

## POTENCIJALNO NESTABILNA KOSINA IZNAD SEPARACIJE U KAMENOLOMU DOLOMITA »OČURA« KRAJ LEPOGLAVE

Karlo BRAUN<sup>1</sup>, Željko MLINAR<sup>1</sup> i Ivan BATURIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 41000 Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup> Geotehnički fakultet, Hinkovičeva 7, 42000 Varaždin, Hrvatska

**Ključne riječi:** Kamenolom dolomita, Kosina, Diskontinuiteti, Fragmenti stijena, Stabilnost

U radu su prikazani rezultati kompleksnih inženjerskogeoloških istraživanja provedenih na uvjetno stabilnoj kosini iznad separacije kamenoloma »Očura« kraj Lepoglave. Snimanjem elemenata tektonskog sklopa i obradom dobivenih podataka određeni su diskontinuiteti referentni za stabilnost kosine na ravni i klinasti lom. Mjerenjem veličina stijenskih fragmenata duž kosine, prirodno odvojenih diskontinuitetima, nastojalo se ocijeniti vjerojatne brzine širenja uzdužnih seizmičkih valova, koje su korelirane s brzinama određenim metodom plitke refrakcijske seizmike. Na osnovu brzina širenja seizmičkih valova i »RMR«-klasifikacije, procijenjena su fizičko-mehanička svojstva stijenske mase. Dobiveni rezultati ukazuju na to da se kosina iznad separacije u kamenolomu »Očura« mora smatrati uvjetno stabilnom, s realnom perspektivom da će potresni valovi nastali miniranjem tijekom planirane eksploatacije u zaledu kosine, dovesti do dinamičkih promjena, otvaranja sada zatvorenih diskontinuiteta i obrušavanja velikih blokova koji se nalaze iznad diskontinuiteta.

### Uvod

U kamenolomu dolomita »Očura« projektira se proširenje eksploatacije u sjeveroistočnom dijelu ležišta gdje se, neposredno uz kosinu, nalazi separacija s utovarnim postrojenjem. Kosina bi trebala biti dio zaštitnog stupa prema polju u kojem će se dolomit eksploatirati. S obzirom na vibracije izazvane potresnim valovima od miniranja na budućoj fronti kopa postavilo se pitanje stabilnosti kosine iznad separacije.

### Opće karakteristike stijenske mase

U stijenskoj masi, koja se nalazi iznad separacije, razvijen je površinski kop dolomita s osnovnim platoom na koti 250 m, dijelom etaže (njenim završetkom) na koti 280 m, kosinom između te dvije etaže visine 30-ak m i kosinom od etaže na koti 280 m ili lomljene kosine od etaže 250 m do linije terena. Maksimalna visina presjeka linije terena s kosinom je 328 m. Kosina smjerom i nagibom varira približno od 333/60°, preko 273/60°, 282/60°, 298/70° do 314/70° (sl. 1).

Stijenska masa predstavljena je gornjotrijaskim, kristaličnim i tektonski ispucalim dolomitom (Šimunić et al., 1978) u kojem se samo lokalno nalaze veći blokovi prirodno odvojeni diskontinuitetima.

U južnom i jugoistočnom dijelu promatrane stijenske mase nalazi se vrlo jasno izražena tektonska zona koja osim fragmenata sadrži i značajniju količinu posve dezintegrirane stijene, a lokalno i glinovitu supstanciju. Stijenska masa je uz tektonsku

**Key-words:** Dolomite quarry, Slope, Discontinuities, Rock fragments, Stability

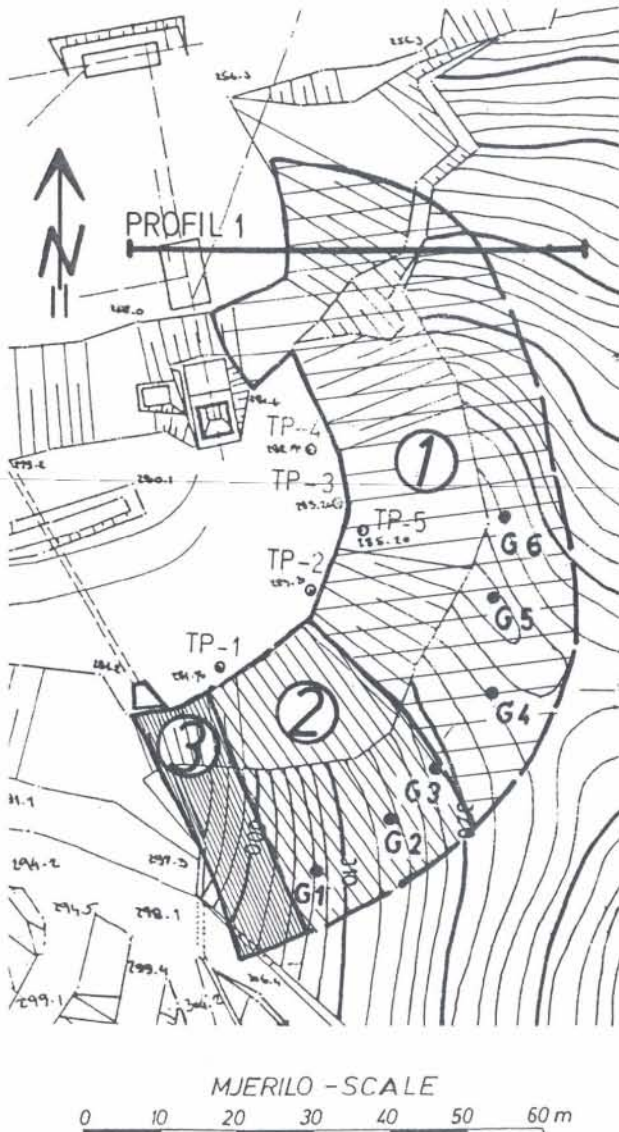
The complex engineering investigation, in the nearest surround of the conditionally stable high slope, close to ore processing facilities in the dolomite quarry »Očura« near Lepoglava (North Croatia), was carried out. Studying the tectonic features of the rock mass, discontinuities referent to the slope stability, was found out. Rock fragment size was measured and data processed using statistical design. According to rock fragment mean values, velocity of the longitudinal seismic waves was predicted. This values was compared with velocities of the longitudinal seismic waves, determined using geophysical refraction seismic method. Physical and mechanical properties of the dolomite rock mass, considering longitudinal and transversal seismic wave velocities, and »RMR«-classification was assessed. All the results indicate, that the slope above the ore processing facilities should be consider as conditionally stable, with real probability to get unstable under the vibrations caused by blasting, during the exploitation in the field, close behind the investigated slope.

zonu jače ispucala, dok dalje od nje izgleda kompaktnije.

### Karakteristike tektonskog sklopa

Tektonski sklop promatrane stijenske mase određen je mjerenjem diskontinuiteta i njihovom genetskom klasifikacijom, položaja i orijentacije strija na kliznim plohama te mjerenjem veličine prirodno odvojenih fragmenata stijene (udaljenosti između diskontinuiteta). Mjerenje veličine fragmenata provedeno je duž dva karakteristična pravca dostupna opažanjima. Izmjerena su 242 diskontinuiteta, od čega je s vidljivim strijama bilo 56, većina smičnog tipa sa subhorizontalnim kretanjima blokova.

Obrada tektonskih podataka provedena je kompjutorskim programom »GEOSTRUUK«, koji je licencirao Jamičić (1988). Prema izrađenom konturnom dijagramu svih izmjerenih diskontinuiteta (sl. 2), maksimume najvećeg ekstenzitetu imaju pukotine statističkog položaja 293/74–82°, 101–110/84–86°, 170/63°, 200/84° i 24/86°. Očitani maksimumi ostalih pukotina jesu 49/73°, 68/66°, 76/25°, 110/48°, 212/32°, 248/84°, 255/48°, 273/74° i 293/52°. Na temelju tih maksimuma, za određivanje stabilnosti kosina geometrijskom metodom (Hoek i Bray, 1977), nacrtan je sintetski strukturni dijagram s trasama ravnina diskontinuiteta (sl. 3). Prema rezultatima istraživanja šireg područja diskontinuiteti položaja 212/32° najvjerojatnije odgovaraju slojevitosti, diskontinuiteti položaja 200/84° i 24/86° aksijalnoj ravnini, a diskontinuiteti položaja 293/74–82° i 101–110/84–86° pukotinama okomitim na os »b« regionalne strukture.



