

Geol. vjesnik	Vol. 37	str. 117—126	Zagreb 1984.
---------------	---------	--------------	--------------

UDC 551.243:55.3.492.1

Izvorni znanstveni rad

## Estimation of Tectonophysical Stress in Bauxite Ore Deposits

Ivan TOMAŠIĆ and Ivan DRAGIČEVIĆ

*Faculty of Mining, Geology and Oil Engineering Pierrotijeva 6, YU—41000 Zagreb*

As a consequence of directed stress, faults, joints, fractures, fissures and other discontinuities are situated in appropriate position according to the axes of maximum, medium and minimum normal stress  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  and  $\sigma_3$ . Reconstruction of stress axes related to orientation of discontinuities in host rocks of a bauxite ore deposits was done by means of graphical tectonophysical interpretation method.

### INTRODUCTION

The investigation was performed at the Jajce bauxite deposits. The bauxite bearing region was investigated in details by measuring and analysing discontinuities i. e. numerous joints, fractures, fissures and faults and by study of wider geotectonic framework.

The obtained data were used for defining of tectonophysical stress in the deposits as well as an complement to analysis of geomechanical characteristics of the roof walls.

In the last few years, it is a site intensive underground mining. Because of lack of experiance, and partly due to incomplete investigation, the exploitation is followed by unexpected events.

The greatest problem is sinking and striking in of the carbonate clastic hanging wall layers.

The striking are frequent above open underground spaces, wherefor a tensile strain zone is formed, whose depth depends upon their size and span. The main cause for those events are complex tectonic processes, i. e. directed tectonophysical stress lasting since the Cenomanian time up to now, and causing uplifting, folding, and breaking of the rock masses and formation of the presentday tectonic framework. Other possible causes responsible for the processes are geomechanical and mineral characteristics of the roof wall rocks.

Systematic investigation of stress acting in the Earth crust, in geological past and presentday as well, may be practicly applied in different activities as geology, geophysics, mining and civil engineering.

The presented paper is result of needs for structural investigation, particularly in domain of mineral row material deposits.

