

Rudarsko-geološko-naftni zbornik	Vol: 4	str. 87-93	Zagreb, 1992.
----------------------------------	--------	------------	---------------

UDK 622.355:550.834.3:622.235

Stručni članak

ISTRAŽIVANJE STIJENSKIH MASIVA ZA PROJEKTIRANJE MINIRANJA U KAMENOLOMIMA »KRIŽ« I »BELSKI DOL« PRIMJENA PLITKE REFRAKCIJSKE SEIZMIKE

Branko BOŽIĆ i Stjepan STRELEC

Geotehnički Fakultet Varaždin, Hinkovićeve 7, 42000 Varaždin, Hrvatska

Ključne riječi: Kamenolom dolomita, Tektonski sklop, Brzina prostiranja longitudinalnih valova, Miniranje, Plitka refrakcijska seizmika.

U eksploatacijskom polju kamenoloma izvršena su terenska istraživanja kompaktnijih i poremećenijih zona dolomita, mjerenja prirodno odvojenih fragmenata u masivu i ispitivanje stijeske mase geofizičkom metodom refrakcijske seizmike. Dobiveni podaci bili su osnova za selektivno projektiranje eksploatacije i miniranja. U kamenolomu »Križ« također su određeni režimi sigurnog miniranja po najbliže stambene objekte.

Key-words: Dolomite quarry, Tectonic fabric, Longitudinal wave velocity, Blasting, Shallow seismic refraction method.

Field investigations of softer and harder dolomite zones, measurements of naturally divided fragments in rock masses and investigations of rock mass by refractional geophysical method in the blasting area of the quarry were carried out. The obtained results provided the basis for selective projects of exploitation and blasting. Safety measures regarding possible damage to adjacent housing estates during blasting were determined.

Uvod

U kamenolomu »KRIŽ« kod Klanjca eksploatira se dolomit koji se najvećim dijelom koristi pri gradnji saobraćajnice Zagreb – Maribor za dionicu oko Gubaševa. Budući se radi o najbližoj lokaciji kvalitetnog tehničkog kamena za izgradnju navedene saobraćajnice u kamenolomu su provedena detaljna ispitivanja stijenskog masiva. Na temelju utvrđenih karakteristika tektonskog sklopa projektirana je selektivna eksploatacija buldožerskim preguravanjem i miniranjem dolomita. U praksi se pokazalo da se takvom projektnom koncepcijom u vrlo kratkom vremenskom roku od par mjeseci rada može eksploatirati i više stotina tisuća m³ tehničkog kamena. Osnovni preduvjet za projektiranje i eksploataciju, a da se zadovolje i svi uvjeti sigurnosti u radu, bilo je poznavanje geoloških uvjeta ležišta, tj. tektonski sklop, strukturu, način zalijeganja, raspucalost i hidrogeološka svojstva. Za dolomite su značajne sekundarne karakteristike nastale tektonskim procesima, a što ima za posljedicu razlamanje i drobljenje, te naknadno ispunjavanje pukotima razvojem tanjih kalcitnih žilica. Ovo ima za prednost da se tektonski zdrobljene zone dolomita dobivaju buldožerskim preguravanjem, a u tvrdim zonama dolomita potrebna su prethodna miniranja. Pri tome se također dobiva sitnija granulacija dolomita primarnim miniranjem, ali se posebno treba obratiti pažnja u pogledu sigurnosti rada kod određivanja visine i nagiba radnih etaža.

U kamenolomu vapnenca »Belski Dol« kod Podruta već dugi niz godina eksploatira se kvalitetni tehnički kamen. Uglavnom se koristi kao kamen za izradu obaloutvrda te dijelom prerađen u agregate za izgradnju i održavanje saobraćajnica.

Eksploatacija se izvodi masovnim miniranjem s dva različita režima. U kamenolomu su ispitani inženjerskogeološki odnosi na temelju kojih su određene zone eksploatacije gdje se primarnim miniranjem dobiva željena granulacija.

Uvod

Terenska ispitivanja stijenske mase

Dolomit u kamenolomu »Križ« je svijetlo do tamno sive boje, trijasko starosti. U najvećem je dijelu ležišta neuslojen, tektonski jako poremećen. Tekstura je homogena, a mjestimice je ispresjecan pukotinama ispunjenim kvarcom. Loma je nepravilnog, ivice loma su oštre, a prelomna površina je fino hrapava. U površinskoj zoni dolomiti su trošnji, a u donjim dijelovima ležišta kompaktniji. Nakon terenske prospekcije dolomita izrađen je blokdiagram. Izdvojeni su dijelovi tektonski poremećenog dolomita koji se pregurava buldožerom i dijelovi kompaktnijeg dolomita kojeg prije buldožerskog preguravanja treba rastresti miniranjem.

