

## UTJECAJ RASPUCALOSTI STIJENSKE MASE DOLOMITA NA PROJEKTIRANJE MINERSKIH RADOVA

Branko BOŽIĆ

*Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Viša geotehnička škola, Hinkovićeve 2, YU — 42000 Varaždin*

**Ključne riječi:** Kamenolom dolomita, Tektonski sklop, Brzina prostiranja longitudinalnog vala, Miniranje

**Key-words:** Dolomite quarry, Tectonic fabric, Longitudinal wave velocity, Blasting

Raspucalost stijenske mase u obliku pukotinskih sistema jedna je od važnijih geoloških karakteristika tektonskog sklopa. Ona utječe na mehaničko ponašanje stijenske mase kada je izložena djelovanju vanjskih sila.

Za eksploataciju u kamenolomima dolomita, koja se izvodi miniranjem dubokih minskih bušotina, važno je utvrditi raspucalost stijenskog masiva, jer se lomovi u stijeni odvijaju po već oslabljenim plohama.

Rock fractures in the form of fissures are one of more important geological features of a tectonic system. They have an effect on mechanical behaviour of rock masses exposed to the actions of surface forces.

For exploitation in dolomite quarries carried out by blasting of deep shot holes it is important to know the system of fissures within a rock mass for the rock breaks along already weakened planes.

### Uvod

Prelaskom na dobivanje građevinskih materijala miniranjem pomoću dubokih minskih bušotina bilo je potrebno detaljno poznavanje minersko-tehničkih karakteristika eksploziva, načina bušenja i punjenja minskih bušotina eksplozivom kao i svojstava stijenskih masa u kojima se izvodi bušenje i miniranje.

Na temelju poznavanja radne sredine u kojoj se izvodi bušenje i miniranje i njenih fizikalno-mehaničkih svojstava određuju se veličine o kojima zavisi uspjeh miniranja.

Geološki uvjeti tj. struktura, način zalijeganja, raspucalost i hidrogeološka svojstva su vrlo različita, te znatno utječu na stupanj drobljenja stijenske mase i dobivanje tražene granulacije.

Stijene u zoni radova površinske eksploatacije uvijek su više ili manje izmjenjene uslijed različitih egzogenih geoloških procesa.

Kao rezultat njihova raspadanja povećava se poroznost stijene i remeti njena monolitnost.

Kako su stijene nehomogene i anizotropne nemoguće ih je odrediti s jednim ili nekoliko podataka o njima. Sve klasifikacije stijena prema nekom od elemenata kao što su čvrstoća na pritisak, čvrstoća na smicanje, struktura, tekstura i drugi ne daju realnu sliku o stijeni u kojoj se izvode radovi. Zato i proračuni veličina miniranja po više formula ne daju uvijek jednoznačne rezultate, već se ovi međusobno razlikuju.

Naime, kod pojedinih formula nije se vodilo računa da su one nastale kao rezultat pokusnih i proizvodnih miniranja u određenim stijenama sa specifičnim fizikalno-mehaničkim svojstvima.

Stijenska masa je u prirodi ispucana (diskontinuirana), heterogena, anizotropna i nalazi se u nekom prirodnom naponskom stanju.

Kod utvrđivanja raspucalosti stijenskog masiva ulogu imaju ne samo golim okom vidljive pukotine, već i mikropukotine i mikroprslina. Za eksploataciju u kamenolomima važno je utvrditi raspucalost stijenskog masiva, jer se pri eksploataciji lomovi u stijeni najlakše nastaju po već oslabljenim plohama (K r s n i k, 1979).

Pukotine u stijenama su različitog porijekla i svojstava. Razlikujemo tektonske pukotine, pukotine lučenja, taloženja, sušenja, trošenja i.t.d. Kartiranjem pukotina na terenu i proučavanjem uzoraka u mikroskopu (utvrđivanje mikropukotina) daju se prikazi raspucalosti. Opisno to su: koeficijenti raspucalosti i pukotinska poroznost.

