

Rudarsko-geološko-naftni zbornik	Vol. 17	str. 61-72	Zagreb, 2005.
----------------------------------	---------	------------	---------------

UDK 622.235.52:550.34

*Originalni znanstveni rad
Original scientific paper*

Jezik/Language: *Hrvatski/Croatian*

DOPUŠTENE KOLIČINE EKSPLOZIVNOG PUNJENJA OVISNO O RELATIVNOJ SEIZMIČKOJ OSJETLJIVOSTI STIJENSKIH MASA

JOSIP MESEC

Geotehnički fakultet Varaždin, Hallerova 7, 42 000 Varaždin, Hrvatska

Ključne riječi: miniranje, oscilacije uzrokovane miniranjem, dopuštena količina eksplozivnog punjenja

Key words: blasting, blast vibrations, allowed quantity of explosive charge

Sažetak

U posljednjih desetak i više godina u Hrvatskoj je sazrijela svijest o potrebi seizmičkih opažanja prilikom miniranja kada se ona izvode u blizini ugroženih objekata. Dozvoljene brzine oscilacija čestica tla ili stijenskih masa za određene objekte nisu normirane hrvatskim propisima, te se u praksi koriste međunarodne norme DIN, USBM i drugi.

U ovom radu analizirana su istraživanja koja su provedena prilikom pokusnih, specijalnih, plitkih ili masovnih miniranja, u sedimentnim stijenskim naslagama, uglavnom vapnencima i dolomitima, a pri kojima su utvrđene ovisnosti brzine oscilacija o reduciranim količinama eksploziva. Iz tih ovisnosti je primjenom standarda DIN 4150 i korištenjem rezultata inženjersko-geoloških istraživanja određena dozvoljena količina eksploziva po stupnju paljenja za zadanu udaljenost ugroženog objekta od minskog polja i pripadajuću relativnu seizmičku osjetljivost predmetne stijene.

Korištenje rezultata ovog rada ima naročiti značaj pri projektiranju površinskih kopova na kojima se stijenska masa iz litice dobiva miniranjem, te pri projektiranju osnovnih veličina miniranja za specijalna, odnosno osjetljiva miniranja u urbanim sredinama.

Uvod

Brzina oscilacije čestica tla ili stijena izazvanih detonacijama eksploziva u minskoj bušotini ključni je kriterij temeljem kojeg se ocjenjuje ugroženost pojedinog objekta od seizmičkog djelovanja. U znanstvenim i stručnim krugovima koji se bave ovim područjem općeprihvaćeno je da se brzina oscilacija tla izazvanih miniranjem dovodi u vezu sa količinom eksplozivnog punjenja koji detonira u pojedinom intervalu paljenja, udaljenošću mjesta opažanja od minskog polja, te značajkama osnovnog tektonskog sklopa, ili općenito inženjersko-geološkim i fizičko-mehaničkim karakteristikama stijenskih masa.

Abstract

During the last decade and more, seismic observations during blasting were carried out, particularly when blasting, near sensitive, i.e. endangered structures have been executed. Permitted oscillation speeds of ground and rock mass particles for certain structures are not standardized by Croatian regulations; therefore, international standards DIN, USBM, etc., are used in practice.

This paper analyses research conducted during testing, special, shallow or massive blasting in sediment rock deposits, mainly limestone and dolomite, whenever such blasting featured the determination of oscillation speed dependence on reduced explosive quantities. Such dependences, along with the use of DIN 4150 standard and results of engineering and geological research, led to determined allowed explosive quantity according to ignition degree for any given distance of endangered object from the blast field and to corresponding relative seismic sensitivity of rock in question. Also determined is the dependence of relative damping of seismic oscillations on the geological strength index.

The results found in this paper have a particular bearing when used with planning open pits where the cliff rock mass is gained by blasting, and with planning basic blast parameters for special, i.e. sensitive blasting in urban areas.

Posljednjih godina u Hrvatskoj sazrijeva svijest o potrebi detaljnijeg proučavanja seizmičkih efekata prilikom miniranja kada se ovi radovi izvode u blizini ugroženih objekata. Na drugoj strani, dozvoljene brzine oscilacija stijenske mase za određene objekte nisu normirane našim propisima, te se u praksi koriste međunarodne norme DIN, USBM i drugi.