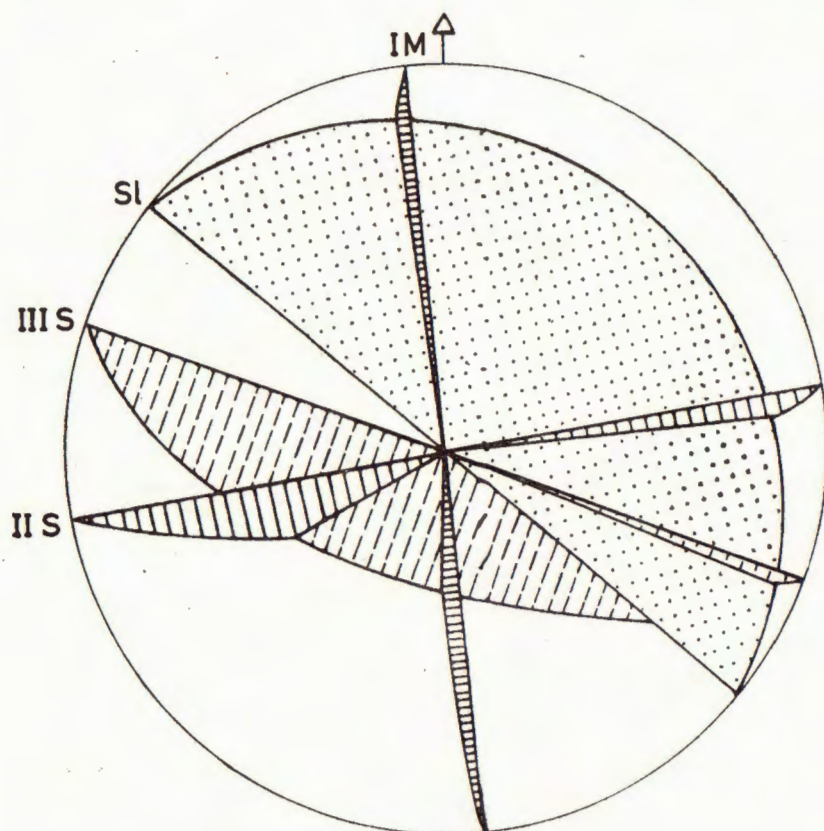


Fig. 1. The footwall  
Sl. 1. Podina

#### GEOLOGY AND STRUCTURE OF DEPOSITS

The bauxite deposits are placed onto the karstified Cenomanian limestones. The roof walls are clastic carbonate sediments of the Senonian age.

Sporadically, in the roof wall occur thin layers or lenses of clayey marls and calcarenites. The deposits are in a primary position, and only locally disturbed by normal faults with small vertical components. The roof wall and footwall layers are well uncovered enabling gathering of data for determination of tectonophysical factors.

The investigated locality is distinguished by relatively higher ore productivity (great number of deposits at a small surface, with significant reserves of high quality bauxites). The deposits differ in size and shape. They are usually elongated like channel or lenses, or they are flattened and panlike (fig. 5). Generally, it is hard to find two similar deposits, regarding shape. At some places, bauxite is thick up to 40 m.

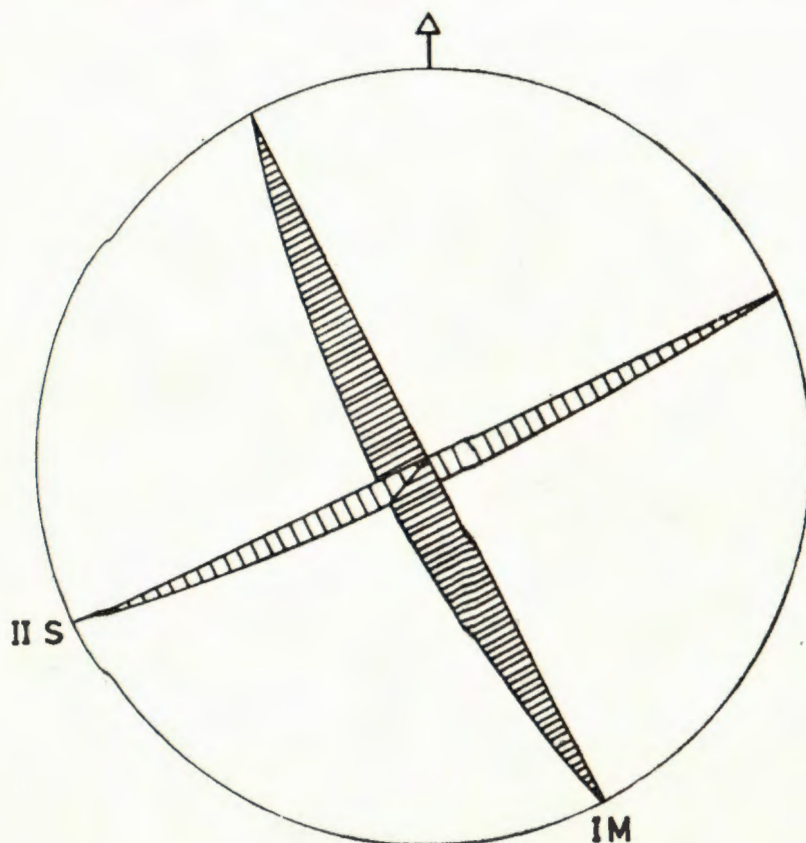


Fig. 2. Bauxite  
Sl. 2. Boksit

Physical and chemical characteristics of ore bodies are mainly constant. Certain deposit types, according to colour and inner structure may be excluded sporadically.

### Tectonophysical Reconstruction of Stress

Stereo net diagrams of pole normals of joints for deposit were done, and shown simplified on fig. 1, 2, 3 and 4, in order to reconstruct and assess tectonophysical stress. The joints on elaborated samples are represented by average position of joint system in bauxite deposit and its hanging and roof wall.

