary ore deposits. Meanwhile, generally accepted views on the stratigraphic control of the bauxite deposits can not explain complicated geological situation observed at many deposits — i. e. there are proves that tectonic events have caused the bauxite accumulation. It was pointed out under the heading »Tectonics«, there are many facts showing relation between location of bauxite deposits and structural situation of the region. Oowever, still today the practical exploration work and geological interpretation is based mostly on the stratigraphic control of the bauxite deposits.

Difficulties to accept the structural control of the deposits arise from two realities: (i) Stratigraphy of bauxite is proved, and it seems that the stratigraphic control is the only logical answer. (ii) It is not possible to accept accumulation of high quality bauxites in a »paleocanyon« or within gap faults, as it is known that a significant degradation of bauxites will occur during weathering, surface transport and new sedimentation.

The structural control of bauxite deposits could be admitted without neglecting the stratigraphic control, if the interpretation is done from a new position which incorporates underground plastic flow of bauxite as an important phenomenon. Original bauxite of a stratigraphic layer can be moved from high stress areas, can be transported as a plastic mass, and then accumulated within low stress spaces; or bauxite could move, flow and accumulate due to gravitational and tectonic stress difference.

The mobile bauxite mass shall flow from high stress spaces towards and into less loaded space. Spaces with lower stress are: (a) the earth surface, (b) natural or menmade openings (caves, mine openings etc.), (c) faults, (d) steep dipping limbs of folded structures, (e) anticlines. (Sketches from A to E, fig. 1).

Some bauxite deposits of Dalmatia are described taking in consideration the structural control.

A study of the bauxite deposit of Jukici — Đidare in the Drnis area was carried out using mathematical method. On the section N — S (fig. 2) the following can be seen:

Relation between thickness of bauxite and percentage of clay in the hanging-wall Promina-series rocks has a power relation:

$$c = 6.93 b^{.88}$$

c = % clay in the Promina rocks,

b = thickness of bauxite (m).

The coefficient of correlation (PWR) is $r = .87$. This is strong correlation, showing that the relation between the bauxite thickness and the percentage of clay in the Promina-series is significant. This fact is proving that the following presumption is accurate: If there has occurred flow of bauxite due to tectonic stresses, than clay within Promina-series has been moving in the same direction, too.

Curves on the N — S section shows that the bauxite thickness is at its maximum where there is the lowest thickness of the hangingwall Promina rocks. Interpretation is simple: Bauxite is accumulated at the anticline crest, because it is a space with diminished stress.

Hangingwall rocks were divided into 20 m intervals, and using data from 108 boreholes, the arithmetic mean has been calculated for the bauxite zones less than 3 m thick, more than 3 m thick, and both together. Results are presented on fig. 3. The diagram shows that the percentage of clay in the hangingwall rocks is the highest near the bauxite body, and there is less clay towards the surface.