U ovom radu analizirana su istraživanja koja su provedena prilikom specijalnih, plitkih ili masovnih miniranja, u sedimentnim stijenskim naslagama, uglavnom vapnencima i dolomitima. Pri tomu su korišteni i rezultati laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih osobina stijena, snimanja osnovnog tektonskog sklopa i određivanja karakteristika stijenskih masa, metodama

koje su standardizirane postupcima kod modeliranja u mehanici stijena. Na površinskom kopu tehničko-građevnog kamena mramoriziranog vapnenca Vukov Dol koji je odabran kao fizički model, provedena mjerenja osnovnog tektonskog sklopa rezultirala su određivanjem „geološkog indeksa čvrstoće, GSI“, u dva različita smjera. Osim toga, pokusnim miniranjima i seizmičkim mjerenjima utvrđena je ovisnost brzine oscilacija o reduciranoj količini eksploziva. Iz te ovisnosti je korištenjem standarda DIN 4150, određena dozvoljena količina eksploziva po stupnju paljenja na minskom polju.

Uspostavljena korelacijska veza na fizičkom modelu, predstavljala je podlogu za verifikaciju dobivenih rezultata na ostalim lokalitetima, pri čemu je najprije utvrđena relativna seizmička osjetljivost (RSO) pojedinih istraživanih stijenskih masa.

Prezentiranim nomogramima i dijagramima u radu, moguće je na jednostavan način preliminarno utvrditi maksimalno dozvoljenu količinu eksploziva (Q) po stupnju paljenja na predmetnom minskom polju (MP). Ova činjenica ima naročiti značaj pri projektiranju površinskih kopova na kojima se stijenska masa iz litice dobiva miniranjem, te pri projektiranju osnovnih veličina miniranja za specijalna, odnosno osjetljiva miniranja u urbanim sredinama.

Fizički model

Odabrani fizički model predstavljen je stijenskim masivom površinskog kopa Vukov Dol, koji se nalazi na istočnim obroncima zagrebačke gore – Medvednice, cca 500 m s lijeve strane magistralne ceste Kašina – Marija Bistrica.

Eksploatacija tehničko-građevnog kamena, mramoriziranog vapnenca iz ležišta započela je 1963. godine.

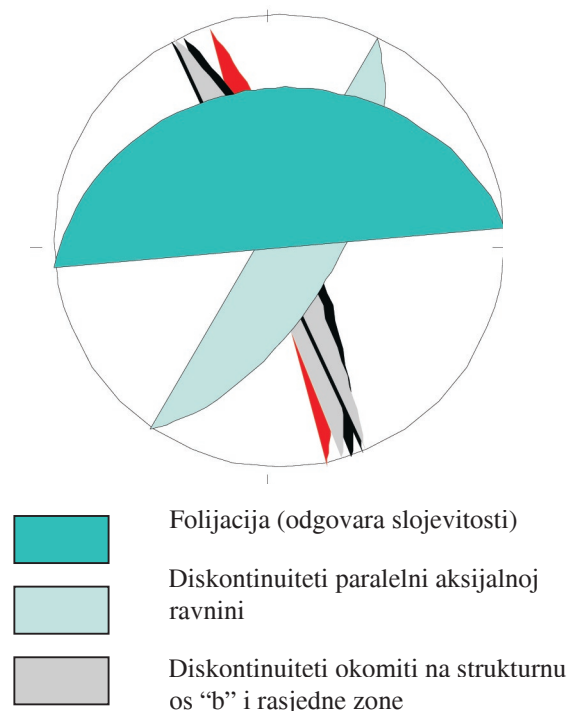
Geološka građa ležišta vrlo je složena, što je posljedica uvjeta geneze edukta (taloženje sedimenata heterogenog sastava), geneze produkta, odnosno metamornih procesa uz postanak mramorastih vapnenaca, mramora, filita i argilošista, te nekoliko faza tektonskih procesa. Primarna složenost geološke građe karbonatnih i silikatnih sedimenata povećana je progradnim metamornim a posebno naknadnim tektonskim procesima.

Inženjersko-geološke značajke stijenskog masiva Vukov Dol

U strukturnom sklopu, tri osnovna sistema diskontinuiteta su folijacija (slojevitost) položaja 335/30°, diskontinuiteti paralelni aksijalnoj ravnini položaja 120/62° i pukotine okomite na lokalnu strukturnu os “b” položaja 65/82. Pukotine okomite na lokalnu strukturnu os “b” su bile u mladim tektonskim

fazama preoblikovane u smične (transkurentne) rasjede položaja 68/75°, 75/75° i 65/82°, slika 1.