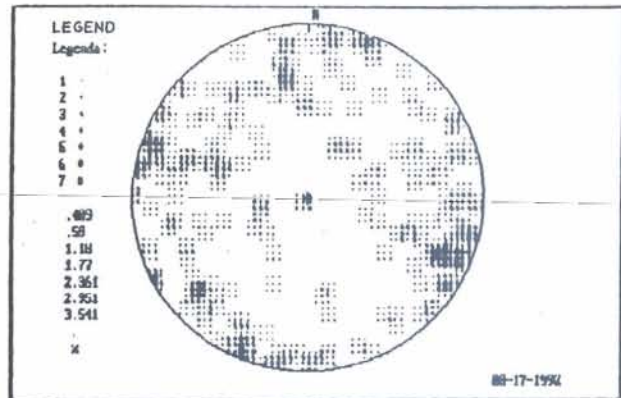
Sl. 1 Skica dijela kamenoloma »Očura« uz separaciju  
**LEGENDA:**  
 1 - Relativno kompaktna stijenska masa  
 2 - Stijenska masa uz tektonsku zonu  
 3 - Tektonska zona  
 TP-1 - Točka paljenja kod seizmičkih istraživanja  
 G4 - Položaj geofona

Fig. 1 Location sketch of the part of the »Očura« quarry, near separation plant  
**EXPLANATION:**  
 1 - Compact rock mass  
 2 - Part of the rock mass close to tectonic zone  
 3 - Tectonic zone  
 TP-1 - Seismic initialisation point  
 G4 - Location of the geophone

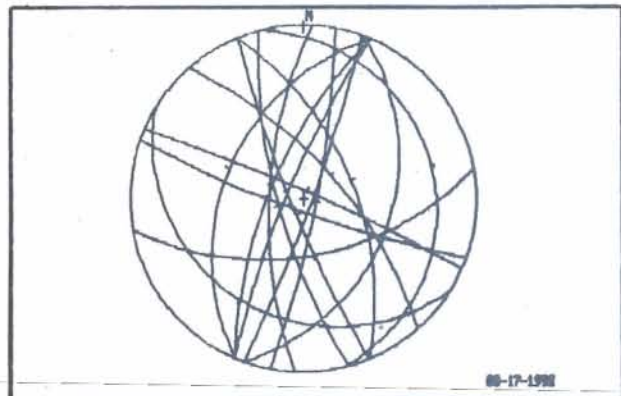
Smjerovi regionalnog stresa (orijentacija elipsoida deformacija) pod kojim su nastali klizni diskontinuiteti rekonstruirani su mjerenjem prostornog položaja strija i određivanjem smjera kretanja krovinskog bloka. Dio kliznih diskontinuiteta nastao je u starijim tektonskim fazama kod čega se regionalni stres mijenjao od pravca istok-zapad do jugoistok-sjeverozapad.

U mađim neotektonskim fazama uz promjenu pravca regionalnog stresa nastali su novi diskontinuiteti, a stari su reaktivirani. Karakteristično je da pukotine okomite na stariju strukturu os »b« u

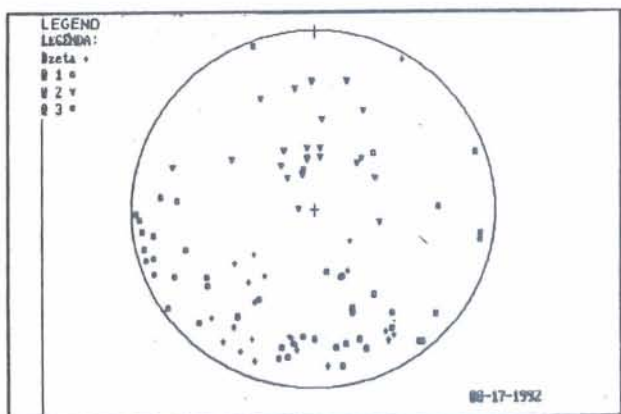
mladim fazama postaju klizne. Na nekoliko takvih pukotina strije pokazuju da su se tektonski blokovi kretali u dva suprotna smjera. Na dvije pukotine moglo se odrediti da se krovinski blok kretao u tri tektonske faze. Ukoliko se na temelju izmjerenih strija i ustanovljenih smjerova kretanja krovinskih blokova za svaki klizni diskontinuitet odrede tektonske osi, onda se i kod rasjeda i kod kliznih pukotina može utvrditi da ih je većina nastala uz stres ( $\sigma_1$ )



Sl. 2 Konturni dijagram svih snimljenih diskontinuiteta. 242 mjerenja  
 Fig. 2 Contour diagram of all measured discontinuities. 242 measurements



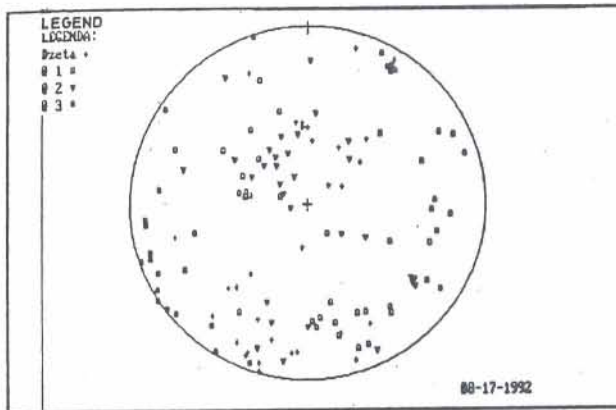
Sl. 3 Glavni diskontinuiteti prikazani trasama ravnina  
 Fig. 3 Structural diagram of the main discontinuities



Sl. 4 Tektonske osi određene na osnovu mjerenja orijentacije strija na reversnim rasjedima. 23 mjerenja  
 Fig. 4 Tectonic axes defined by measurements of striia orientation of reverse faults. 23 measurements

iz smjera jug-jugoistoka, s tenzijom ( $\sigma_3$ ) prema zapad-jugozapadu. Neutralna os ( $\sigma_2$ ) je subvertikalna.

Konturni dijagrami izrađeni posebno za klizne diskontinuitete reversnog (sl. 4) i normalnog tipa (sl. 5) pokazuju da normalnom tipu kliznih diskontinuiteta odgovaraju položaji 49/73°, 68/66°, 273/74° i 293/52–74°, dok reversnom tipu odgovaraju položaji 248/84° i 293/52–74°.

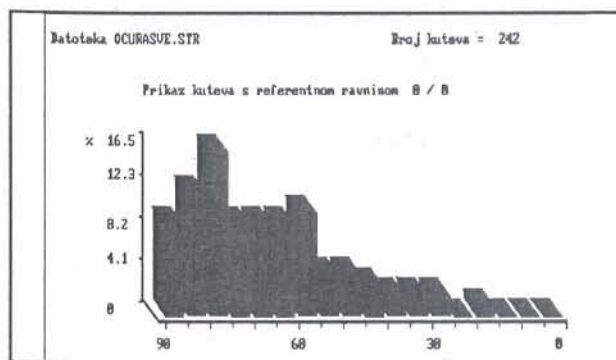


Sl. 5 Tektonske osi određene na osnovu mjerenja orijentacije strija na normalnim rasjedima. 33 mjerenja

Fig. 5 Tectonic axes defined by measurements of stria orientation of normal faults. 33 measurements

Prema opisanom tektonskom sklopu, a s obzirom da kosina ima tri glavna odsječka 282–298°/60–70°, 273°/60–66° i 314–333°/60–70°, za njezinu stabilnost u odnosu na ravni lom referentne pukotine su klizni diskontinuiteti smičnog (normalnog i reversnog) tipa generalnog položaja 293°/52–74°. Promatranjem postojeće kosine dobiva se utisak da je ona općenito stabilna. To je u skladu sa snimljenim i određenim tektonskim sklopom. Međutim, vidljivo je također, da postoje uvjetno stabilni blokovi koji se od stijene mogu otkinuti. Takvi blokovi leže iznad kliznih diskontinuiteta manjeg nagiba od kosine, kada je kut između njih 10–15°. Njihova stabilnost najvjerojatnije je uvjetovana subhorizontalnim strijama koje kod zatvorenog tipa diskontinuiteta povećavaju trenje.

Prostorni kutevi koje izmjereni diskontinuiteti zatvaraju s horizontalnom ravninom (sl. 6), variraju



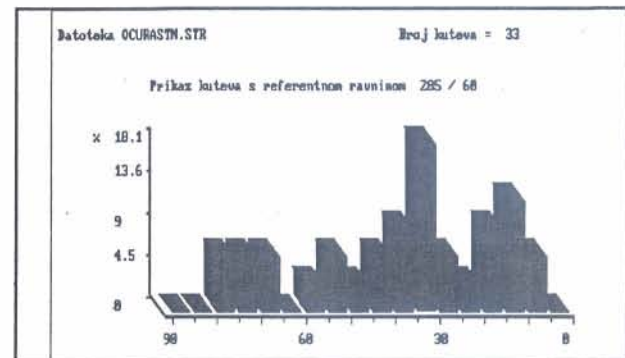
Sl. 6 Grafički prikaz prostornih kuteva između snimljenih diskontinuiteta i horizontalne ravnine. 242 mjerenja

Fig. 6 Graphical display of the spatial angles between the measured discontinuities and horizontal plane. 242 measurements

između 60° i 90° (najviše zastupljeno 80°). Znači da je najveći broj diskontinuiteta praktički paralelan kosini ili za približno 10° strmiji od njenog nagiba.