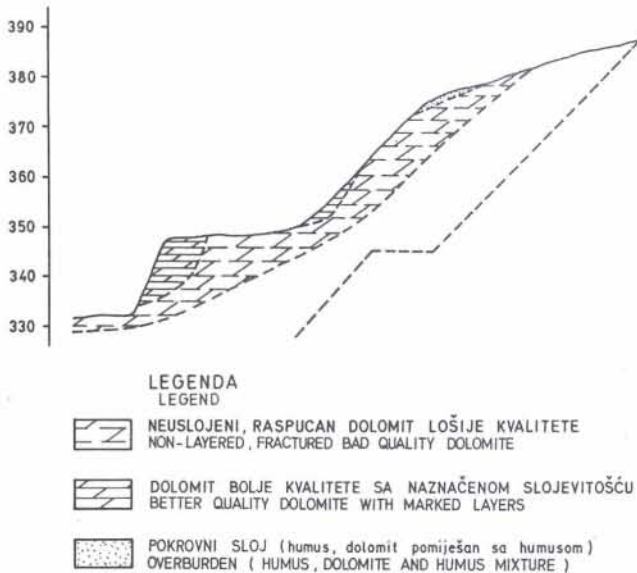
Na sl. 1 je karakterističan profil terena u kojem su prospekcijom utvrđene trošnije i kompaktnije zone dolomita.

U kamenolomu nema pojave podzemne vode. Sva se površinska voda procjeđuje u podzemlje (najbliži potok nalazi se 20 m niže od radnog platoa). Eksploatacija se odvija bez pojave vode u kamenolomu.

Ležište tehničkog kamena »Belski Dol« izgrađeno je od vapnenca i od dolomitiziranog vapnenca srednje trijasko starosti.

Slojevitost je slabo izražena, za razliku od pukotinskog sistema. Pukotine koje su otvorene ispunjene su glinovitim materijalom.

Jalovinu u kamenolomu predstavlja glinoviti humusni pokrivač i sitnozrni klastiti crvenkastosmede boje. Jalovinski materijal nalazi se na čelu radilišta pod nagibom od 65–70° i već godinama ne pokazuje znakove klizanja.



Sl. 1 Karakterističan profil s utvrđenim zonama dolomita
Fig. 1 Characteristic profile with determined dolomite zones

Hidrografska mreža nije razvijena, a kamenolom se nalazi iznad nivoa obližnjeg povremenog vodotoka.

S obzirom na stijenski masiv (karbonatne naslage) kao i vrlo izražen pukotinski sistem teren je relativno vodopropusan. Vapnenačka stijenska masa vrlo je heterogena u odnosu na gustoću diskontinuiteta.

Mjerenje i obrada prirodno odvojenih fragmenata u stijenskoj masi

Mjerenjem veličine fragmenata u stijenskoj masi koji su odvojeni prirodnim diskontinuitetima u sva tri karakteristična pravca i njihovom obradom može se prognozirati granulometrijski sastav dobivenog materijala. Statističke obrade mjerenja prirodnih diskontinuiteta odvojenih fragmenata pokazuju da su populacije lognormalno distribuirane.

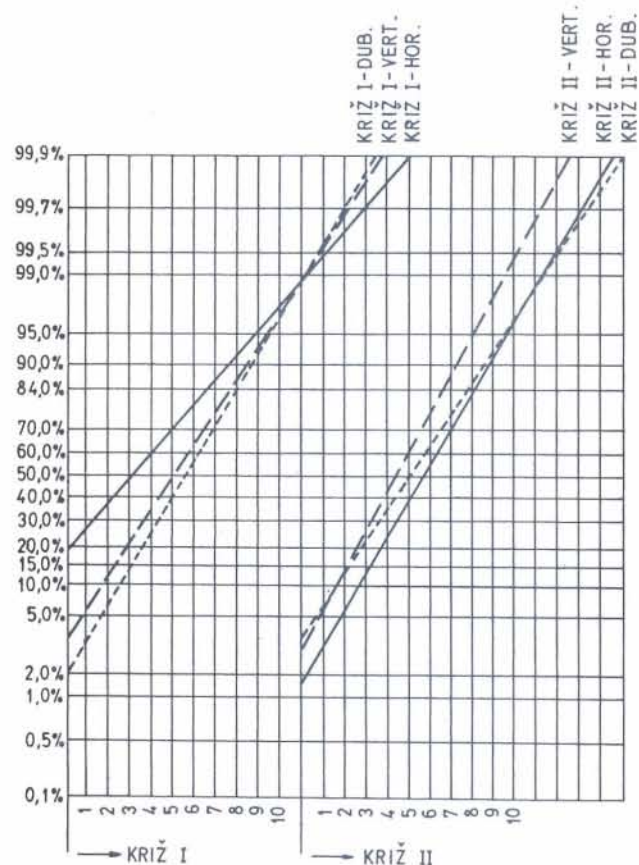
Dobiveni rezultati prognoziraju vjerojatni sastav odminiranog i preguranog dolomitnog materijala kada se kod pridobivanja materijala koriste samo postojeći prirodni diskontinuiteti.

Na sl. 2 prikazani su dijagrami mjerenja fragmenata u kompaktnoj dolomitnoj zoni (KRIŽ I) i tektonski premećenom dolomitu (KRIŽ II) u sva tri pravca.

Ispitivanje stijenske mase geofizičkom metodom refrakcijske seizmike

U kamenolomima »Križ« i »Belski Dol« primjenjena je plitka seizmička refrakcija s dvije točke paljenja, na krajevima dispoztiva. Terenska ispitivanja su izvedena s digitalnim višekanalnim seizmografom »ABEM Terallock Mark 3«.