In the course of investigation, it was determined, that there is no significant discordance among spatial characteristics of particular joint systems.

The analyses results confirm the statement on fig. 1 (footwall), fig. 2 (bauxite), fig. 3 (bauxite) and fig. 4 (roof wall).

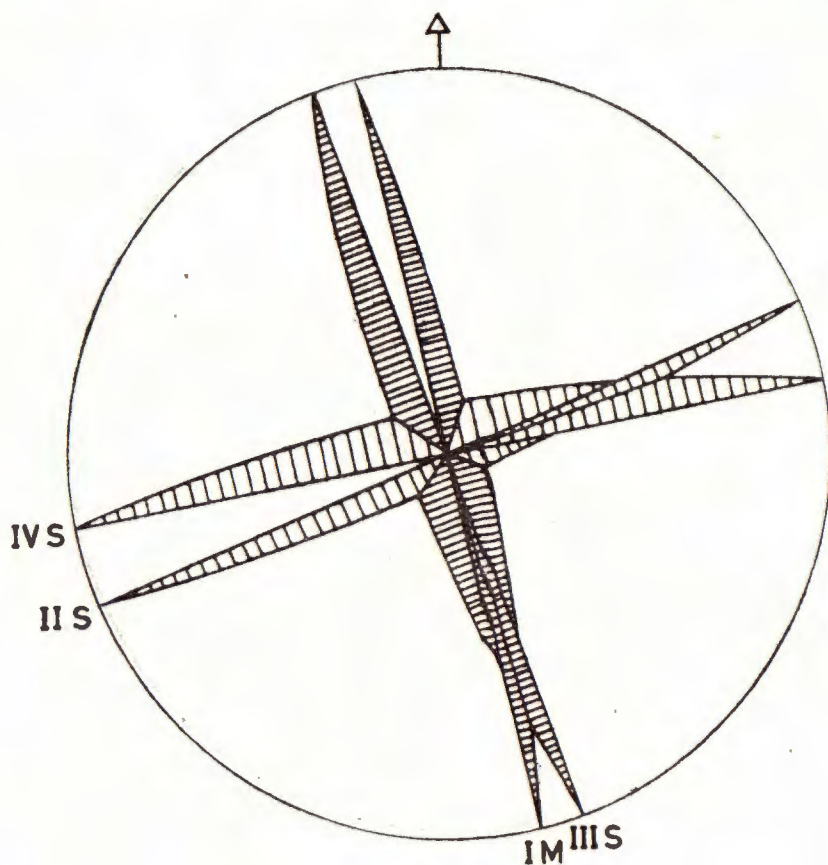


Fig. 3. Bauxite  
Sl. 3. Boksit

According to presented average positions of joint systems i. e. their orientation and mutual spatial relationship, it might be assumed, that in the complex »roof wall — bauxite — footwall« dominate two joint systems, and in geological past there was insignificant movement of the main stress axes as well. It has led to axis dispersion inside each of the particular joint system, as shown on fig. 3. Lesser disagreement are caused more by significant diversities in physico-mechanical characteristics of the bauxite in relation to the carbonate foot wall and the clastic roof wall layers. Only in the foot wall rocks exists a third joint system, which is poorly expressed, and shows weak departure from the second one.

Numerous elaborated data (317) enabled use of obtained results on fig. 3 for reconstruction and assessment of the main stress axes. The results are concordant with the most expressive joint system of the foot-wall and roofwall layers.