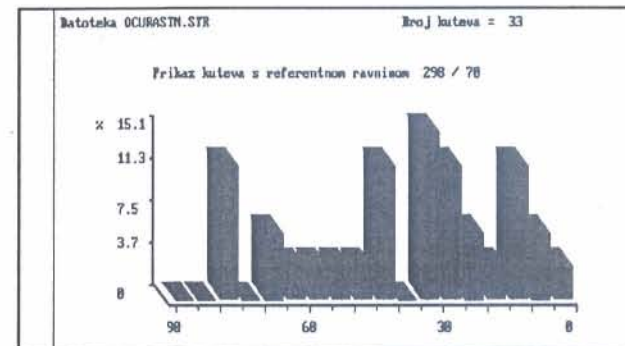
Analiziraju li se prostorni kutevi između kosina nagiba 282/60 (sl. 7) i 298/70° (sl. 8) s kliznim diskontinuitetima normalnog tipa, tada je 10% selektiranih diskontinuiteta u odnosu na kosinu pod vrlo nepovoljnim kutem (0–30°). To je ujedno i osnova nestabilnosti ili uvjetne stabilnosti kosine za ravni lom.

U odnosu na klinasti lom kosine nagiba 60° su stabilne. To pokazuje izrađeni »beta« dijagram (konturni dijagram presječnica između svih izmjerenih diskontinuiteta, sl. 9).



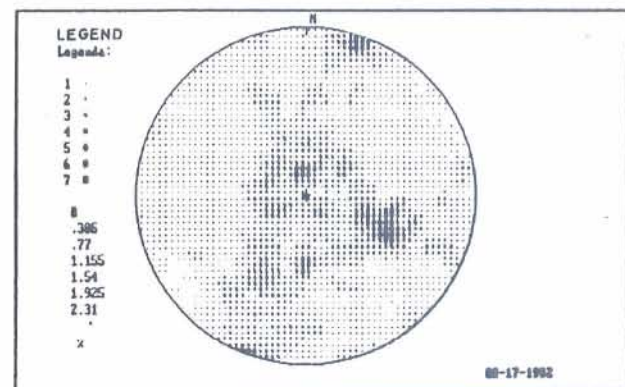
Sl. 7 Grafički prikaz prostornih kuteva kliznih diskontinuiteta normalnog tipa s ravninom 285/60°. 33 mjerenja

Fig. 7 Graphical display of the spatial angles between measured normal faults and slope 285/60°. 33 measurements



Sl. 8 Grafički prikaz prostornih kuteva između kliznih diskontinuiteta normalnog tipa i ravnine 298/70°. 33 mjerenja

Fig. 8 Graphical display of the spatial angles between measured normal faults and slope 298/70°. 33 measurements



Sl. 9 Konturni »beta«-dijagram presječnica između svih izmjerenih diskontinuiteta. 29.161 presječnica

Fig. 9 Contour »beta«-diagram of the intersections between all the measured discontinuities. 29.161 intersections

### Neke mehaničke karakteristike stijenske mase

Mehaničke karakteristike pokušalo se procijeniti mjerenjem razmaka između diskontinuiteta i geofizičkim istraživanjima. Mjerenjem razmaka diskontinuiteta dobivene veličine fragmenata statistički su obrađene. Lognormalna razdioba omogućuje da se na osnovu srednje veličine fragmenata prema dijagramu koji su predložili Božić i Braun (1991) procijeni moguća brzina prostiranja uzdužnih valova u stijenskoj masi. Budući da su provedena i geofizička istraživanja primjenom plitke refrakcijske seizmike, pokušalo se iz procijenjenih i terenskim snimanjima određenih brzina prostiranja uzdužnih i poprečnih valova izračunati približne ili orijentacijske parametre čvrstoće i ostale fizičko-mehaničke karakteristike stijenske mase u cjelini (Aleksovski i Mirakovski, 1989).

### Mjerenje veličine fragmenata

U promatranoj stijenskoj masi mjereni su fragmenti u tektonskoj zoni, u njenom dijelu uz tektonsku zonu i u njenom dijelu koja izgleda kompaktnije. Rezultati numeričke statističke obrade podataka, za lognormalnu distribuciju mjerenih veličina prikazani su u tablici 1.

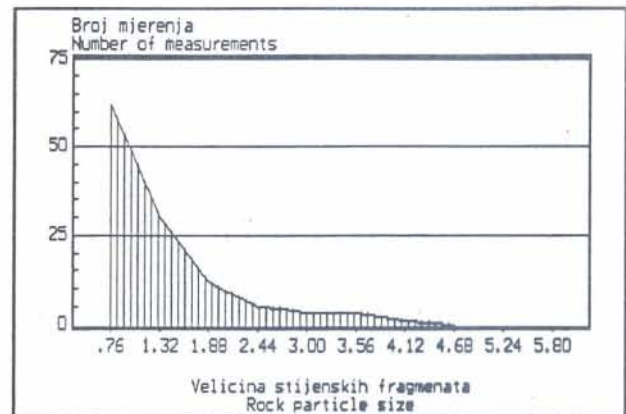
Tablica 1 Rezultati statističke obrade mjerenja veličine stijenskih fragmenata (za lognormalnu razdiobu)

Table 1 Results of the statistical processing of the rock particle size measurements (for lognormal distribution)

	tektonska zona tectonic zone ▼ 280	dio uz tekt. zonu close to tect. zone ▼ 280	kompaktniji dio compact zone ▼ 250
sred. vrijednost logaritama mean of logarithms	-0.3675	0.2736	0.4330
stand. devijacija logaritama standard deviation of logs	0.7770	0.7619	0.6864
srednja veličina fragmenata rock particle mean size	0.69 cm	1.31 cm	1.54 cm
normalna vel. fragmenata do normal particle size up to	1.49 cm	2.28 cm	3.74 cm

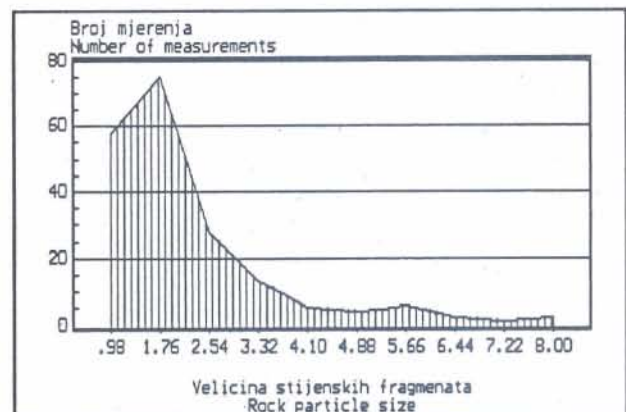
Grafički su rezultati statističke obrade podataka prikazani histogramima. Izmjerene veličine razmaka između diskontinuiteta ili veličine fragmenata lognormalno su distribuirane (sl. 10, 11 i 12). Na dijagramima se mogu očitati najveći ekstenziteti izmjerenih vrijednosti, ali se iz njih ne mogu odrediti srednje vrijednosti populacija, a objektivno ni rasponi unutar kojih se uz određenu vjerojatnost mogu normalno očekivati vrijednosti analiziranog parametra.