Karakter diskontinuiteta može katkada biti važniji u pogledu stabilnosti od orijentacije pukotina. Tu se podrazumijeva karakter stijenske pukotine, hrapavost, tip i značajke ispune.

### Određivanje koeficijenta raspucalosti dolomita

Za dolomite su značajne sekundarne karakteristike nastale tektonskim procesima, što je imalo za posljedicu razlamanje i drobljenje, te

naknadno ispunjavanje pukotina razvojem tanjih kalcitnih žilica.

Ovo ima prednost u povoljnom dobivanju sitnije granulacije primarnim miniranjem, ali isto tako negativno djeluje u pogledu sigurnosti rada, te utječe na određivanje visine i nagiba radnih etaža.

S obzirom na slabu propusnost dolomita i uglavnom površinsko otjecanje voda, kod većih naglih oborina mogu se očekivati samo vode procjeđivanja iz humusnog sloja te površinske rastrošne zone ili vode međuslojnog procjeđivanja, a čija se ukupna količina kao otežavajući faktor prilikom eksploatacije može zanemariti. Jače zone razdrobljenosti mogu u hidrogeološkom pogledu pozitivno djelovati u smislu odvodnje površinskih voda.

Za utvrđivanje raspucalosti stijenske mase u kamenolomima dolomita, u kojima se eksploatacija izvodila bušenjem dubokih minskih bušotina i masovnim miniranjem, korištena je geofizička metoda refrakcijske seizmike.

Kod ove metode registrira se vrijeme koje je potrebno da seizmički val pređe od mjesta predaje impulsa izazvanog miniranjem do geofona i to po točno određenoj trasi. Vrijeme putovanja seizmičkog vala od mjesta impulsa do geofona, koji su postavljeni po određenom rasporedu duž profila, moguće je konstruirati krivulje hodografa prostiranja elastičnih valova.

Ti hodografi su osnova za određivanje brzina elastičnih valova, izračunavanje dubina, a na taj način položaja graničnih ploha između dvije ili više različitih elastičnih sredina.

Mjerenja u kamenolomu Ivanec i Netretić (izvedena od »Geotehnike« — OOUR »Geoexpert«) i kamenolomu Dobrenica (izvedena od RGN fakulteta) izvršena su seizmičkom aparaturom ABM SC-24 švedske proizvodnje ATLAS-COPCO 12.

Seizmičkom aparaturom snimljeni su najsilniji elastični valovi na foto papiru s direktnim razvijanjem. Također na licu mjesta u kamenolomima izvršena su mjerenja brzina širenja uzdužnih valova s instrumentom marke BISON američke proizvodnje.

Aparatura je vrlo jednostavna i pokretna a radi na principu da se čekićem izazove udar po stijeni i mjeri se vrijeme potrebno da val stigne od mjesta udara do geofona.

Geofoni su postavljeni od mjesta izazivanja impulsa na udaljenosti od 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m i 2 m.

Iz poznate udaljenosti i izmjerene vremena računa se brzina širenja valova kroz stijenski masiv.

U tabeli I daje se pregled izvedenih mjerenja u kamenolomima s određenim srednjim brzinama. Brzina širenja valova karakteristična

Tabela (Table) I

Pregled izvedenih mjerenja u kamenolomima dolomita  
*Measurements carried out in dolomite quarries*

Kamenolom Quarry	Udaljenost Distance				Brzina uzdužnih valova Longitudinal wave velocity $v_r$ (m/s)
	0,5 m	1,0 m	1,5 m	2,0 m	
1. Bukovača	2,13	2,95	2,74	3,31	1376,8
2. Netretić	3,70	4,06	4,41	4,83	1320,8
3. Drvar selo	1,66	2,02	2,72	3,24	962,8
4. Ivanec (lokacija I)	1,91	2,03	2,55	2,94	1267,2
5. Ivanec (lokacija II)	1,91	2,03	2,55	2,94	1267,2
6. Dobrenica	0,80	1,29	1,91	2,85	900,0
7. Johovo	2,05	3,08	3,65	4,02	1014,0
8. Petrova gora	2,89	3,68	4,15	4,95	771,0

je za pojedine vrste stijena i u principu što je stijena čvršća i kompaktnija brzina širenja valova je veća.