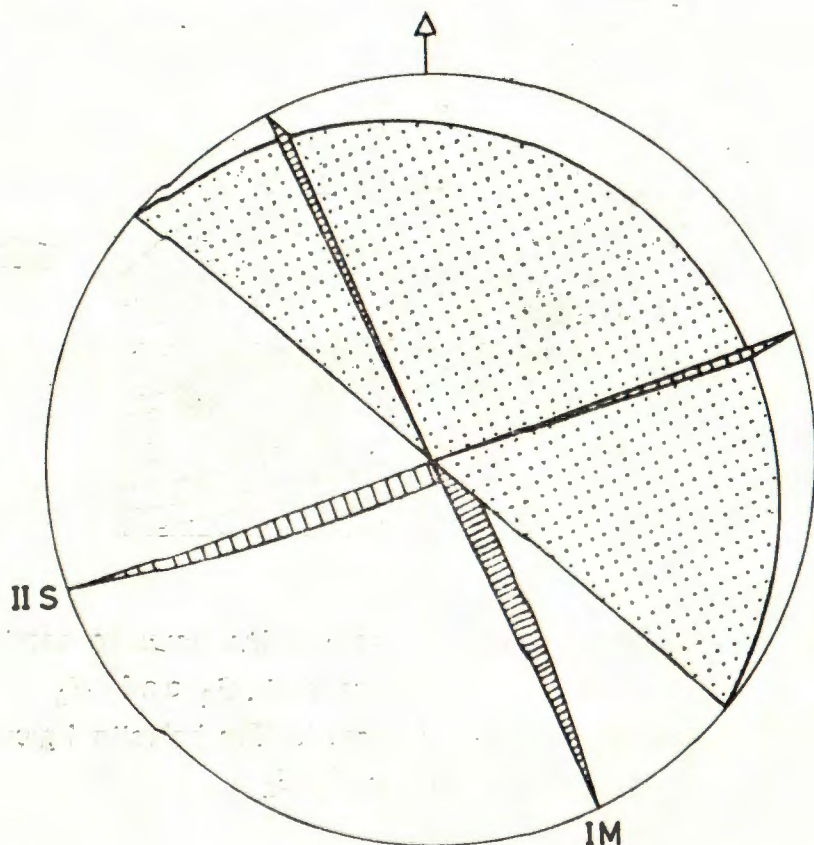


Fig. 4. The hangingwall  
Sl. 4. Krovina

The maximums and submaximums of the joint pole normals I M-252/80, II S-349/78, III S-77/82 and IV S-158/82, displayed on fig. 3, were used as a basis for reconstruction of stress axes.

A procedure for the main stress axis determination is developed by Gzovskiy (1975), Ocheretenko and Troschenko (1978), as follows: the axis of the minimum main normal stress ( $\sigma_3$ ) coincides with the bisectrix of the sharp angle between two joint systems, and the medium normal stress ( $\sigma_2$ ) acts along their intersection, while the axis of the highest normal stress ( $\sigma_1$ ) is perpendicular to the previous ones. As a result, we have obtained directions of force acting (fig. 5), which caused stress of the rock masses, joint formations, faults and other dislocations, important for presentday defining and exploitation of the deposit. On the basis of obtained results for the main stress axes  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  and  $\sigma_3$ ; as well as data from fig. 1, 2, 3 and 4, it may be estimated, that the movement of the particular axes was from  $\pm 5^\circ$  to  $\pm 10^\circ$ . It proves, that in the past, there has been several phases of structural