Za prikazivanje karakteristika populacije mjerenih veličina mogla bi se sugerirati metoda crtanja njihove kumulativne distribucije na papiru vjerojatnosti, jer dobiveni dijagram omogućuje očitavanje vjerojatnosti pojavljivanja određenih vrijednosti, a to znači i vrijednosti čije se pojavljivanje može smatrati normalnim (do 84%-tne vjerojatnosti), kao i očitavanje maksimalne veličine promatranog parametra koja se u populaciji može očekivati. Taj dijagram, međutim ne daje podatke o ekstenzitetu pojavljivanja blokova određenih veličina. Grafički prikazi kumulativne distribucije na papiru vjerojatnosti za mjerene vrijednosti razmaka između diskontinuiteta na etaži 250 m i 280 m, dani su na sl. 13. Razmaci između



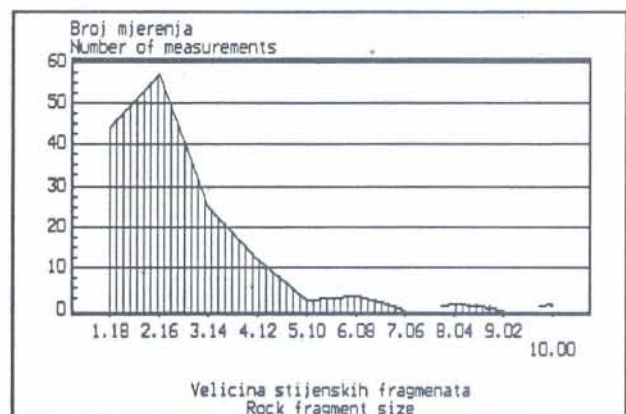
Sl. 10 Histogram mjerenih veličina stijenskih fragmenata u tektonskoj zoni. 117 mjerenja

Fig. 10 Histogram of the measured rock particle size of the tectonic zone. 117 measurements



Sl. 11 Histogram mjerenih veličina fragmenata u stijenskoj masi uz tektonsku zonu. 194 mjerenja

Fig. 11 Histogram of the rock particle size of the rock mass close to tectonic zone. 194 measurements



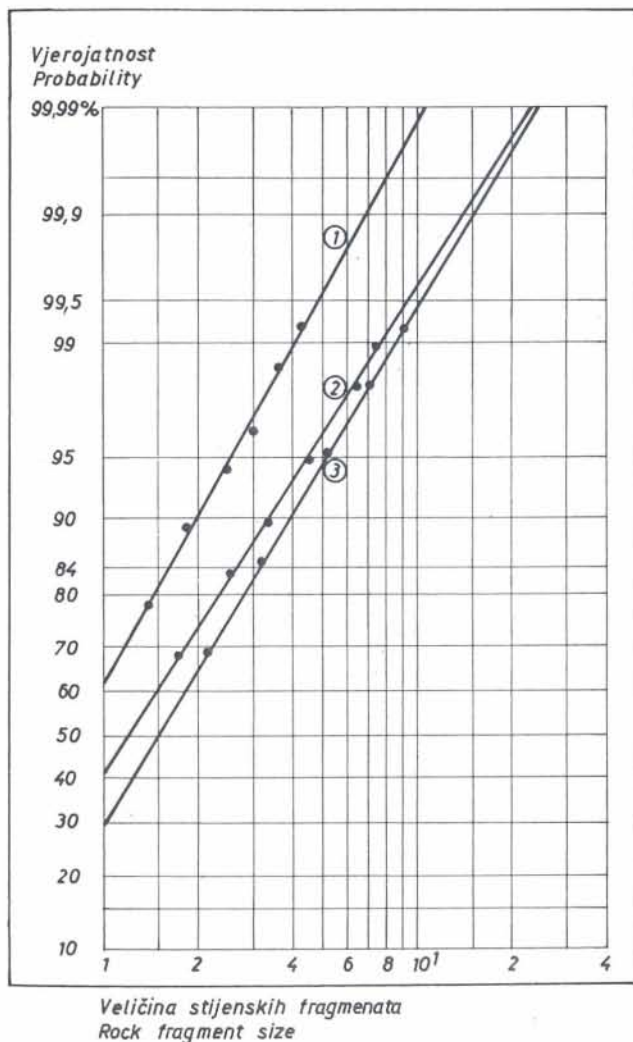
Sl. 12 Histogram mjerenih veličina fragmenata u kompaktnijoj stijenskoj masi. 145 mjerenja

Fig. 12 Histogram of the rock particle size of the more compact rock mass. 145 measurements

diskontinuiteta koji pripadaju normalno očekivanim pojavama (kod vjerojatnosti od 84%) su u tektonskoj zoni do 1,6 cm, u dijelu stijenske mase uz tektonsku zonu do 2,35 cm i u relativno kompaktnoj stijenskoj masi do 2,7 cm. Maksimalne očekivane veličine fragmenata su u tektonskoj zoni oko 11 cm, u dijelu

stijenske mase uz tektonsku zonu oko 21,5 cm, i u relativno kompaktnijoj stijenskoj masi oko 22 cm.

Na osnovu mjerenja veličine fragmenata može se prema dijagramu koji su predložili Božić i Braun (1991) procijeniti, da će unutar tektonske zone brzina seizmičkih valova biti između 400 i 1000 m/s, u dijelu stijenske mase uz tektonsku zonu između 900 i 1600 m/s, a u dijelu stijenske mase koja izgleda kompaktnije između 1100 i 1800 m/s. U kompaktnijem dijelu stijenskog masiva brzina uzdužnih valova na osnovu statističke obrade podataka može doseći i 2300 m/s. Kada bi se stijenska masa istraživala ultrazvučnom metodom, mogla bi brzina uzdužnih valova mogla biti oko 4000 m/s.

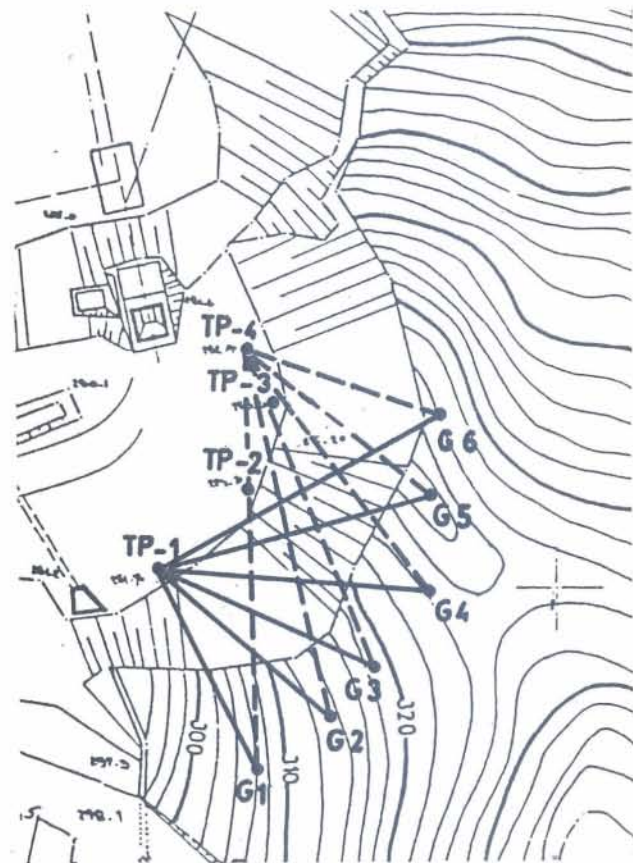


Sl. 13 Dijagram kumulativne frekvencije veličine stijenskih fragmenata mjerenih u tektonskoj zoni (1), dijelu stijenske mase uz tektonsku zonu (2) i kompaktnijoj stijenskoj masi (3)

Fig. 13 Diagram of the cumulative frequency of the rock particle size measured in tectonic zone (1), rock mass close to tectonic zone (2) and more compact rock mass (3)

### Geofizička istraživanja

Za ocjenu stabilnosti kosine iznad separacije u kamenolomu »Očura« provedena su geofizička istraživanja stijenske mase metodom seizmičkog »prozračivanja« (plitka refrakcijska seizmika). Na etaži



Sl. 14 Shema geofizičkih istraživanja

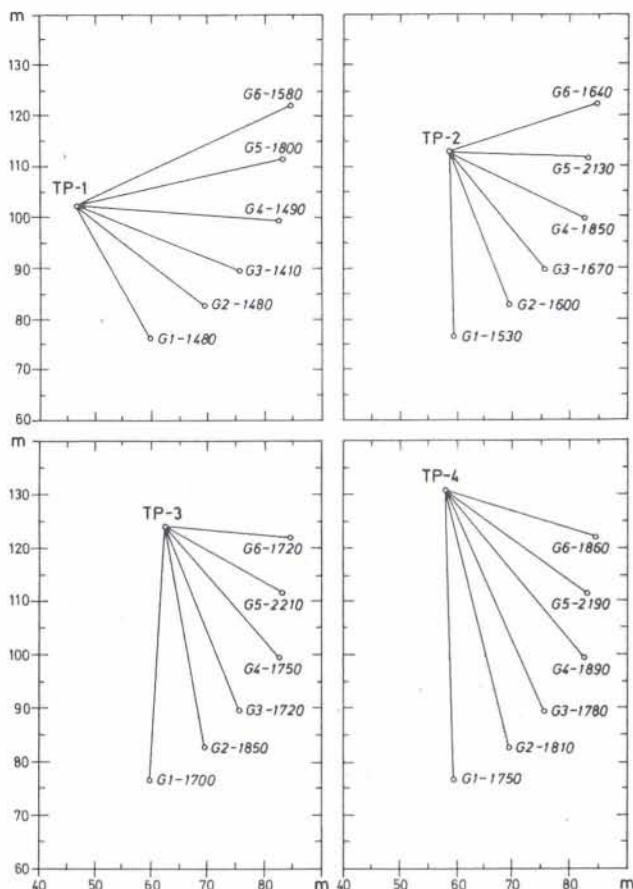
Fig. 14 Sketch of the geophysical investigation

visine 280 m u blizini donjeg ruba kosine locirane su 4 točke paljenja, dok je iznad kosine, na terenu, postavljeno 6 geofona (sl. 1 i sl. 14). Iniciranje uzdužnih seizmičkih valova izvedeno je mehanički, udaranjem teškog čekića po metalnoj podlozi i aktiviranjem malih količina eksploziva u plitkim bušotinama (dubine 0,5 m) trenutnim električnim detonatorima. Iniciranje poprečnih seizmičkih valova izvedeno je bočnim udaranjem po specijalnoj metalnoj konstrukciji orijentiranoj približno istok-zapad. Uzdužni i poprečni valovi snimani su prenosivim digitalnim seizmografom »ABEM TERRALOC MARK 3«. Spektar brzina longitudinalnih valova prikazan je na sl. 15, a transverzalnih na sl. 16.