Obzirom na to da je i kompaktnija stijenska masa kopa “Vukov Dol”, u kojoj su bile izrađene bušotine za inicijaciju seizmičkih valova, pretežnim dijelom ispucana, prema kriterijima koji su dali H o e k (1995) i P a l m s t r o m (1996), postojali su svi elementi da se u daljim numeričkim analizama taj dio stijenske mase tretira kao kvaziizotropna sredina. Isto tako se i materijali tektonskih zona također mogu smatrati kvaziizotropnom sredinom, ali sa slabijim karakteristikama od kompaktnijih stijenskih masa. Volumeni koji zapremaju kompaktnije stijenske mase i materijali tektonske zone, u području snimanja seizmičkih efekata izazvanih miniranjem su takvi, da u tom području, obzirom na njegovu veličinu, postoji anizotropija. Definiranje karakteristika stijenskih masa u obje geotehničke sredine provedena je klasifikacijom stijenskih masa do razine određivanja “Geološkog indeksa čvrstoće, (GSI)” kako ga je definirao H o e k (1995), i to prema dijelu “RMR” klasifikacije B i e n i a w s k o g (1989) i dijela “Q” klasifikacije B a r t o n a (1974). Klasifikacijski parametri su odabrani prema smjeru u kojem su, prilikom mjerenja seizmičkih efekata, bili postavljeni geofoni. To se osobito odnosi na kompaktniju stijensku masu gdje su ustanovljene znatne razlike razmaka diskontinuiteta folijacije i pukotina okomitih na lokalnu strukturnu os “b”, u odnosu na razmake između diskontinuiteta paralelnih s klivažem aksijalne ravnine.



Slika 1. Snimljeni diskontinuiteti osnovnog tektonskog sklopa kamenoloma Vukov Dol, prikazani trasama ravnina

Figure 1. Surveyed discontinuities of the basic tectonic system quarry Vukov Dol, shown by plane routes

Klasifikacija stijenskih masa je prema tomu provedena u kompaktnijem dijelu mramoriziranih vapnenaca (mramora) za smjerove okomite na slojevitost i paralelan pukotinama okomitim i paralelan pukotinama okomitim na lokalnu strukturu os „b” i posebno za smjer okomit na diskontinuitete paralelne klivažu aksijalne ravnine, tablice 1, 2, 3 i 4.

Za smjer okomit na slojevitost i paralelan pukotinama okomitim na lokalnu strukturu os „b”

Tablica 1. Procjena vrijednosti GSI preko RMR-klasifikacije, smjer okomit na slojevitost i pukotone okomite na lokalnu strukturu os „b”

Table 1 Estimate of GSI values using the Rock mass rating (RMR) classification, for direction vertical to the layering and cracks vertical to the local structural axis „b”

PARAMETAR	BODOVI
Čvrstoća stijenskog materijala (60 MPa)	6
RQD (0-30 %)	3 – 7
Stanje podzemne vode (za GSI suho)	15
Razmak diskontinuiteta (prosječno oko 0,30 m)	9
UKUPNO STANJE STIJENSKE MASE	33 – 37
STANJE DISKONTINUITETA	Bodovi
Dužina diskontinuiteta (3-10 m i 10-20 m)	1 – 2
Zijev (1-5 mm i > 5 mm)	0 – 1
Hrapavost (hrapave)	5
Ispuna (tvrda limonitska > i < 5 mm)	2 – 4
Rastrošenost stijenki (neznatno rastrošene)	5
UKUPNO STANJE DISKONTINUITETA	13 – 17
SVEUKUPNO:	46 – 54
Za GSI	- 5
GSI	41 – 49
ODABRANA VRIJEDNOST GSI	45

Tablica 2. Procjena vrijednosti GSI preko Q-klasifikacije, smjer okomit na slojevitost i pukotone okomite na lokalnu strukturu os „b”

Table 2 Estimate of GSI value using Q-classification, for direction vertical to the layering and cracks vertical to the local structural axis „b”

PARAMETAR	BODOVI
RQD (10-30 %)	10 – 30
Broj sistema diskontinuiteta (3+1)	Jn = 12
Indeks hrapavosti pukotina (hrapave, nepravilne, ravne)	Jr = 1,5
Indeks alteracije pukotina (neznatno promijenjeni zidovi, tvrda mineralna prevlaka)	Ja= 2
$Q' = (RQD/Jn)*(Jr/Ja)$	0,6458 – 1,8750
Srednja vrijednost za Q	1,2604
$GSI=9*\ln(Q')+44$	40 – 49
ODABRANA VRIJEDNOST GSI	45

Za smjer paralelan s diskontinuitetima paralelnim aksijalnoj ravnini.