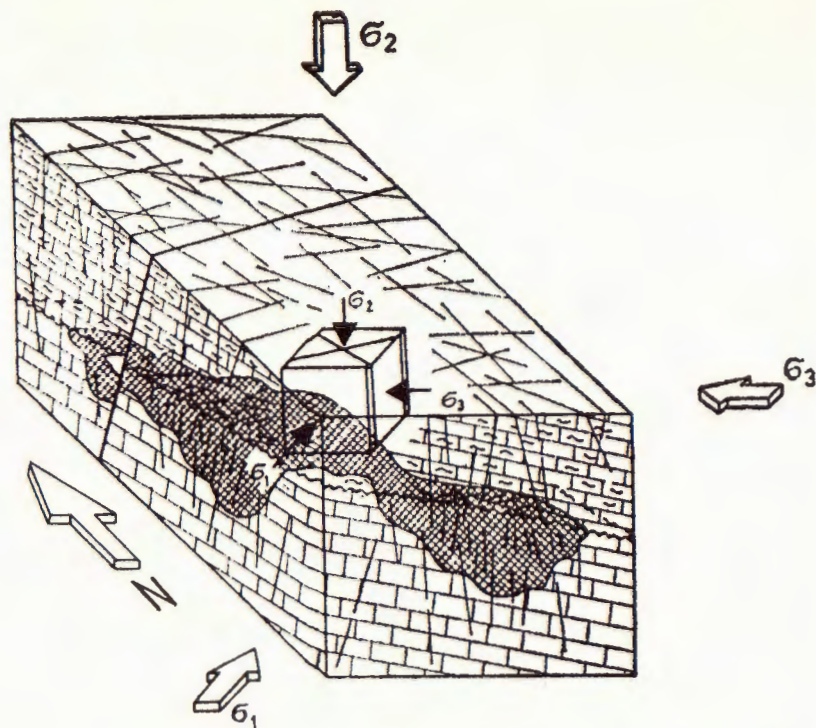



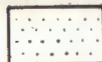





Fig. 5. Schematic block diagram of the bauxite deposit and main axes of stress  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  and  $\sigma_3$

Sl. 5. Shematski blok dijagram ležišta boksita i glavnih osi naprezanja  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  i  $\sigma_3$

LEGEND:  
LEGENDA:

- |   |  |
|---|--|
|  | The hangingwall: carbonate clastic senonian deposit<br>Krovina boksita: karbonatne klastične naslage senona                                      |
|  | Bauxite<br>Boksit  |
|  | The footwall: cenomanien limestones<br>Podina boksita: cenomanski vapnenci   |
|  | Bedding planes<br>Ravnina sloja  |
|  | Plane of the system joints I<br>Ravnina I sistema pukotina   |
|  | Plane of the system joints II<br>Ravnina II sistema pukotina   |
|  | Plane of the system joints III—(only in the footwall insignificantly developed)<br>Ravnina III sistema pukotina—(samo u podini neznatno izražen) |

remodeling of the rocks. It is likely to be, that the foot-wall rocks at this locality were slightly disturbed before formation of the bauxite deposits. It was not till the becoming of the bauxite deposits and sedimentation of the roof-wall layers that the roof-wall and foot-wall rocks and the bauxite were structurally remodeled (fig. 1, 2, 3 and 4).

#### CONCLUSION

According to performed geological and tectonophysical investigation, reconstruction and interpretation, it may be concluded, that the foot-wall of the bauxite ore bodies, has not been markedly structurally changed till deposition of the hanging wall layers, when simultaneously, all of them together (i. e. the footwall, bauxite and hangingwall) underwent intensive structural alternation.

The analysis has pointed out that the maximum stress axis ( $\sigma_1$ ) is perpendicular onto the Dinaric liniament NW—SE i. e. it coincides with former supposition about direction of the maximum stress action. Also may be assumed, that in the past, there were probably acting more complex tectonic processes pressing from a deeper parts of the Earth crust. It is supported by position of the mean stress ( $\sigma_2$ ) and mutual spatial relationship among crosscuts of the mean discontinuity dips, which amounts something less than  $90^\circ$ , i. e. less than  $45^\circ$  with sharp angle bisectrix.

It is also estimated, that obtained analitical elements, primarily mean angles of joint pole normals, inside of each particular joint system, amounts over  $80^\circ$ , and their strike and main stress axes  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  and  $\sigma_3$ , may be useful by choosing optimal orientation in the underground works. They can be important for determination of size and shape of underground space, which should have the smallest area perpendicular at the maximum stress action. The analysis results of discontinuities, in the same case, may use as a basis for geomechanical investigation of unstable, and striking-ready bauxite roof-wall rocks.