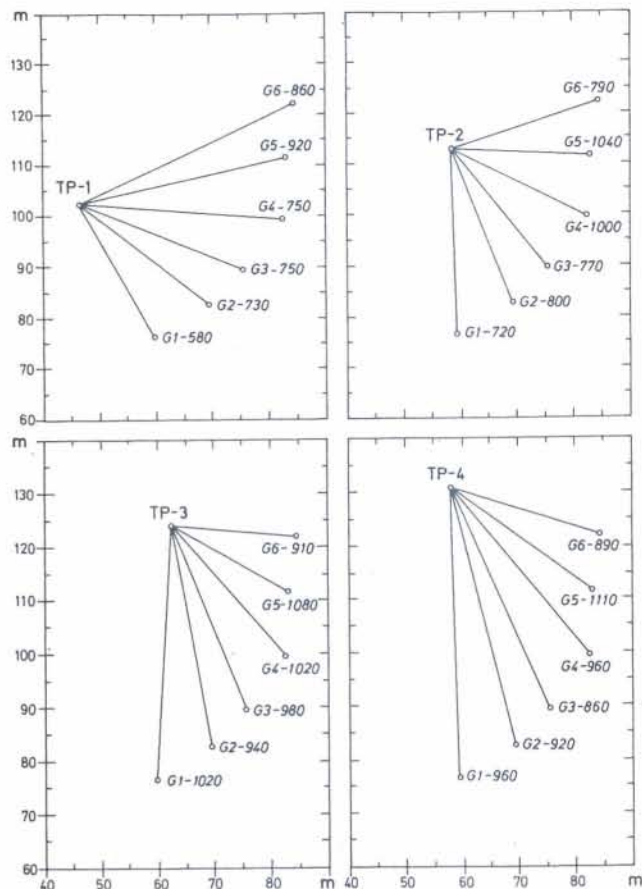
Geofizičkim istraživanjima u stijenskoj masi izdvojena su tri dijela: jedan s prosječnom brzinom uzdužnih seizmičkih valova oko 1460 m/s i poprečnih oko 700 m/s, drugi s prosječnom brzinom uzdužnih seizmičkih valova oko 1750 m/s i poprečnih oko 880 m/s i treći s prosječnom brzinom uzdužnih seizmičkih valova oko 2160 m/s i poprečnih oko 1070 m/s. Provedenim geofizičkim istraživanjima nisu određene seizmičke karakteristike stijenske mase u tektonskoj zoni.

### Fizičko-mehanička svojstva

Na temelju izmjerenih brzina prostiranja seizmičkih valova, orijentacijski a prema Aleksovskom i Mirakovskom (1989) se za stijensku masu uz tektonsku zonu s prosječnom brzinom uzdužnih valova oko 1460 m/s i poprečnih oko 700 m/s i



Sl. 15 Spektar brzina longitudinalnih seizmičkih valova u području kosine iznad separacije u kamenolomu »Očura«  
 Fig. 15 Longitudinal waves velocity spectrum in the slope area close to separation plant of the quarry »Očura«



Sl. 16 Spektar brzina transversalnih seizmičkih valova u području kosine iznad separacije u kamenolomu »Očura«  
 Fig. 16 Transversal waves velocity spectrum in the slope area close to separation plant of the quarry »Očura«

relativno kompaktniji tip dolomitske stijene s brzinama uzdužnih seizmičkih valova oko 1750 m/s i 2160 m/s i poprečnih oko 880 m/s i 1070 m/s, moglo računati s mehaničkim svojstvima prikazanim u tablici 2.

Ocijenjeni koeficijenti oslabljenja stijenske mase (Lomta dze, 1970) trebali bi u tektonskoj zoni biti između 0,10 i 0,25, u stijenskoj masi uz tektonsku zonu između 0,22 i 0,40, a u kompaktnijoj stijenskoj masi između 0,28 i 0,57.

### Diskontinuiteti i stabilnost kosina

Prema kvantitativnom opisu diskontinuiteta koje preporuča Internacionalno udruženje za mehaniku stijena (ISRM, 1978), za najnepovoljniji tip diskontinuiteta u odnosu na stabilnost kosina (rasjedi i klizni diskontinuiteti 270–300/60–80°), hrapavost u 10-centimetarskom mjerilu je tipa 8 (JRC = 14–16), u 50 centimetarskom mjerilu odgovara grupi B, a u metarskim dimenzijama tipu I (hrapavi).

Duž kosine prisutna su četiri glavna sistema diskontinuiteta i slučajne pukotine. Prostiranje diskontinuiteta je veliko (od 10 do 20 m) do vrlo veliko (preko 20 m).

Stijenke diskontinuiteta u kompaktnijem dijelu sadrže nerazmekšavajuće dolomitne korice. U dijelu stijenske mase uz tektonsku zonu u većim kliznim diskontinuitetima ima praškaste ispune od dezintegri-

Tablica 2 Izračunate orijentacijske veličine fizičko-mehaničkih svojstava dolomitne stijenske mase

Table 2 Calculated orientational values of the physical and mechanical properties of the dolomite rock mass

Brzina uzdužnih valova Velocity of longit. waves	1460 m/s	1750 m/s	2160 m/s
Brzina poprečnih valova Velocity of transv. waves	700 m/s	880 m/s	1070 m/s
Velicina fragmenata Rock particle size	2,2 cm	3,3 cm	5,4 cm
Poissonov koeficijent Poisson's coefficient	0,35	0,33	0,33
Dinam. modul smicanja Dynamic shear modulus	1378 MPa	2168 MPa	3205 MPa
Dinam. modul elastičnosti Dynamic elasticity modulus	3704 MPa	5766 MPa	8525 MPa
Dinam. zapreminski modul Dynamic volume modulus	4115 MPa	5652 MPa	8357 MPa
Statički modul elastičnosti Static elasticity modulus	701 MPa	1093 MPa	1621 MPa
Modul deformacije Deformability modulus	128 MPa	877 MPa	1288 MPa
Jednosksijalna cvrstoca Uniaxial strenght	4,6 MPa	8,3 MPa	14,0 MPa
Prividni kut trenja Virtual friction angle	27°	30°	29°
Prividna kohezija Virtual cohesion	32 kPa	58 kPa	99 kPa

ranog dolomita, a u tektonskoj zoni, uz dezintegrirani dolomit ima glinovite supstancije. Testom geološkim čekićem, čvrstoća stijenki diskontinuiteta odgovara grupi R-1 (1–5 MPa), a u kompaktnijem dijelu grupi R-2 (5–25 MPa).

Zijev diskontinuiteta u kompaktnije dijelu je manji od 0,1 mm, uz tektonsku zonu do 0,5 mm, a u tektonskoj zoni između 0,5 i 2,5 mm.

Stijenska masa duž promatrane kosine je općenito suha. U izrazitim padalinskim razdobljima duž otvorenih diskontinuiteta postoji mogućnost perkolacije vode.

Razmaci između diskontinuiteta vrlo su maleni. Znači da je broj diskontinuiteta u 1 m<sup>3</sup> stijenske mase velik (u tektonskoj zoni,  $J_n > 35$ , a u kompaktnom dijelu  $J_n > 20$ ). RQD u tektonskoj zoni i uz nju je manji od 10%. U kompaktnijem dijelu stijenske mase, gdje je gustoća diskontinuiteta između 20 i 30/m<sup>3</sup> RQD bi mogao biti između 25% i 50%. Dužina blokova u kompaktnijem dolomitu doseže i preko 20 cm. U tom je dijelu stijenska masa prilično nehomogena. Najkompaktniji dio stijenske mase, koji se nalazi i u najvišem dijelu kosine, nije bio dostupan direktnim mjerenjima. Međutim, uzorak koji pripada kompaktnoj stijenskoj masi, a na etaži je zaostao nakon obrušavanja s kosine, terenskim testom geološkim čekićem pokazao je da prema jednoaksijalnoj tlačnoj čvrstoći pripada grupi R-4 (50–100 MPa). Te vrijednosti približno odgovaraju podacima o čvrstoći dolomita ležišta »Očura« dobivenim njegovim ispitivanjem (»Uvjerenje o kvaliteti kamena br. 1833/92«, Fond dokumenata Instituta građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1992. god.).