Prvi seizmički profil na kamenolomu »Križ« postavljen je na platou etaže 2 približno paralelno s ivicom etaže, tako da se točka paljenja TP-1 nalazi u tektonskoj poremećenijoj zoni, a TP-2 u kompaktnijoj zoni. U prilogu, koji je obrađen kompjutorski, vidi se da brzina primarnih (longitudinalnih) valova raste s dubinom.



Sl. 2 Dijagram mjerenja fragmenata dolomita na lokacijama I. i II.

Fig. 2 Results of dolomite fragments measurement on sites I and II

Na dijagramu dromokrona mogle bi se izabrati četiri linije brzina, ali pošto smo zanemarili prvi plitki površinski sloj, imamo primjer troslojnog modela. Na profilu između 35. i 45. metra uočava se tektonski poremećaj koji razdvaja dvije stijenske mase. Na drugom i trećem profilu koji su bili poprečno postavljeni na prvi profil na taj način, da je drugi profil bio postavljen u terenski prospekcijom utvrđenoj tektonski poremećenoj zoni, dobili smo manje brzine elastičnih valova $V_p = 582 \text{ m/s}$, a u trećem profilu veće brzine 1067 m/s s tim da je uticajna dubina kod drugog i trećeg profila bila manja jer je dužina dispoztiva bila 25 m koliko je dopuštala širina etaže. Brzine seizmičkih valova mogu se refrakcijskom seizmikom dobiti do dubine koja se kreće od 25–30% dužine dispoztiva.

Rezultati mjerenja i obrade prikazani su u tablicama 1 i 2 i sl. 3.

U kamenolomu »Belski Dol« prvi profil postavljen je na platou etaže 3 na koti 330 gdje je stijena srednje okršena i gdje su blokovi srednje veličine. Registrirana brzina uzdužnih valova kreće se u sloju koji nije poremećen od prethodnog miniranja od 2400 do 2700 m/s . Na drugom profilu koji je također postavljen na platou treće etaže ali na drugoj lokaciji dobivene su brzine širenja uzdužnih valova od 3500 do 3600 m/s , što je bilo i za očekivati jer je stijena u ovom dijelu kompaktnija, manje okršena, blokovi su masivniji, a pukotine su rijetke. Rezultati mjerenja prikazani su na sl. 4 i 5 i tablicama 3,4,5,6,7,8. U tablicama 5 i 8 izračunate su dubine pojedinih

Tablica 1 – Ulazni podaci
Table 1 – Input data

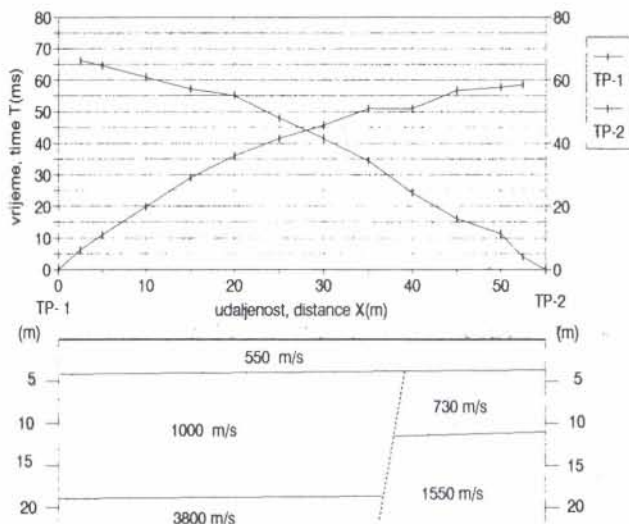
X(m)	T-a(ms)	T-b(ms)	T-b(ms)
0,00	0,00	0,00	
2,50	6,25	4,00	66,00
5,00	11,00	11,50	64,50
10,00	19,75	16,25	61,00
15,00	29,00	24,25	57,00
20,00	35,75	34,25	55,00
25,00	41,50	41,50	48,00
30,00	45,50	48,00	41,50
35,00	51,00	55,00	34,25
40,00	51,00	57,00	24,25
45,00	56,50	61,00	16,25
50,00	57,75	64,50	11,50
52,50	58,50	66,00	4,00
55,00			0,00

Profil No.: 01

Vrijeme snimanja (time record): 500 ms

Tablica 2 – Brzine slojeva
Table 2 – Layer velocity

Sloj	v-A(m/s)	v-B(m/s)	Inter. A	Inter. B
1	506	591	0,0000	0,0000
2	1005	727	0,0161	0,0069
3	3783	1527	0,0446	0,0316



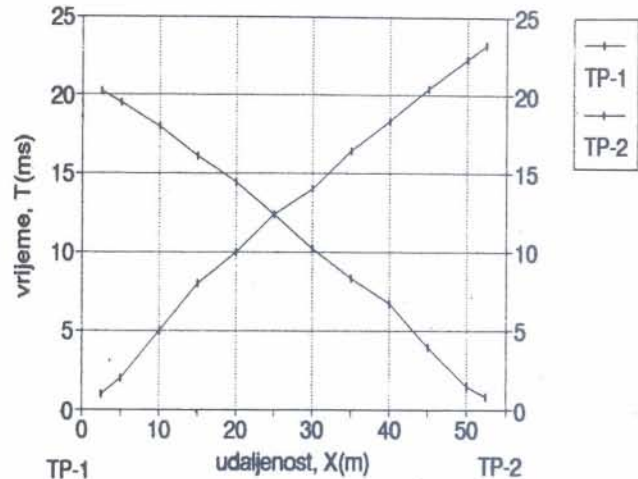
Sl. 3 Dijagram brzina i seizmički profil

Fig. 3 Time-distance graph and seismic profile

slojeva i njihove srednje pripadne brzine pomoću programa koji je raden u Turbo basicu na PC – računalu.