Generally, the established method may be usefully applied and contribute for better knowledge and prediction of structure of deeply buried bauxite deposits, and space in the fault zone, as well as dislocations during performance of investigation works. Studying deposit tectonic and tectonic fabrics may give a series of useful data for increase of ore reserves, for safety reasons, and for better defining and coordination of mutual spatial relationship of joints and deposit geometry.

It may particularly effect the method of excavation i. e. choice and shape of underground spaces and openings according to direction of stress action axes and deposit tectonic fabrics. It may also contribute to better understanding of deeply situated processes in the earth crust, defining directions and size of forces, which point out their origin.

Strain of rock masses, as a result of directed pressures and own weight of rock masses is very dangerous in mineral deposits. Marginal parts of underground spaces are soonestly, influenced by alteration. It should be also mentioned that the sites and samples, released from strain in rock

mass, are sometimes in the course of time deformed up to breakage, since, in that case, strains act in opposite directions relatively to the ones in rock mass.

*Received on December 15th 1983.*

#### LITERATURA

1. Ocheretenko, I. A. and Troschenko, V. V. (1978): Stereograficheskie proektsii v strukturnoy geologii. — Nedra, Leningrad
2. Gzovskiy, M. V. (1975): Osnovy tektonofiziki. — Nauka, Moskva

### Ocjena tektonofizičkih naprezanja u ležištu boksita

*I. Tomašić i I. Dragičević*

Kao posljedica različitih usmjerenih naprezanja, pukotine tj. diskontinuiteti općenito se nalaze u odgovarajućem položaju u odnosu na osi najvećeg, srednjeg i najmanjeg normalnog naprezanja  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  i  $\sigma_3$ . Grafičkom metodom tektonofizičke interpretacije izvršena je rekonstrukcija osi naprezanja prema orijentaciji diskontinuiteta u stijenskoj masi ležišta boksita.

#### UVOD

Istraživanja su provedena na ležištima boksita kod Jajca. Područje ležišta obuhvaćeno je detaljnim istraživanjem, mjerenjem i analizom obilja pukotina i rasjeda, tj. diskontinuiteta i studijom šireg geotektonskog sklopa. Dobiveni rezultati korišteni su za definiranje tektonofizičkih naprezanja u ležištu i dopunu analize geomehaničkih karakteristika krovine.

Zadnjih godina provodi se intenzivna podzemna eksploatacija ležišta. Zbog nedostataka iskustva i dijelom zbog nekompletnih istraživanja dolazi do nepredviđenih posljedica u toku i poslije eksploatacije tj. iskorištavanja ležišta. Najveće probleme stvara slijeganje i zarušavanje krovinskih karbonatnih klastičnih naslaga. Rušenja su učestala iznad otvorenih podzemnih prostora, gdje se stvara vlačna zona čija dubina ovisi od njihove veličine i raspona. Glavnim uzrocima ovih procesa smatraju se složeni tektonski procesi tj. usmjerena tektonofizička naprezanja koja traju od cenomana do danas a uzrok su uzdizanja, boranja i pucanja stijenskog masiva i formiranja današnjeg tektonskog sklopa. U uzroke se još mogu ubrojiti geomehaničke i mineraloške karakteristike krovinskih klastičnih stijena.

Sistematično izučavanje naprezanja koja djeluju u Zemljinoj kori, kako u geološkoj prošlosti tako i danas, može se praktično primijeniti u raznim djelatnostima kao što su geološka, geofizička, rudarska i građevinska. Zbog toga je i ovaj rad rezultat potreba strukturoloških istraživanja posebice u domeni ležišta mineralnih sirovina.

#### GEOLOGIJA I STRUKTURA LEŽIŠTA

Ležišta boksita nalaze se na okršanim vapnencima cenomana. Krovinu im čine karbonatne klastične naslage senona. Mjestimično se u krovini javljaju tanji prosljoci ili leće glinovitih lapora i kalkarenita. Ležišta su u primarnom položaju, a samo su mjestimice poremećena normalnim rasjedima malih skokova. Naslage podine i krovine uglavnom su dobro otkrivene i omogućuju prikupljanje planarnih elemenata iz kojih su dobiveni podaci za utvrđivanje tektonofizičkih parametara.