#### »RMR«-klasifikacija stijenskih masa prilagođena određivanju stabilnosti kosina

Za primjenu RMR klasifikacije stijenskih masa (Bieniawski, 1979) s dodatnim podacima koji omogućuju njenu primjenu i za kosine (Romana, 1985) mogu se dati elementi za ocjenu njene kvalitete uz tektonsku zonu i za relativno kompaktniji dio (tablica 3).

Prema opisu navedenih karakteristika stijenska masa iz dijela uz tektonsku zonu prema »RMR«-klasifikaciji pripada slaboj stijeni (IV. kategorija), dok su relativno kompaktniji dijelovi na granici između slabih i povoljnih stijena (III. i IV. kategorija). Za stijensku masu koja je kompaktna i ima brzinu prostiranja uzdužnih valova oko 2200 m/s broj bodova prema RMR klasifikaciji bio bi 44 (zbog očekivanog RQD između 25% i 50%). Takav bi se dio stijenske mase mogao smatrati srednje kvalitetnim (III. kategorija). Prema tim podacima može se ocijeniti da su stijene kod zahvata u njima nestabilne do djelomično stabilne, sklone ravnom lomu po određenim diskontinuitetima ili klinastom lomu po većim presječnicama (Romana, 1985). Procjena veličine kuta trenja u stijenama ove kategorije bila bi između 15° (uz tektonsku zonu) i 35° (u kompaktnom dijelu), a kohezija između 100 i 300 kPa (Stoković, 1991).

#### Diskusija i zaključak

Istražena stijenska masa predstavljena je kristaliničnim i tektonski ispucalim dolomitom. U njoj su

Tablica 3 »RMR«-klasifikacija stijenske mase

Table 3 »RMR«-classification of the rock mass

Parametri klasifikacije Classification elements	uz tektonsku zonu close to tectonic zone		kompaktniji dio stij. mase more compact rock mass	
	svojstva properties	broj bodova rate	svojstva properties	broj bodova rate
Jednoaksijalna čvrstoća Uniaxial strenght	do 100 MPa	7	do 100 MPa	7
RQD RQD	<25%	3	25–50%	8
Razmak između diskont. Spacing	do 60 mm	5	60–200 mm	8
Stanje diskontinuiteta Statement of discont.				
- zijev aperture	0,1–1,0 mm		zatvorene closed	
- hrapavost roughness	hrapave rough		vrlo hrapave very rough	
- ispunjena filling	tvrdi, <5 mm solid, <5mm		bez ispunje no filling	
- rastrosenost zidova rate of weathering	mala weak	20	svježa stij. fresh rock	30
- podzemna voda presence of water	suho dry	15	suho dry	15
Ukupni broj bodova Cumulative rate		50		68
Korekcija za orijentaciju i pad Orientation correction				
- F 1	P/T = 0,85		P/T = 0,85	
- F 2	P = 1,00		P = 1,00	
- F 3	P/T = - 25		P/T = - 25	
- F 4	P = 0		P = 0	
Ukupna korekcija SMF=RMR-(F4+F1*F2*F3) Total correction		-21		-21
Ukupni broj bodova Total rate		29		47

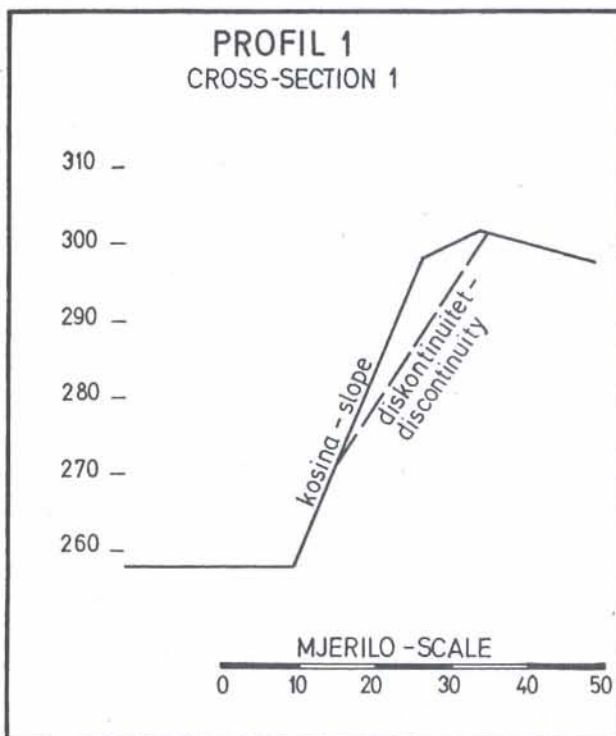
prirodnim diskontinuitetima odvojeni blokovi dužine 20 cm, tek izuzetno veći.

U južnom i jugoistočnom dijelu promatrane stijenske mase nalazi se jasno izražena tektonska zona. Osim fragmenata stijena ona lokalno sadrži i praškasti dolomit. Uz tektonsku zonu stijenska masa jače ispucala, dok dalje od tektonske zone izgleda kompaktnija.

Tektonski sklop promatrane stijenske mase određen je položajem i orijentacijom strija na kliznim diskontinuitetima te mjerenjem veličine prirodno odvojenih fragmenata. Mjerenje veličine fragmenata provedeno je u dva karakteristična pravca dostupna opažanjima. Izmjerena su 242 diskontinuiteta, od čega je s vidljivim strijama bilo 56, većina smičnog tipa sa subhorizontalnim kretanjima blokova.

S obzirom da promatrana lomljena kosina ima tri glavna odsječka nagiba 282–298°/60–70°, 247–273°/60–66° i 314–333°/60–70°, za stabilnost kosine u odnosu na ravni lom referentne pukotine su klizni diskontinuiteti smičnog tipa sa subhorizontalnim kretanjem blokova generalnog položaja 294°/58–72°. Već direktnim promatranjem postojeće kosine može se vidjeti da je ona relativno stabilna. Međutim, isto je tako vidljivo da postoje uvjetno stabilni blokovi koj se u perspektivi mogu otkinuti od stijene.

Takvi blokovi leže iznad kliznih diskontinuiteta manjeg nagiba od kosine, gdje je kut između diskontinuiteta i kosine od  $10^\circ$  do  $15^\circ$  (sl. 17). Njihova je uvjetna stabilnost najvjerojatnije posljedica utjecaja subhorizontalnih strija kod zatvorenog tipa diskontinuiteta koje povećavaju trenje. To se posebno odnosi na relativno kompaktniji dio stijenske mase. U dijelu stijenske mase uz tektonsku zonu diskontinuiteti imaju određeni zijev, zbog čega je kut trenja između stijenki diskontinuiteta manji. Posljedica toga je odvajanje blokova po kritičnoj plohi. U tektonskoj zoni zijev je još veći, između stijenskih fragmenata nalazi se dolomitni prah, a lokalno i glinovita supstanca. Kut je trenja ovdje još manji, pa se na kosini zapaža osipanje smrvljene kamene mase.



Sl. 17 Skica međusobnog odnosa kosine i kritičnih diskontinuiteta

Fig. 17 Sketch of the relationship between the slope and critical discontinuities

U odnosu na klinasti lom, kosine nagiba  $60^\circ$  su stabilne.

Rezultati su statističke obrade grafički prikazani histogramima. Izmjerene veličine razmaka između diskontinuiteta su lognormalno distribuirane. Na tim dijagramima se vrlo lako mogu očitati najveći ekstenziteti izmjerenih vrijednosti, ali se ne mogu odrediti srednje vrijednosti populacija, kao ni rasponi unutar kojih se uz određenu vjerojatnost mogu normalno očekivati analizirane vrijednosti. Prema kumulativnoj frekvenciji njihove maksimalne očekivane veličine u tektonskoj zoni su oko 11 cm, u dijelu stijenske mase uz tektonsku zonu oko 21,5 cm, i u relativno kompaktnijoj stijenskoj masi oko 22 cm.

Na temelju mjerenja veličine fragmenata moglo se procijeniti da će unutar tektonske zone brzina prostiranja seizmičkih valova biti između 400 i 1000 m/s, u dijelu stijenske mase uz tektonsku zonu između

900 i 1600 m/s, a u kompaktnijem između 1100 i 1800 m/s. U kompaktnijem dijelu stijenske mase brzina prostiranja uzdužnih valova, na osnovu statističke obrade podataka, može doseći i 2300 m/s.