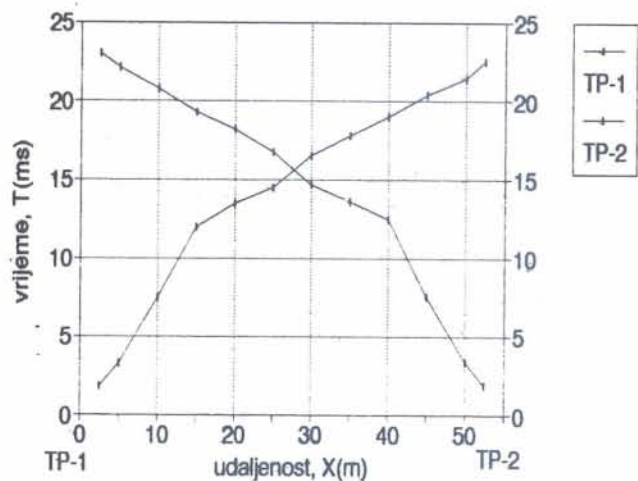
Tehnologija pridobivanja dolomita u kamenolomu »Križ«

Tektonski poremećeni dio dolomitne stijenske mase koji se nalazi u istočnom dijelu kamenoloma otkopava se primjenom ripovanja i zgrtanja buldožerom. Tvrdne zone kvalitetnijeg dolomita koji se nalazi u južnom dijelu kamenoloma, pridobivaju se



Sl. 4 Dijagram brzine

Fig. 4 Time-distance graph



Sl. 5 Dijagram brzine

Fig. 5 Time-distance graph

Tablica 3 – Ulazni podaci
Table 3 – Input data

X(m)	T-a(ms)	T-b(ms)	T-b(ms)
2,50	1,00	0,85	20,25
5,00	2,00	1,50	19,50
10,00	5,00	3,90	18,00
15,00	8,00	6,70	16,10
20,00	10,00	8,30	14,40
25,00	12,40	10,20	12,00
30,00	14,00	12,40	10,20
35,00	16,40	14,40	8,30
40,00	18,40	16,10	6,70
45,00	20,40	18,00	3,90
50,00	22,30	19,50	1,50
52,50	23,20	20,25	0,85

Lokacija: Kamenolom Belski Dol

Profil No.: 01

Vrijeme snimanja (time record): 100 ms

Tablica 4 – Brzine slojeva
Table 4 – Layer velocity

Sloj	v-A(m/s)	v-B(m/s)	Inter. A	Inter. B
1	1952	2388	0,0000	0,0000
2	2454	2704	0,0020	0,0011
3	–	–	–	–

Tablica 5 – Listing izračunatih vrijednosti
Table 5 – List of calculated values

Sloj	Brzina (m/s)	Debljina A-(m)	Debljina B-(m)	Nagib (°)	Dub.-A (m)	Dub.-B (m)
1	2170,00	4,08	2,24			
2	2565,37			-4,40	4,08	2,24
Refrakcijska sonda RF-1			Dužina dispozitiva 55			

Tablica 6 – Ulazni podaci
Table 6 – Input data

X(m)	T-a(ms)	T-b(ms)	T-b(ms)
2,50	1,80	1,90	23,00
5,00	3,30	3,40	22,10
10,00	7,50	7,55	20,80
15,00	12,00	12,50	19,30
20,00	13,50	13,60	18,20
25,00	14,50	14,65	16,80
30,00	16,50	16,80	14,65
35,00	17,80	18,20	13,60
40,00	19,00	19,30	12,50
45,00	20,40	20,80	7,55
50,00	21,50	22,10	3,40
52,50	22,50	23,00	1,90

Lokacija: Kamenolom Belski Dol
Profil No.: 02
Vrijeme snimanja (time record): 100 ms

Tablica 7 – Brzine slojeva
Table 7 – Layer velocity

Sloj	v-A(m/s)	v-B(m/s)	Inter. A	Inter. B
1	1290	1251	0,0000	0,0000
2	3613	3525	0,0079	0,0080
3	–	–	–	–

Tablica 8 – Listing izračunatih vrijednosti
Table 8 – List of calculated values

Sloj	Brzina (m/s)	Debljina A-(m)	Debljina B-(m)	Nagib (°)	Dub.-A (m)	Dub.-B (m)
1	1270,50	5,37	5,44			
2	3568,42			0,27	5,37	5,44
Refrakcijska sonda RF-2			Dužina dispozitiva 55			

miniranjem. Na sl. 6 vidi se pregurani materijal u istočnom dijelu kamenoloma i dio kamenoloma na zapadnoj strani gdje se dolomit eksploatira miniranjem.