Istraživani lokalitet odlikuje se relativno velikom orudnjenošću (velik broj ležišta na maloj površini sa znatnim rezervama visokokvalitetnog boksita). Pojedina ležišta su različitih dimenzija i oblika. Obično su izdužena u obliku kanala i leća,



ili su plosnata i zdjelčasta (sl. 5). Općenito je teško naći po obliku dva slična ležišta. Na pojedinim mjestima boksit je debljine i do 40 m.

Fizikalno kemijske osobine rudnih tijela su uglavnom konstantne. Samo se ponegdje mogu izdvojiti određeni tipovi boksita s obzirom na boju i unutrašnju strukturu.

### TEKTONOFIZIČKA REKONSTRUKCIJA NAPREZANJA

Za rekonstrukciju i ocjenu tektonofizičkih napreznja izrađeni su konturni dijagrami polova normala na ravnine pukotina u ležištu, te su pojednostavljeno prikazani na slikama 1, 2, 3 i 4. Pukotine na obrađenim primjerima reprezentirane su srednjim položajem niza pukotina istog sistema u naslagama boksita i njegovoj podini i krovini.

U toku istraživanja utvrđeno je da kod orijentacije pojedinih sistema pukotina u sklopu podina — boksit — krovina nema znatnijih odstupanja, čak što više postoji znatno podudaranje. To potvrđuju rezultati analiza u ležištu na slikama 1 (podina), 2 (boksit), 3 (boksit) i 4 (krovina).

Prema prikazanim srednjim položajima niza pukotina istog sistema tj. prema orijentaciji istih i njihovom međusobnom prostornom odnosu, može se pretpostaviti da u kompleksu podina—boksit—krovina dominiraju dva sistema pukotina, te da je u geološkoj prošlosti dolazilo do neznatnog pomicanja glavnih osi napreznja. To je dovelo do stvaranja disperzije unutar svakog pojedinog sistema pukotina, kako to najbolje prikazuje slika 3.

Manja odstupanja više su uzrokovana znatnijim razlikama u fizičko-mehaničkim svojstvima boksita u odnosu na karbonatne podinske i klastične krovinske naslage. Tek u podini (sl. 1) postoji i treći sistem pukotina koji je slabije, odnosno neznatno izražen, a pokazuje manje odstupanje od drugog sistema.

Zbog broja obrađenih podataka (317) dobiveni rezultati na slici 3 poslužili su za rekonstrukciju i ocjenu glavnih osi napreznja. Ovi se rezultati podudaraju s najizraženijim sistemima pukotina podinskih i krovinskih naslaga.

Generalno prikazanim pukotinama na slici 3 pripadaju maksimalni i submaksimalni polovi normala na ravnine pukotina I M-252/80, II S-349/78, III S-77/82 i IV S-158/82, na temelju kojih je izvršena rekonstrukcija osi napreznja.

Glavne osi napreznja obično se utvrđuju prema Gzovskiju (1975), Očerenku i Troščenkju (1978), koji su razradili metodu rekonstrukcije. Pri tome se os minimalnih glavnih normalnih napreznja ( $\sigma_3$ ) poklapa s bisektrisom oštrog kuta između dva sistema pukotina, a srednje normalno napreznje ( $\sigma_2$ ) djeluje duž njihove presječnice. Os najvećeg normalnog napreznja ( $\sigma_1$ ) okomita je na prethodne dvije osi. Kao rezultat dobiveni su pravci djelovanja sile (sl. 5) koje su bile uzrokom napreznja stijena, formiranja pukotina, rasjeda i drugih dislokacija koje su bitne za definiranje i razradu ležišta. Na osnovi dobivenih rezultata za glavne osi napreznja  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  i  $\sigma_3$ , te na temelju podataka iz slika 1, 2, 3 i 4 može se ocijeniti da je u geološkoj prošlosti dolazilo do pomicanja pojedinih osi oko njihovih srednjih vrijednosti (sl. 5) od  $\pm 5^\circ$  do  $\pm 10^\circ$ . To potvrđuje da je bilo više faza strukturnog preoblikovanja stijena. Vjerojatno je da su stijene podine na ovom lokalitetu bile neznatno poremene prije nastanka ležišta boksita. Tek poslije odlaganja materijala za nastanak ležišta boksita i taloženja krovinskih naslaga zajedno su strukturno preoblikovane i stijene podine, rudno tijelo i krovina (sl. 1, 2, 3 i 4).