Tablica 3. Procjena vrijednosti GSI preko RMR-klasifikacije, smjer okomit na diskontinuitete paralelne aksijalnoj ravnini

Table 3 Estimate of GSI value using RMR classification, for direction vertical to the discontinuities parallel to the axial plane

PARAMETAR	BODOVI
Čvrstoća stijenskog materijala (60 MPa)	6
RQD (40-60 %)	8 – 12
Stanje podzemne vode (za GSI suho)	15
Razmak diskontinuiteta (najčešće od 1 m do > 2m)	14 – 20
UKUPNO STANJE STIJENSKE MASE	43 – 53
STANJE DISKONTINUITETA	Bodovi
Dužina diskontinuiteta (10-20 m)	1
Zijev (< 5 mm)	1
Hrapavost (neznatno hrapavo)	3
Ispuna (tvrda limonitska < 5 mm)	4
Rastrošenost stijenki (neznatno rastrošene)	5
UKUPNO STANJE DISKONTINUITETA	14
SVEUKUPNO:	57 – 67
Za GSI	- 5
GSI	52 – 62
ODABRANA VRIJEDNOST GSI	54

Tablica 4. Procjena vrijednosti GSI preko Q-klasifikacije, smjer okomit na diskontinuitete paralelne aksijalnoj ravnini

Table 4 Estimate of GSI value using Q-classification, for direction vertical to the discontinuities parallel to the axial plane

PARAMETAR	BODOVI
RQD (40-60 %)	40 – 60
Broj sistema diskontinuiteta (3+1)	Jn = 12
Indeks hrapavosti pukotina (hrapave, nepravilne valovite)	Jr = 3
Indeks alteracije pukotina (nerazmekšavajuća mineralna prevlaka)	Ja= 3
$Q' = (RQD/Jn)*(Jr/Ja)$	3,3333 – 5,0000
Srednja vrijednost za Q	4,166
$GSI=9*\ln(Q')+44$	54 – 58
ODABRANA VRIJEDNOST GSI	54

Brzine oscilacija stijenske mase prilikom pokusnih miniranja na fizičkom modelu

Pokusna miniranja i mjerenja brzine oscilacija na kopu Vukov Dol izvedena su u dva navrata, i to u lipnju 2003. godine, te veljači 2004. godine. Prilikom oba miniranja korištene su relativno male količine eksplozivnog naboja, ispod 2 kg po pokusnoj minskoj bušotini, koje su bile do dubine maksimalno 6 m. Aktiviranjem pojedine minske bušotine u određenom pravcu su na određenim

udaljenostima na dva mjesta opažanja mjerene brzine oscilacija stijenskog masiva. Pravci i mjesta opažanja određeni su prema inženjersko-geološkim različitostima koje se očituju u varijacijama vrijednosti GSI stijenskog masiva.

Iniciranjem pojedine mine uz postavljene instrumente na mjestima opažanja dobivena je serija rezultata koji su prezentirani u nastavku tablicom 5.

Tablica 5. Brzine oscilacija tla prilikom pokusnih miniranja u kamenolomu Vukov Dol

Table 5 Ground oscillation velocities during trial blasting at quarry Vukov Dol

MINSKO POLJE MP	MJESTA OPAŽANJA MO		BRZINE OSCILACIJA		UDALJENOSTI MO od MP		KOLIČINA EKSPLOZIVA PO STUPNJU PALJENJA		REDUCIRANA KOLIČINA EKSPLOZIVA	
			v1(cm/s)	v2(cm/s)	R1(m)	R2(m)	Q(kg)	$\sqrt[3]{Q}$	q_{red} za R_1	q_{red} za R_2
*v.dol.rgn										
B-1	MO-1	MO-2	19,20	0,83	2,50	21,30	1,35	1,105	0,442	0,052
B-1	MO-1	MO-3	19,20	0,34	2,50	19,00	1,35	1,105	0,442	0,058
B-1	MO-1	MO-4	19,20	0,17	2,50	28,50	1,35	1,105	0,442	0,039
B-2	MO-1	MO-2	23,20	2,53	1,80	18,30	0,90	0,965	0,536	0,053
B-2	MO-1	MO-3	23,20	1,55	1,80	16,80	0,90	0,965	0,536	0,057
B-2	MO-1	MO-4	23,20	0,60	1,80	26,00	0,90	0,965	0,536	0,037
B-3	MO-1	MO-2	10,19	1,85	4,30	21,25	1,35	1,105	0,257	0,052
B-3	MO-1	MO-3	10,19	1,28	4,30	19,50	1,35	1,105	0,257	0,057
B-3	MO-1	MO-4	10,19	0,45	4,30	28,75	1,35	1,105	0,257	0,038
B-4	MO-1	MO-2	20,43	0,86	3,90	19,75	1,80	1,216	0,312	0,062
B-4	MO-1	MO-3	20,43	0,86	3,90	17,50	1,80	1,216	0,312	0,070
B-4	MO-1	MO-4	20,43	0,26	3,90	26,25	1,80	1,216	0,312	0,046
B-1	MO-3	MO-4	0,34	0,17	19,00	28,50	1,35	1,105	0,058	0,039
B-2	MO-3	MO-4	1,55	0,60	16,80	26,00	0,90	0,965	0,057	0,037
B-3	MO-3	MO-4	1,28	0,45	19,50	29,80	1,35	1,105	0,057	0,037
B-4	MO-3	MO-4	0,86	0,26	17,50	26,25	1,80	1,216	0,070	0,046
*v.dol.spp										
MP-1	MO-1	MO-2	24,50	4,11	2,45	21,20	1,80	1,216	0,497	0,057
MP-2	MO-1	MO-4	7,49	0,83	3,05	28,05	1,80	1,216	0,399	0,043
MP-3	MO-1	MO-3	5,64	0,86	5,00	16,10	1,80	1,216	0,243	0,076
MP-4	MO-1	MO-2	5,12	2,61	4,90	20,30	1,80	1,216	0,248	0,060