Dolomit se buši i minira na etažama visine 20,10,15 i 5 m ovisno o udaljenosti etaža od najbližih stam-



Sl. 6 Kamenolom »Križ«

Fig. 6 Quarry »Križ«

benih objekata. Minske bušotine promjera 85 mm buše se sljedećim rasporedom: izbojnica $w = 3,5$ m, a razmak bušotina $a = 4,0$ m. Radi smanjenja intenziteta potresa koji nastaje miniranjem primjenjuje se milisekundno otpucavanje. U svakom vremenskom intervalu detonira jedna minska bušotina sa maksimalno dopuštenom količinom eksploziva koja ovisi o udaljenosti od najbližih stambenih objekata u pogledu seizmičkih efekata.

Režimi miniranja u kamenolomu »Belski Dol«

Da bi se dobile optimalne veličine miniranja u kamenolomu »Belski Dol« za dobivanje blokova i sitnija granulacija koriste se dva različita režima miniranja.

U zonama kamenoloma gdje se želi dobiti krupnija granulacija ($V_p = 3658$ m/s) režim miniranja je $w = 3$ m i $a = 2,5$ m, a u zoni gdje se želi dobiti sitnija granulacija ($V_p = 2565$ m/s) $w = 3,5$ m i $a = 5,0$ m

Granulacija odminirane mase ovisi o koeficijentu gustoće minske bušotine, a on se određuje:

$$m = a/w$$

gdje su:

a – razmak minske bušotine

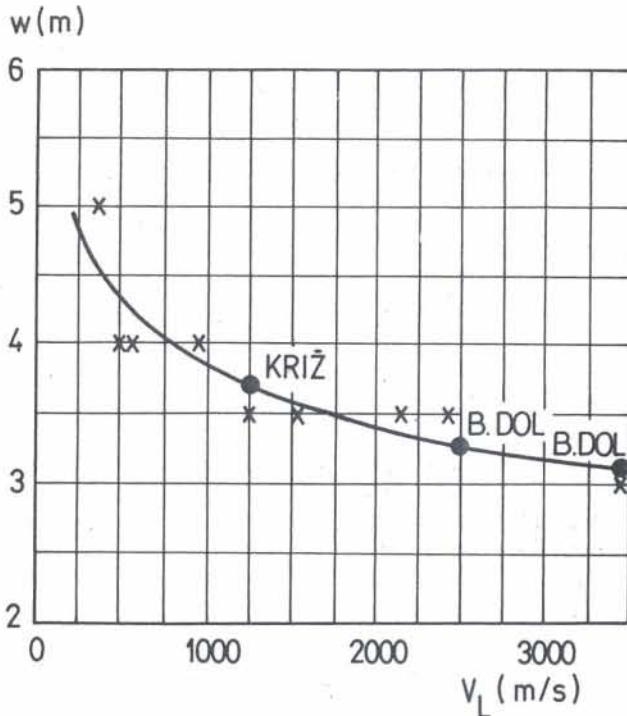
w – izbojnica

Vrijednosti za m kreću se u granicama 0,8–1,4. Pri nižim vrijednostima koeficijenta m dobiva se krupnija granulacija, dok se pri višim dobiva sitnija granulacija. U zonama kamenoloma gdje se želi dobiti krupnija granulacija određen je odnos razmaka između minske bušotine i linije najmanjeg otpora $m = 0,8$, a u zonama gdje se želi dobiti sitnija granulacija treba promijeniti koeficijent gustoće minske bušotine na $m = 1,4$.

Veličina izbojnice određena je računski i potvrđena dijagramom ovisnosti veličine izbojnice od brzine uzdužnih seizmičkih valova (sl. 7). Istim postupkom je određena i prekontrolirana izbojnica za kamenolom »Križ« (Božić, Braun, 1991)

Određivanje sigurnosnog režima miniranja u kamenolomu »Križ«

Kompaktnije zone dolomita miniraju se dubokim manskim bušotinama.

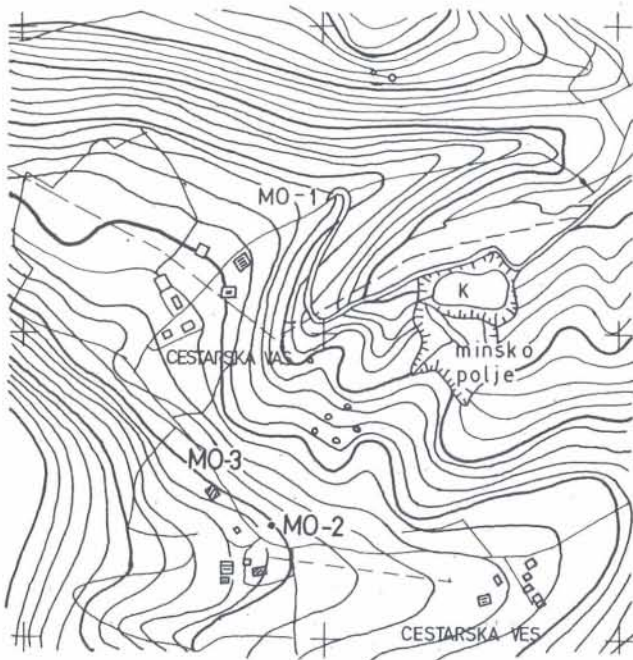


Sl. 7 Dijagram ovisnosti veličine izbojnice o brzini prostiranja uzdužnih seizmičkih valova

Fig. 7 Diagramme of the break line versus longitudinal seismic waves velocity

Kod toga se najveći dio energije eksplozivnog punjenja potroši na razaranje i drobljenje stijena, a manji dio pretvara se u kinetičku energiju seizmičkih valova.