### ZAKLJUČAK

Prema provedenim geološkim i tektonofizičkim istraživanjima, rekonstrukciji i interpretaciji, može se zaključiti da podina ležišta rudnih tijela istraživanih boksita nije poslije taloženja bila značajnije strukturno promijenjena, sve dok nisu bile istaložene krovinske naslage, kada je zajedno s njima i rudnim tijelom pretrpjela intenzivne strukturne promjene.

Analiza je pokazala da je os glavnih normalnih napreznja ( $\sigma_2$ ) okomita na dinarski pravac pružanja SZ-JI tj. da se podudara s dosadašnjim pretpostavkama o pravcu djelovanja maksimalnih napreznja. Može se pretpostaviti da su u prošlosti vjerojatno djelovali i složeniji tektonski procesi s potiscima iz dubljih dijelova zemljine kore, čemu u prilog ide os srednjih napreznja ( $\sigma_2$ ) i međusobni prostorni odnos presjeka prosječnih nagiba ravnina pukotina koji iznosi nešto manje od  $90^\circ$ ; odnosno manje od  $45^\circ$  uz bisektrisu oštrog kuta.

Također je utvrđeno da dobiveni elementi ove analize, prvenstveno prosječni kutevi nagiba ploha pukotina unutar pojedinih sistema pukotina iznose preko  $80^\circ$ , te njihovo pružanje i osi glavnih napreznja  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  i  $\sigma_3$ , mogu korisno poslužiti za izbor optimalne orijentacije podzemnih radova i biti od utjecaja posebice na veličinu i oblik podzemnih otvora koji bi, smatra se, morao biti najmanje površine duž pravca najvećih napreznja. Rezultati analize diskontinuiranosti u ovom primjeru poslužili su također kao osnova za geomehanička istraživanja u nestabilnoj i obrušavanju sklonoj krovini boksita.

Općenito, ovako postavljena i razrađena metoda može korisno poslužiti i doprinesti boljem poznavanju i prognozi strukturne građe duboko skrivenih ležišta mineralnih sirovina, te prostora u zoni rasjeda i dislokacija prilikom provođenja istražnih radova. Izučavanje tektonike ležišta i tektonskog sklopa može dati niz korisnih podataka za povećanje rezervi i njihovo iskorištenje, za sigurnost razrade istih, prvenstveno za definiranje i usklađivanje međusobnog prostornog odnosa pukotina i geometrije ležišta.

Posebice može utjecati na metodu eksploatacije odnosno izbor i oblik podzemnih otvora i prostora s obzirom na djelovanje osi napreznja i tektonskog sklopa ležišta. Također može doprinesti teoriji o procesima koji nastaju u dubokim dijelovima Zemlje, definirajući pravce i veličine sila, koji upućuju na njihovo porijeklo.

Kod ležišta mineralnih sirovina napreznja stijenskih masa kao rezultat usmjerenih pritisaka i vlastite težine masiva stoga su veoma štetna i opasna. Rubni dijelovi podzemnih prostora najprije su izloženi promjenama. Posebno treba spomenuti mjesta i uzorke koji su oslobođeni napreznja u masivu, koja se ponekad s vremenom deformiraju i do raspadanja jer u tom slučaju napreznja djeluju u suprotnom pravcu od onih u masivu.