Tako nekonsolidirani sedimenti i zemlja imaju brzine širenja valova 300—500 m/s, ako su zasićeni vodom od 1500 i do 2000 m/s, a lapori i pješčenjaci već prema kompaktnosti 1500—4000 m/s.

Čvrste stijene, vapnenci i dolomiti imaju brzine širenja i do 5000 m/s, ali ako su raspucali i trošni brzine su znatno manje. Novijim istraživanjima utvrđena je korelacijska veza osnovnih veličina miniranja i intenziteta drobljenja stijena s brzinom širenja uzdužnih valova kroz stijenu (Tangejev, 1978).

Na osnovu izmjerene brzine širenja uzdužnih valova ocjenjuje se uspješnost miniranja stijena. Stijene su podijeljene u ove 3 grupe:

- lako minirljive s brzinom širenja valova 900—1800 m/s
- srednje minirljive s brzinom širenja valova 1800—2500 m/s
- teško minirljive s brzinom širenja valova 2500 m/s.

Određivanjem brzine širenja valova na uzorcima i u stijeni može se u određenim granicama zaključiti, da li je stijena više ili manje tektonski poremećena ili kompaktna.

Mjerenjem brzine širenja uzdužnih valova u nekoliko kamenoloma i određivanjem koeficijenta raspucalosti stijenske mase u kojima je tijekom višegodišnje eksploatacije praćena specifična potrošnja eksploziva, učinak miniranja i normativ bušenja utvrđena je njihova zavisnost (Božić, 1984).

U svim kamenolomima dolomita radne fronte obično su tako izvedene da su okomite na pružanje slojeva koji upadaju u stijenski masiv. Takav način eksploatacije omogućuje naj-

Tabela (Table) II

Pregled specifičnih potrošnji eksploziva, učinaka miniranja, normativa bušenja u kamenolomima dolomita

*Specific use of explosive, effects of blasting and drill standards in dolomite quarries*

Kamenolom Quarry	Specifična potrošnja eksploziva Specific use of explosive kg/m <sup>3</sup>	Učinak miniranja Effect of blasting m <sup>3</sup> /m	Normativ bušenja Drill standard m/m <sup>3</sup>
1. Bukovača	0,28	7,8	0,13
2. Netretić	0,26	11,29	0,08
3. Drvar selo	0,27	11,80	0,08
4. Ivanec (lokacija I)	0,23	9,44	0,10
5. Ivanec (lokacija II)	0,23	9,44	0,10
6. Dobrenica	0,18	12,67	0,08
7. Johovo	0,17	14,1	0,07
8. Petrova gora	0,19	13,5	0,07

povoljnije efekte miniranja i stabilnosti radnih i završnih kosina u kamenolomima.

U tabeli II dat je pregled specifičnih potrošnji eksploziva, učinaka miniranja i normativa bušenja i izmjerenih brzina širenja uzdužnih valova u kamenolomima.

Na reprezentativnim uzorcima iz kamenoloma gdje je upotrebljena geofizička metoda, ultrazvukom su mjerene brzine širenja uzdužnih valova.

Mjerenja su izvedena u laboratoriju »Geotehnike« OOUR »Geoexpert« — sektor za geofiziku.

U tabeli III prikazani su rezultati mjerenja.

Odnos brzina širenja uzdužnih valova na terenu i uzorku daje koeficijent raspucalosti stijenskog masiva koji nam je važan podatak o stijeni.