Pri njihovom prolasku nastaje oscilacija tla odnosno umjetni potresi. Da bi se utvrdio intenzitet potresa i njegovo djelovanje na stambene zgrade u selu Cesarska Vas izvršena su probna miniranja s



Sl. 8 Položaj minskog polja i mjesta mjerenja brzina oscilacija tla

Fig. 8 Sites of blasting area and measurements of soil oscillations speeds

manjom količinom eksploziva i mjerenje brzina oscilacija tla kod najbližih zgrada (sl. 8).

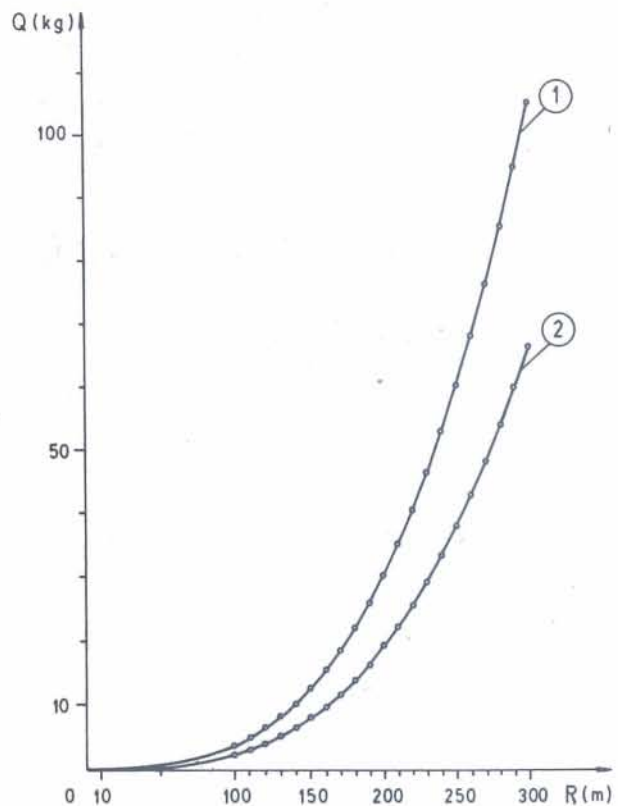
Prije ovog probnog miniranja izrađena je fotodokumentacija zatečenog stanja stambenih objekata. Mjesta opažanja (MO) bila su na slijedećim udaljenostima od minskog polja (R) i u njima su izmjereni slijedeći intenziteti potresa:

Mjesto opažanja	Radius (m)	Intenzitet
MO ₁	R ₁ = 168	2 stupnja
MO ₂	R ₂ = 220	1 stupnja
MO ₃	R ₃ = 243	1 stupnja

Na temelju izračunatih dopuštenih količina eksplozivnog punjenja za različite udaljenosti stambenih zgrada od mjesta miniranja konstruiran je dijagram.

Zbog različitih koeficijenta prigušenja seizmičkih valova u smjeru MO₁ i smjeru MO₂, MO₃ dobivene su različite krivulje za određivanje dozvoljenih količina eksplozivnog punjenja i to krivulja 1 u smjeru MO₁ i krivulja 2 u smjeru MO₂ (sl.9).

Razlika nastaje jer su oscilacije najintenzivnije u slabijim stijenama, dok u čvršćim, kompaktnijim, homogenijim stijenama intenzitet seizmičkih oscilacija je manji.



LEGENDA
LEGEND

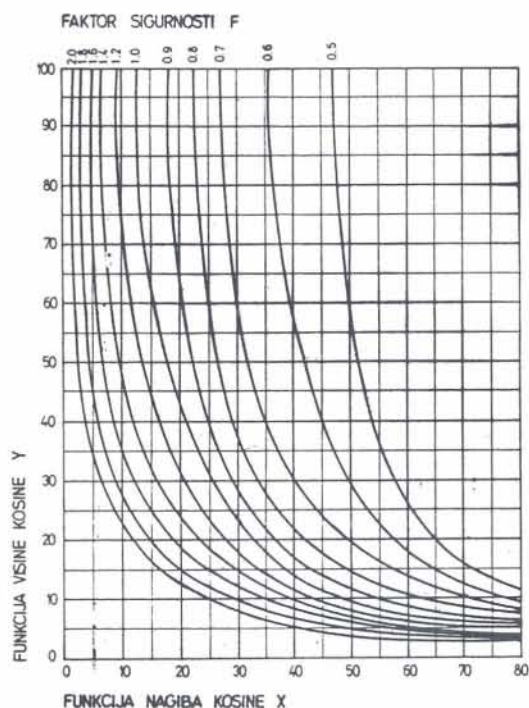
- 1 KRIVULJA Q:R DIJAGRAMA U SMJERU MO-1
CURVE Q:R DIAGRAM IN MO-1 DIRECTION
- 2 KRIVULJA Q:R DIJAGRAMA U SMJERU MO-2 I MO-3
CURVE Q:R DIAGRAM IN MO 2 AND MO 3 DIRECTIONS