Geofizičkim istraživanjima u stijenskoj su masi izdvojena tri dijela: jedan s prosječnom brzinom uzdužnih seizmičkih valova oko 1460 m/s i poprečnih oko 700 m/s, drugi s prosječnom brzinom uzdužnih seizmičkih valova oko 1750 m/s i poprečnih oko 880 m/s i treći s prosječnom brzinom uzdužnih seizmičkih valova oko 2160 m/s i poprečnih oko 1070 m/s. Geofizičkim istraživanjima nisu određene seizmičke karakteristike stijenske mase u tektonskoj zoni. Dio s prosječnom brzinom prostiranja uzdužnih seizmičkih valova od 1460 m/s odgovara stijenskoj masi uz tektonsku zonu (mjerenjem veličine fragmenata procijenjen raspon između 900 i 1600 m/s). Dio s prosječnom brzinom prostiranja uzdužnih valova od 1750 m/s odgovara kompaktnijoj stijenskoj masi (mjerenjem veličine fragmenata procijenjeno između 1100 i 1800 m/s). Treći dio s brzinom prostiranja uzdužnih valova oko 2160 m/s, odgovara kompaktnoj stijenskoj masi u kojoj se na osnovu statističke obrade mjerenih veličina fragmenata ta brzina može očekivati kao maksimalna.

Sva terenska seizmička ispitivanja na kosini daju orijentacijske vrijednosti brzina, jer se seizmički val prostire »linijom najmanjeg otpora«. Fragmenti stijenske mase izmjereni su na površini kosine dostupnoj direktnim opažanjima. Takva mjerenja oslikavaju pretežno lokalne uvjete, kod čega se procjena normalnih pojava u cijeloj stijenskoj masi osniva na primjeni metoda matematske statistike. Svojstva stijenske mase se prema tome nalaze u određenom dijapozonu vrijednosti ili pojava, unutar kojeg su i vrijednosti dobivene terenskim geofizičkim istraživanjima. Prema brzinama prostiranja seizmičkih valova bi se sasvim orijentacijski, za stijensku masu uz tektonsku zonu moglo računati s mehaničkim svojstvima prikazanim u tablici 2.

Koeficijenti oslabljenja stijenske mase ( $L_{om-t}$  a d z e, 1970), prema izrazu  $K_{osl.} = V_{p_{stijene}}/V_{p_{uzorka}}$  trebali bi u tektonskoj zoni biti između 0,10 i 0,25, u dijelu stijenske mase uz tektonsku zonu između 0,22 i 0,40, a u kompaktnijoj stijenskoj masi između 0,28 i 0,57.

Stijenska masa iz dijela uz tektonsku zonu, prema »RMR«-klasifikaciji (tablica 3) pripada slabim stijinama (IV. kategorija). Relativno kompaktnije stijene su na granici između slabih i povoljnih stijena (III. i IV. kategorija). Stijenska masa koja je kompaktnija (brzina prostiranja uzdužnih valova oko 2200 m/s, broj bodova prema RMR klasifikaciji bio bi 47 zbog očekivanog RQD između 25% i 50% i većeg razmaka između diskontinuiteta) može se smatrati povoljnom (III. kategorije). Prema tim podacima može se ocijeniti da su stijene, kod zahvata u njima, nestabilne do djelomično stabilne, sklone ravnom lomu po određenim diskontinuitetima ili klinastom lomu po većim presječnicama (R o m a n a, 1985). Procjena veličine kuta trenja u stijinama ove kategorije, bila bi između  $15^\circ$  (uz tektonsku zonu) i  $35^\circ$  (u kompaktnom dijelu), a kohezija između 100 i 300 kPa (S t o j k o v i ć, 1991).



U stijenskoj masi nalaze se diskontinuiteti kliznog tipa, koji su u odnosu na stabilnost kosine kritični i mogu biti mjesta potencijalnog ravnog loma. Ravni lom bi mogao nastati zbog vibracija uzrokovanih miniranjem prilikom eksploatacije u zaleđu ispitivane kosine. Sadašnja uvjetna stabilnost blokova iznad diskontinuiteta, koji bi mogli postati plohama potencijalnog ravnog loma, omogućena je znatnom hrpavosti njihovih stijenki. Na stijenkama kliznih smičnih pukotina vrlo su izražene subhorizontalne strije koje kod minimalnog zijeva pružaju dovoljan otpor klizanju pod utjecajem gravitacije. Mora se, međutim, pretpostaviti da će uslijed potresnih valova prvo doći do povećanja zijeva kritičnih diskontinuiteta i postepenog otvaranja. Time se bitno smanjuje trenje između stijenki, što je odlučujuće za stabilnost kosine na ravni lom. Ta će pojava biti potencirana pretpostavljenim naponskim stanjem kada orijentacija osi tenzije elipsoida deformacije pogoduje tvorbi otvorenih pukotina subparalelnih kosini.

Sadašnje stanje kosine iznad separacije u kamenolomu »Očura« treba smatrati uvjetno stabilnim s realnom mogućnošću da će potresni valovi nastali miniranjem u njenom zaleđu tijekom planirane eksploatacije uvjetovati dinamičke promjene u stijenskoj masi. To će dovesti do otvaranja sada zatvorenih diskontinuiteta i obrušavanja velikih blokova iz gornjeg dijela kosine.

Primljeno: 15. II. 1993.

Prihvaćeno: 27. V. 1993.

## LITERATURA

- Aleksovski, D., i Mirakovski, G. (1988): Mogućnost korišćenja seizmičkih brzina za određivanje parametara deformabilnosti, otpornosti i čvrstoće stenskih masa. I. jugoslavenski simpozij o tunelima, knjiga 1, 7–16, Brioni
- Bieniawski, Z., T. (1979): The Geomechanic Classification in Rock Engineering applications. Proceedings of the Fourth Congress of ISRM, volume 2, 41–48, Montreux (Suisse)
- Božić, B. and Braun, K. (1991): Tectonic fabric and blasting in dolomite rocks. International Society for Rock Mechanics, Proceedings of the 7. International Congress on Rock Mechanics, volume 2, 1031–1035, Aachen
- Hoek, E. and Bray, J. (1974): Rock Slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy, Gresham press, 309 pp, London
- Lomtadze, V. D. (1970): Inženjerska geologija – Inženjerska petrologija. »Njedra«, Lenjingradskoe otdelenie, 516 pp., Lenjingrad
- Romana, M. (1985): New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. Proc. Int. Symp. Rock Mech. Excav. Min. Civ. works, 59–68, ISRM, Mexico City
- Stojković, B. (1991): Stabilizacija podzemnih iskopa u tunelogradnji – empirijski pristup. Znanstveni projekt br. 2-1-098 – Stabilnost geotehničkih objekata, Institut građevinarstva Hrvatske, Zavod za geotehniku, Zagreb
- Šimunić, An., Pikija, M. i Hećimović, J. (1978): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, list Varaždin, Savezni geološki zavod, Beograd
- (1978): Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. International society for rock mechanics. Commission on standardization of laboratory and field tests. Pergamon press, London

## Potentially Unstable Slope above the Ore Processing Plant in the »Očura« Dolomite Quarry (Lepoglava, North Croatia)

K. Braun, Ž. Mlinar and I. Baturić

In the »Očura« dolomite quarry (Lepoglava, North Croatia) an increasing exploitation is planned in the northeastern part of the deposit. In this part of the quarry, the ore processing line is located right close to the slope which should be the part of its protection block towards the field of future dolomite exploitation. Potential vibrations which will be generated by seismic waves due to the blasting on the future opencast working front, give rise to the problem of stability of the slope and rock blocks above the ore processing plant.

Rock mass of the quarry is represented by Upper Triassic crystalline and tectonically fissured dolomites in which only in some places are found larger blocks, rarely larger than 20 cm in diameter, separated by discontinuity planes.

In southern and southeastern parts of the examined rock mass, is located a distinctly developed tectonic zone (fig. 1). Except rock fragments, the zone includes larger quantities of desintegrated rock and, in some places, a dusty dolomitic mass. The rock mass is apparently strongerly fissured along the tectonic zone and going further from it, the rock looks more compact.

Tectonics of the examined rock mass is defined by the measurements of the discontinuity orientation and its genetical classification, orientation of strias on the sliding discontinuities and by measurements of the size of rock fragments separated by natural discontinuities (the distances between the discontinuities). The measurement of the rock fragments was carried out in two characteristic directions available to observations. It was measured 242 discontinuities and 56 of them were on the sliding discontinuities with visible strias (most of them were of shear-type with subhorizontal block movements).

On the basis of all measured discontinuities presented on the contour diagram, the maximum of the larger extensity have the joint sets with statistical position 287/54° and 104/84°, as well as with position 190/82°. Maximums of other joint sets have the following positions: 47/74°, 75/26°, 107/50°, 168/62°, 210/30°, 243/86°, 272/80° and 294/72°.