Poznato je da se proces razaranja pri miniranju odvija na mjestima defekata, duž makro i mikro prslina.

Pri svakom miniranju u kamenolomima povećava se stupanj raspucalosti stijenske mase u odnosu na njezino prijašnje stanje. U većini kamenoloma izmjerene brzine širenja uzdužnih valova su dosta niske. Osim što se već radi o tektonski poremećenim dolomitima i svakim masovnim miniranjem u njima dolazi do još većeg rastresenja u zoni miniranja.

#### Zavisnost specifične potrošnje eksploziva, učinaka miniranja i normativa bušenja od koeficijenta raspucalosti stijenskog masiva

Na osnovi mjerenja brzina širenja uzdužnih valova in situ, te na uzorcima može se odrediti koeficijent raspucalosti za određenu stijenu. Koeficijent raspucalosti se računa po formuli (Ivanetić, 1978):

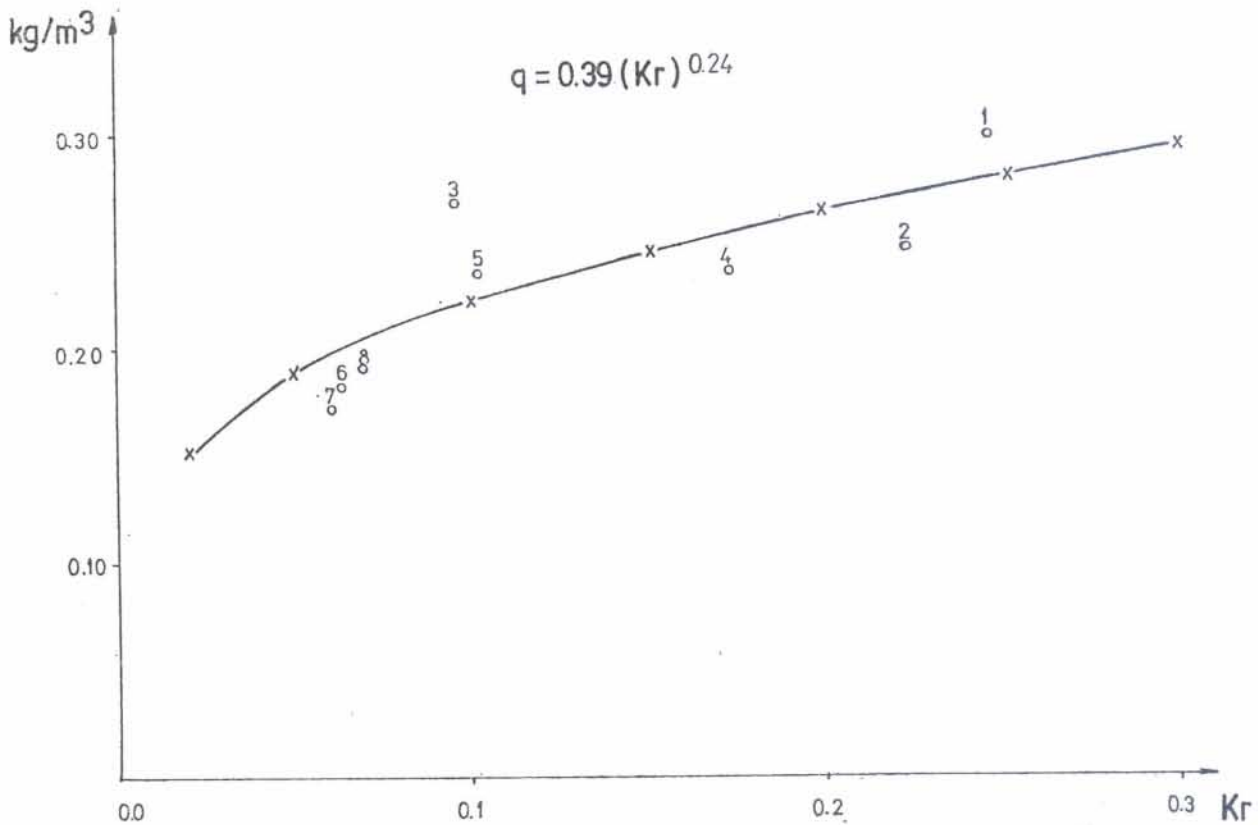
$$K_r = \frac{V^2 \text{ in situ}}{V^2 \text{ uzorka}}$$