Sl. 9 Dijagram za određivanje dopuštenih količina eksploziva u odnosu na udaljenost objekata

Fig. 9 Diagram for determination of allowed quantities of explosive in relation to distance of buildings

Stabilnost radnih i završnih kosina u kamenolomu »Belski Dol«

Nagib radnih i završnih kosina u kamenolomu »Belski Dol« izračunat je programom STAB za ravninski proračun stabilnosti kosina koji je izrađen na Geotehničkom fakultetu u Varaždinu. Program daje faktore sigurnosti (F_s) za različite kuteve diskontinuiteta i kuteva kosina i za njihove kombinacije izračunava funkciju nagiba kosine X i funkciju visine kosine Y iz kojih se upotrebom Hoekovog dijagrama za projektiranje kosina s ravnim lomom također mogu očitati faktori sigurnosti (sl.10).



X	A DRENIRANA KOSINA	C NORMALNO SNIŽENJE RPV	E HORIZONTALNI TOK VODE
	$X = 2\sqrt{(1-A)A - \phi}$	$X = 2\sqrt{(1-A)\left[\beta - \beta(1-\alpha)\left(\frac{H_w}{H}\right)^2\right]}$	$X = 2\sqrt{(1-A)\left[A - \beta(1-0.5)\left(\frac{H_w}{H}\right)^2\right]}$
Y	B BEZ PUKOTINE	D SUHA PUKOTINA	F PUKOTINA ISPULENA VODOM
	$Y = \frac{c}{Hk}$	$Y = \left[1 - \frac{Z_0}{H}\right] \frac{c}{c}$	$Y = \left[1 - \frac{Z_0}{H}\right] \frac{c}{c}$

Sl. 10 Hoekov dijagram za ravne klizne plohe
Fig. 10 Hoek's graph for plane slide

Ako su parametri čvrstoće maleni što se prvenstveno odnosi na koheziju (glinena ispunja npr.) dobiju se male vrijednosti faktora sigurnosti. U slučaju da su faktori sigurnosti nešto veći od jedan, a manji od dva program STAB nam omogućuje grafički prikaz odnosa nagiba kosine i nagiba diskontinuiteta za $F_s = 1,0, 1,1, 1,3, 1,5$, što nije bilo potrebno u ovom slučaju.

Potrebni parametri kohezija i kut unutrašnjeg trenja određuju se laboratorijski. Međutim, za potrebe planiranja i projektiranja mogu se procijeniti i na

osnovu seizmičkih V_p i V_s brzina, što je urađeno u ovom slučaju. Za trošnju zonu kamenoloma Belski Dol srednja brzina $V_p = 2565$ m/s, a $V_s = 1480$ m/s. Na temelju gustoće stijene $2,55$ g/cm³ dobijen je dinamički modul elastičnosti Edin pomoću kojeg su izračunate vrijednosti za koheziju i kut unutrašnjeg trenja (Aleksovski, 1986). Dobivena vrijednost za koheziju iznosi 192 kPa, a kut unutrašnjeg trenja 40°.

Približne vrijednosti za koheziju i kut unutrašnjeg trenja se mogu dobiti iz kategorizacija karbonatnih stijenskih masa (Novosel i dr., 1980) gdje bi se kamenolom u Belskom Dolu mogao kategorizirati između III i IV kategorije (slabo do srednje okršena stijena).

Proračun stabilnosti izveden je za radnu i završnu kosinu kopa ($H = 87$ m) i za radnu i završnu kosinu etaže ($H = 28$ m). Proračun je rađen za dreniranu kosinu bez vlačne pukotine.

Listing izračunatih vrijednosti prikazan je u tablicama 9 i 10.

Tablica 9 – Rezultati faktora sigurnosti za radnu i završnu kosinu iskopa

Table 9 – Safety factors for work and end pit slope

i	Kut nagiba klizne plohe							
	42		44		46		48	
	X	Fs	X	Fs	X	Fs	X	Fs
50	8,0	2,38	9,8	2,73	9,8	3,51	8,0	5,97
52	8,9	2,13	11,3	2,31	12,0	2,66	11,3	3,44
54	9,8	1,96	12,6	2,05	13,9	2,24	13,9	2,59
56	10,6	1,84	13,9	1,88	15,5	1,98	16,0	2,17

Funkcija visine kosine $Y = 11,3$
i – kut nagiba kosine (stupnjevi)
X – funkcija kuta kosine
Fs – izračunati faktor sigurnosti

Tablica 10 – Rezultati faktora sigurnosti za radnu i završnu kosinu etaže

Table 10 – Safety factors for work and end slope

i	Kut nagiba klizne plohe							
	44		48		52		56	
	X	Fs	X	Fs	X	Fs	X	Fs
60	16,0	3,35	19,6	3,83	19,6	4,99	16,0	8,78
64	17,9	2,94	22,6	3,16	24,0	3,67	22,6	4,84
68	19,6	2,67	25,3	2,76	27,7	3,00	27,7	3,52
72	21,2	2,47	27,7	2,48	31,0	2,59	32,0	2,85

Funkcija visine kosine $Y = 3,6$

Zaključak

Kako bi se u kratkom vremenskom periodu omogućila vrlo intenzivna eksploatacija dolomita za potrebe izgradnje saobraćajnice Zagreb – Maribor u kamenolomu »Križ« izvršena su detaljna ispitivanja stijenske mase.