Because the step-like slope, the examined tectonic block has three main sections with slope orientation 382–298/60–70°, 247–273/60–66° and 314–333/60–70°. The slope stability relative to planar failure is controlled by joints, particularly by shear discontinuities with subhorizontal movements of blocks dipping 294/58–72°. The present slope is comparatively stable as it can be seen by direct observation. However, it can be also seen that there are conditionally stable blocks which could be in the near failure break off from the rock mass. Such blocks lie above the shear-sliding discontinuities characterized by a lower inclination than the slope, were the angle between the discontinuities and the slope amounts 10–15°. Their conditional stability is probably achieved because subhorizontal strias in closed-type discontinuities make possible a comparatively large friction between the walls. This is particularly pertinent to comparatively more compact dolomite rocks in which the mentioned discontinuities are closed or with a minimal aperture. In parts of the rock mass in the vicinity of the tectonic zone, discontinuities have a certain aperture and the friction between the discontinuity walls is lower. This gives rise to the separation of rock blocks along the main discontinuities. The aperture is still larger in the tectonic zone and dusty desintegrated rock, in places with clayish admixture occurs between the rock fragments. In the tectonic zone the friction angle is still

lower and thus the scattering of small rock fragments on the slope can be seen.

The slopes with the inclination of  $65^\circ$  are stable in relation to the wedge failure as indicated by »beta«-diagrams (the intersections between all mutual discontinuities) both for the all measured discontinuities and particularly for the sliding discontinuities.

If tectonic axes for each sliding discontinuity are determined on the basis of measured strias and determined movement directions of the overlying blocks, than it can be concluded that both faults and sliding joints was originated in south-southeast oriented stress field ( $\sigma_1$ ). In fact, they originated by a rotation of regional stress into  $165\text{--}345^\circ$  direction with the tension ( $\sigma_3$ ) oriented in west-southwest direction. The intermediate ( $\sigma_2$ ) axis is subvertical. Sliding shear-joints represents the discontinuities which was originated during one of the youngest tectonic phases. It can be thus presumed that the recent ellipsoid of deformation and consequently, the tension stress have a similar orientation in the rock mass. In such a case it can be presumed that new tensional joints originate in the direction perpendicular to the west-southwest direction, particularly under relaxation conditions of the rock mass brought about by mining activity. This can be confirmed in the rock mass were open subvertical joints with such an orientation can be recognized.

In the examined rock block were measured rock fragments inside the tectonic zone, in parts of the rock mass nearby the tectonic zone and in parts of the rock mass with more compact appearance. Results of the numerical statistical data processing of the measured values for lognormal distribution are presented in Table 1.

The results of statistical data processing can be presented by histograms which distinctly indicate that the size of measured distances between the discontinuities, i. e. the size of rock fragments show lognormal distribution. These diagrams distinctly illustrate the fields with most extensive measured values. However, on the basis of such a diagrams the average values of population cannot be properly determined as well as spans within which, under certain probability, the values of analysed parameter, can normally be expected. For that reason the graphycal presentation of the distribution of the measured values was based on the diagrams of cumulative frequency plotted on the probability paper. Using this paper it is easy to confirm the character of distribution (normal or lognormal), obtain and read the average values and the interval of occurrences of normal values and also the maximal values of considered parameters which can be expected in a examined population.

On the basis of the cumulative frequency diagrams for the measurements of the size of fragments inside the tectonic zone, in the parts of rock mass nearby the tectonic zone and in more compact rock mass, the distances between discontinuities which belong to normally expected occurrences (with probability up to 84%) are as follows: up to 1,6 cm inside the tectonic zone, up to 2,35 cm in parts of the rock mass close to the tectonic zone and about 2,7 cm in the comparatively compact rock mass. Maximally expected fragment sizes are about 11 cm inside the tectonic zone, about 21,5 cm in the area close to it and about 22 cm in the comparatively more compact rock mass. The calculated values, with some exceptions are in accord with the state of the rock mass in its part available for observation.

On the basis of measured rock fragments and the diagram proposed by Božić and Braun (1991) it could be estimated that the velocity of longitudinal seismic waves will range from 400 to 1000 m/s inside the tectonic zone, from 900 to 1600 m/s in parts of rock mass nearby the tectonic zone and from 1100 to 1800 m/s in more compact parts of the rock mass. Data obtained by the same method of data processing suggest that velocity of longitudinal seismic waves can reach 2300 m/s in more compact rock mass. If a rock monolith would be investigated by the ultrasonic method, that one would expect that the velocity of longitudinal waves can reach even 4000 m/s.

Geophysical data indicate three variation groups inside the examined rock mass: with average velocity of about 1460 m/s for longitudinal seismic waves and 700 m/s for transversal, with average velocity of about 1750 m/s for longitudinal seismic waves and about 880 for transversal, and with average velocity of about 2160 m/s for longitudinal seismic waves and about 1070 m/s for transversal one. It should be mentioned that implemented geophysical exploration did not give seismic features of the rock mass inside the tectonic zone. The varieties with average velocity of

longitudinal waves correspond to the rock mass nearby the tectonic zone in which the velocity range 900 to 1600 m/s were estimated using statistical data processing of measurement of rock fragments. The variety with average velocity of longitudinal waves of 1750 m/s correspond to more compact rock mass for which the velocity range of 1100 to 1800 m/s was estimated using data processing of measurement of rock fragments. The third variety with velocity of longitudinal waves of about 2160 m/s correspond to the compact rock mass for which using data processing of the measured rock fragments the maximal velocities was estimated.

If the results of determination of the velocities of longitudinal seismic waves obtained by measurement of the size of rock fragments naturally separated by discontinuities are correlated with data of seismic prospecting than it can be concluded that the values obtained by field geophysical exploration are something higher. However, these values are within intervals which can be considered as normal for such a statistic data processing. It must be noted that all field seismic exploration carried out on slopes give in fact approximate values of the velocities because a seismic way »travels« along the line of the least resistance partly »running« through a »faster« material what is reflected on established velocities of longitudinal seismic waves. The measurement of rock fragments is carried out on the slope surface available to direct observation and the measurement reflects mainly local conditions of the rock mass. The assessment of possible normal occurrences within the entire rock mass is based on the application of mathematical methods. Consequently, qualities of the rock mass are within a certain interval of normal values or occurrences, in fact within which are also the values obtained by field geophysical exploration.

On the basis of the velocities of seismic waves for the rock mass close to tectonic zone with average values of 1460 m/s of longitudinal and 700 m/s of transversal waves and for more compact dolomites with velocities of about 1750 m/s and 2160 m/s of longitudinal waves and about 880 m/s and 1070 m/s for transversal waves, the approximative mechanic features presented in Table 2, could be calculated.

The rock slackening degree of the rock mass (L o m t a d z e, 1970) should be between 0,10 and 0,25 inside the tectonic zone, between 0,22 and 0,40 in parts of the rock mass close to tectonic zone and between 0,28 and 0,57 in the more compact rock mass.

According to the »RMR«-classification the rock mass from the area close to the tectonic zone is made up of weak rocks (IV. group) whereas comparatively more compact rocks are on the boundary between weak and fair rocks (III. and IV. group). The more compact rock mass with longitudinal seismic velocity of 2160 m/s could be treated as a fair rock (III. group), partly stable or stable on the opencast working front. The rocks are inclined to the planar failure along certain discontinuities or wedge failure on the bigger intersections (R o m a n a, 1985).

On the basis of implemented geological exploration it can be concluded that the sliding-type discontinuities are found in the rock mass and they control the slope stability and places of the potential planar failure. The planar failure could be generated due to vibration brought about by blasting during the mining activity in the back of the investigated slope. The present conditional stability of the rock blocks above the discontinuities, which could become planes of the potential planar failure, is supported by a significant roughness of their walls. On the walls of sliding shear joints are very pronounced subhorizontal strias which give sufficiently strong resistance to gravitationally induced sliding if the discontinuities are closed or with a minimal aperture. However, it must be presumed that the aperture of the critical discontinuities will be increased due to the vibration of seismic waves induced by blasting. That will cause their gradual opening and thus bring the essential friction decrease between the walls which is a resolving factor for the slope stability in relation to the planar failure. This occurrence will also be lightened by the presumed stress-strain state in the rock mass in which orientation of stress axes of the ellipsoid of deformation are suitable for the generation of open joints which are parallel to the examined slope.

The present state of the slope above the ore processing line in the »Očura« Quarry should be considered as conditionally stable. However, the real prognosis is that seismic waves, which will be generated by blasting in the back of examined slope during the future mining activity, will give rise to dynamic changes in the rock mass. This will cause the opening of now closed discontinuities and displacement of large rock blocks located above them.