U sedam kamenoloma određeni su koeficijenti raspucalosti stijenskog masiva, a obzirom da smo u njima pratili specifičnu potroš-

Tabela III: Prikaz određivanja brzina longitudinalnih valova na uzorcima iz kamenoloma i određivanje koeficijenta raspucalosti stijenskog masiva

Table III: Determination of longitudinal wave velocities on samples from quarries and determination of fissure coefficient of rock mass

Kamenolom Quarry	Duljina uzorka Length of sample cm	t-vrijeme Time (mikrosek.)	v-brzina Velocity m/sek	Koeficijent rasp. masiva Fissure coefficient
Bukovača 1	28	98	2860	0,24885
	25	94	2660	
Netretić 1	31	146	2120	0,22224
	24	69	3480	
Drvar selo 3	21	73	2880	0,09692
	22	67	3300	
Ivanec (lokacija I) 4	20	40	5000	0,17873
	14	32	4400	
Ivanec (lokacija II) 5	18	43	4200	0,10033
	18	47	3800	
Dobrenica 6	11	39	3580	0,0645
	11,5	33	3500	
Johovo 7	23	57	4100	0,06165
Petrova gora 8	18	65	2900	0,07068



Sl. 1 Dijagram specifične potrošnje eksploziva u zavisnosti od koeficijenta raspucanosti stijenskog masiva  
 Fig. 1 Specific use explosive plotted against the fissure coefficient of rock mass

nju eksploziva, učinke miniranja i normative bušenja, izrađeni su dijagrami njihove zavisnosti.

Koeficijent raspucalosti  $K_r$  stijenskog masiva je pokazatelj određen mjerenjima u kamenolomu i na uzorcima i daje sliku stanja stijenske mase u kojoj treba izvoditi radove.

Izrađeni dijagrami zavisnosti mogu poslužiti kao jedan od pokazatelja i s drugim podacima o stijenskom masi poslužiti za projektiranje minerskih radova u kamenolomima dolomita. Zavisnost specifične potrošnje eksploziva i koeficijenta raspucalosti stijenskog masiva daje se izraziti jednadžbom:

$$q = 0,39 (K_r)^{0,24}$$

Iz dijagrama zavisnosti (slika 1) proizlazi da u stijenama s koeficijentom raspucalosti ispod 0,06 može se očekivati specifična potrošnja eksploziva ispod  $0,20 \text{ kg/m}^3$ , a u stijenama s koeficijentom raspucalosti od 0,06—0,16 može se očekivati specifična potrošnja eksploziva od  $0,20$ — $0,25 \text{ kg/m}^3$ .

U stijenama s koeficijentom raspucalosti preko 0,16 može se očekivati specifična potrošnja eksploziva preko  $0,25 \text{ kg/m}^3$ .

Zavisnost učinaka miniranja i koeficijenta raspucalosti stijenskog masiva daje se izraziti jednadžbom:

$$U = \frac{5,7}{(K_r)^{0,272}}$$

Iz dijagrama zavisnosti (slika 2) proizlazi da se u stijenama s koeficijentom raspucalosti ispod 0,13 može očekivati učinke miniranja preko  $10 \text{ m}^3/\text{m}$ , a u stijenama s koeficijentom raspucalosti većim od 0,13 mogu se očekivati učinci miniranja ispod  $10 \text{ m}^3/\text{m}$ .