U tu svrhu izvedena su detaljna inženjerskogeološka terenska ispitivanja kao i mjerenje fragmenata u dvije zone dolomitne mase.

Geofizičkom metodom refrakcijske seizmike određen je tektonski poremećaj koji razdvaja dvije stijenske zone u kojima su utvrđene brzine širenja uzdužnih valova koje se znatno razlikuju, u tektonski

poremećenim zonama brzina V_p valova se kreće oko 1500 m/s, dok u tvrdim kompaktnijim zonama doseže vrijednosti oko 3800 m/s.

Utvrđivanjem opisanih zona moglo se je projektirati selektivno otkopavanje. Tektonski poremećenije zone dolomita eksploatiraju se buldožerskim preguravanjem dok se kompaktnije zone dolomita prethodno moraju minirati.

U kamenolomu »Belski Dol« također je izvedeno istom geofizičkom metodom istraživanje zona kompaktnijeg i tektonski poremećenijeg vapnenca i dolomitiziranog vapnenca u cilju određivanja režima miniranja obzirom na namjenu odminirane mase.

Podaci o stijenskom masivu dobiveni geofizičkom metodom refrakcijske seizmike korišteni su za proračun stabilnosti radnih etaža te stabilnosti radnih i završnih kosina u ovome kamenolomu.

U blizini kamenoloma »Križ« nalaze se stambeni objekti pa su prije početka masovnih miniranja izvedena probna miniranja s manjom količinom eksploziva pri čemu su mjereni intenziteti potresa. Na

temelju izmjerenih brzina oscilacija tla određene su optimalne količine eksploziva s kojima se smije izvoditi miniranje bez štetnih posljedica po najbliže objekte. Svi objekti su prije probnog miniranja snimljeni i sačinjena je fotodokumentacija njihovog stanja prije izvođenja minerskih radova u kamenolomu.

Primljeno: 28. I. 1992.

Prihvaćeno: 9. VI. 1992.

LITERATURA

- Aleksovski, D. (1986): Identifikacija geotehničkih sredina na osnovu korelacije između seizmičkih brzina i fizikomehaničkih parametara materijala tla, IZIS, 83-240 Skopje.
- Božić, B., Braun, K. (1991): Tectonic fabric and blasting in dolomite rocks. 7. International Congress on Rock Mechanics. Proceedings, Volume 2, 1031-1035, Aachen.
- Novosel, T., Tušar, Z., Mulabdić, M., Garašić, M. i Koražija, S. (1980): Ocjena stabilnosti kosina u zasjecima (usjecima) građenih od karbonatnih stijena. Jugoslavensko društvo za mehaniku stijena i podzemne radove, 5 simpozij, knjiga 1, 185-193, Split.

Investigation on Rocks for Projects at Blasting in »Križ« and »Belski Dol« Quarries Application of the Shallow Seismic Refraction Method

B. Božić and S. Strelec

The method of seismic refraction was used to determine the overall homogeneity or anisotropy of a rock, namely spatial distribution of compact and fractured zones within rocks. For each variant obtained from the velocities of longitudinal seismic waves it was then possible to find out parameters for blast designs. The ratios between longitudinal wave velocities and volume weight of the rock, its compression and extension strength and elasticity module are used.

For constructional reasons regarding the Zagreb-Maribor motorway i.e. its part at Gubaševu the nearest dolomite quarry, Križ at Klanjec, was reactivated. Large quantities of dolomite are needed in a very short time so that the rock masses were investigated in details. Harder and softer dolomite predominates in its western part; the eastern part is full of more compact dolomite, which was also proven by refractive seismics.

The profile along the sediment length in the east-west direction clearly shows contacts of softer and harder dolomite zones. This was determined by field prospecting and photogeological methods.

In each of these two zones the velocities of longitudinal waves were determined. They are 582 m/s in softer and 1067 m/s in harder dolomite rocks. The hardness increased with zone depths; such hard dolomites must be taken out by blasting techniques.

The measurements of sizes of fragments, separated by natural discontinuities in all three characteristic directions, in both dolomite zones have provided the particle size distribution curve of the rock mass. The investigation results have been used for projects of selective unearthing in the quarry. Softer dolomites are exploited by bulldozer and harder rocks must be blasted first. Since houses are close to the quarry, test blasting with small quantities of explosives have been used for measuring of seismic effects on the closest buildings. Based on the measured earthquake intensities optimal quantities of explosives are determined for blasting purposes causing no damage to those buildings. Photographs of the buildings before blasting were taken prior to the beginning of test blasts.