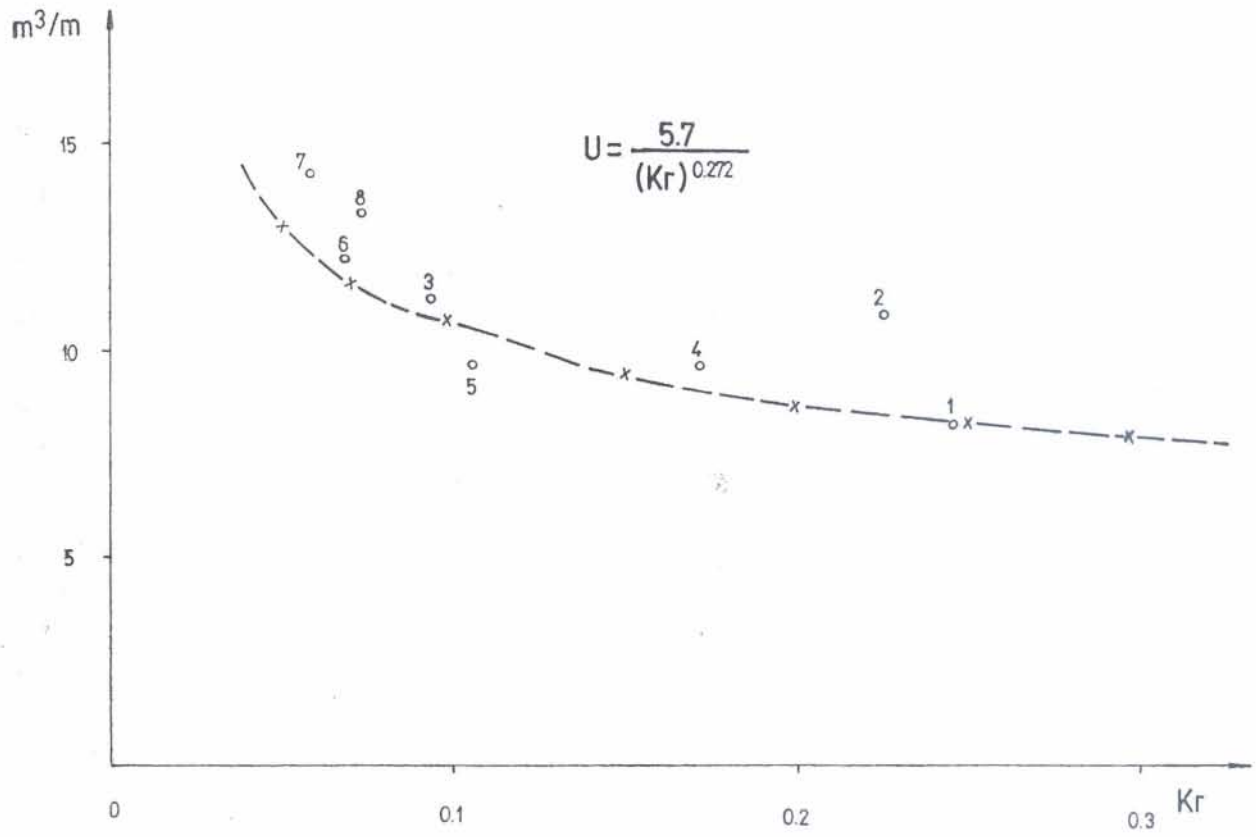
Zavisnost normativa bušenja i koeficijenta raspucalosti stijenskog masiva daje se izraziti jednadžbom:

$$B = 0,196 (K_r)^{0,374}$$

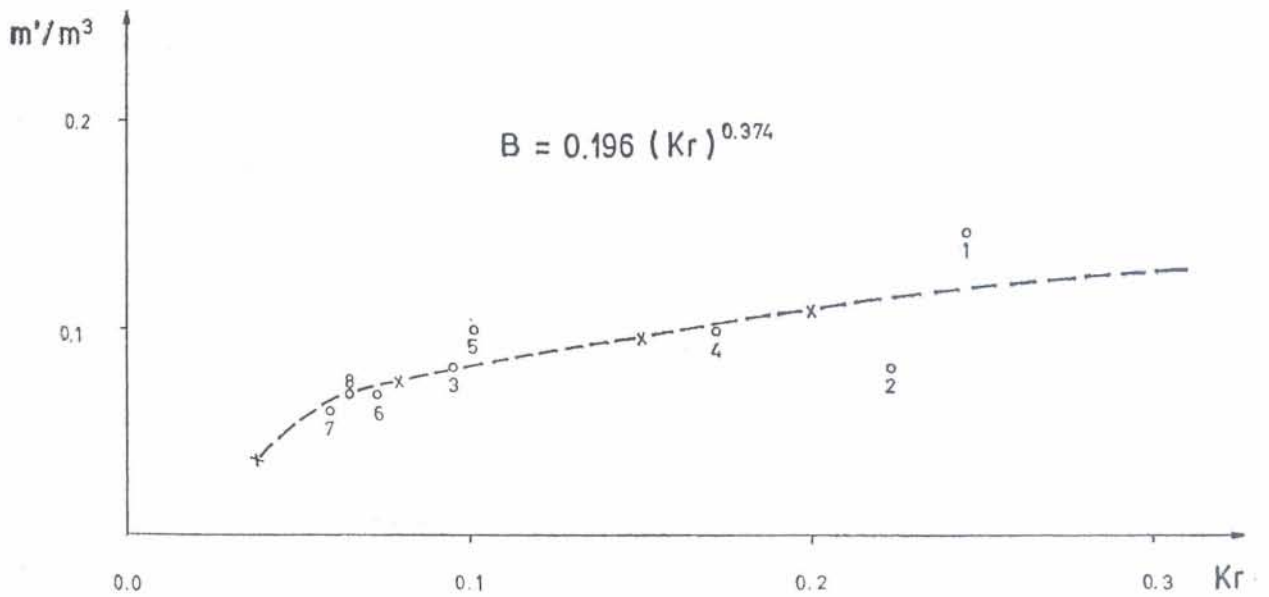
Iz dijagrama zavisnosti (slika 3) proizlazi da u stijenama s koeficijentom raspucalosti ispod 0,16 normativ bušenja je ispod  $0,1 \text{ m/m}^3$ , dok u stijenama s koeficijentom raspucalosti iznad 0,16 normativ bušenja je iznad  $0,1 \text{ m/m}^3$ .

### Zaključak

Bušaćko minerski radovi u kamenolomima dolomita uglavnom se izvode dubokim min-



Sl. 2 Dijagram učinka miniranja u zavisnosti od koeficijenta raspucanosti stijenskog masiva  
 Fig. 2 Effects of blasting plotted against the fissure coefficient of rock mass



Sl. 3 Dijagram normativa bušenja u zavisnosti od koeficijenta raspucanosti stijenskog masiva  
 Fig. 3 Drill standards plotted against the fissure coefficient of rock mass

skim bušotinama kod čega na rezultate miniranja utječu:

- Struktura, raspucalost i petrografske karakteristike stijenske mase, vrste i otvorenost diskontinuiteta, te orijentacija i gustoća diskontinuiteta.
- Pravac odloma u odnosu na prostornu orijentaciju slojeva i sustav pukotina u stijeni.
- Minersko tehničke karakteristike eksploziva koji se upotrebljava.
- Način aktiviranja serije mina.

U kamenolomima dolomita, na osnovu analize tektonskog sklopa odabire se najpovoljniji položaj fronte eksploatacije, kao i visina i nagib etaže (T o m a š i ć, 1981).

Radna fronta se uvijek izvodi tako da bude okomita na pružanje slojeva odnosno paralelna sistemu pukotina koji je okomit na regionalnu strukturu os B, ili paralelna s pružanjem slojeva koji upadaju u stijenski masiv, uz uvjet da je aksijalna ravnina strma. U tom slučaju je radna fronta paralelna i s regionalnom strukturnom osi B (B o ž i ć, B r a u n, 1988).

Primljeno: 27. XII. 1988.

Prihvaćeno: 6. III. 1989.

Pravac odloma u odnosu na pružanje i smjer pukotina utječe na oblik i veličinu odloma, te na stupanj drobljenja.

Ako je smjer odloma paralelan s pružanjem slojeva, drobljenje stijene se pogoršava i ima oblik trokuta s vrha osi minske bušotine.

U tom slučaju potrebno je smanjiti razmak minskih bušotina.

Kada je smjer odloma paralelan s pružanjem slojeva, poboljšava se drobljenje i nastaje odlom pravokutnog oblika. Razmak između minskih bušotina može se povećati.

Dosadašnje klasifikacije stijena zasnovane na fizičko-mehaničkim svojstvima nisu se pokazale osobito prikladnima za određivanje rušivosti stijena energijom eksploziva (I v a n e t i ć, 1977). Stoga se danas pridaje sve veća važnost istraživanju strukture i koeficijenta raspucalosti stijenskog masiva koji imaju odlučujući utjecaj na efekte miniranja. Strukturno-geološka istraživanja kombinirana s mjerenjem brzina uzdužnih valova i određivanjem koeficijenta raspucalosti stijenskog masiva omogućuje da minerski radovi budu optimalno projektirani.

#### LITERATURA

- B o ž i ć, B. (1984): Utvrđivanje najpovoljnijih parametara za površinsku eksploataciju dolomita i vapnenaca u izgradnji cesta. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu.
- B o ž i ć, B. i B r a u n, K. (1988): Tektonski sklop stijena i miniranje predtunelskih usjeka i zasjeka. I Jugoslavenski simpozij o tunelima, Brioni.
- I v a n e t i ć, J. (1977): Sodobne poti projektovanja in izvajanja minerskih del na površinskih kopih in kamnolomnih. *Rudarsko-metalurški zbornik* 2—3.
- I v a n e t i ć, J. (1978): Brzina širenja zvuka u stijenama i upotreba tog podatka kod projektovanja minerskih radova na površini. III Jugoslavenski simpozij o eksploataciji mineralnih sirovina na površinskim kopovima. Zbornik radova.
- K r s n i k, J. (1979): Utvrđivanje veličina za miniranje s dubokim minskim bušotinama na površinskim kopovima i kamenolomima. Doktorska disertacija. Sveučilište u Zagrebu.
- T a n g a j e v, J. A. (1978): Burimost i vzrivaemost gornih porod. »Nedra«, Moskva.
- T o m a š i ć, I. (1981): Prostorna analiza tektonskog sklopa arhitektonskograđevnog kamena. *Rudarsko metalurški zbornik*, 4, 395—405, Ljubljana.

### The Effect of Fissures in Dolomite Rock Mass on Blasting Projects

B. Božić

Drilling and blasting in dolomite quarries are usually carried out by means of deep shot holes. The results of blasting are effected by:

- structure, fissures and petrographic features of a rock mass, type, openness, orientation and density of discontinuity;
- direction of fracturing as related to the space orientation of strata and system of rock fissures;
- blasting and technical characteristics of explosive used, and
- the way in which series of mines are activated.

Present rock classification systems based on physical and mechanical rock characteristics have not proved very useful for the determination of rock breaking by explosive energy. Therefore, the structure and fissure coefficient of a rock mass which have a decisive effect on blasting are presently more and studied.

Structural and geological surveys plus the determination of the velocities longitudinal wave and fissure coefficients of rock masses lead to the blasting activities being optimally designed.