OPASKA:

*v.dol.rgn - mjerenja u režiji Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Zagreb

*v.dol.spp - mjerenja u režiji SPP Varaždin

Nakon obrade podataka dobivenih opažanjima na fizičkom modelu, a prikazanih u tablici 5 utvrđene su slijedeće korelacije (Meseć, 2005):

- za smjer okomit na slojevitost koja je orijentacije 335/30°, a paralelan sa smičnim rasjedima položaja cca 70/75° - pravac MO1 – MO2, GSI = 45 :

$$v = 57 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1,2} = 57 \cdot q_{red}^{1,2} \quad (1)$$

gdje je :

q_{red} = reducirana količina eksploziva,

$K = 57$ – koeficijent svojstava stijene i uvjeta opažanja za pravac MO1 – MO2,

$n = 1,2$ – koeficijent oscilacija, za pravac MO1 – MO2.

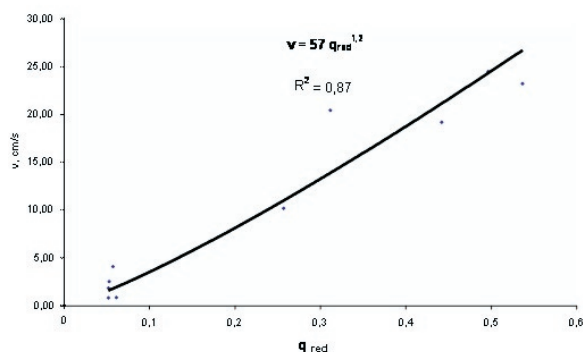
- za smjer približno paralelan diskontinuitetima koji su paralelni aksijalnoj ravnini položaja 120/62° - pravac MO1 – MO3 – MO4, GSI = 54 :

$$v = 65 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1,58} = 65 \cdot q_{red}^{1,58} \quad (2)$$

gdje je :

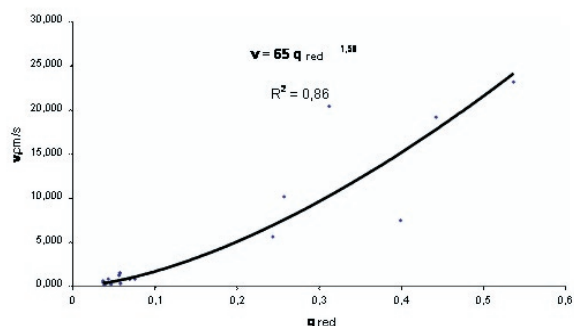
q_{red} = reducirana količina eksploziva,
 K= 65– koeficijent svojstava stijene i uvjeta opažanja za pravac MO1 – MO3 – MO4,
 n = 1,58 – koeficijent oscilacija, za pravac MO1 – MO3 – MO4.

Korelacije 1 i 2 prikazane su dijagramski slikama 2 i 3.



Slika 2. Ovisnost brzine oscilacija o reduciranoj količini eksploziva, Vukov Dol, pravac MO1-MO2

Figure 2 Dependence of oscillation speeds on reduced explosive quantity, Vukov Dol, direction MO1-MO2



Slika 3. Ovisnost brzine oscilacija o reduciranoj količini eksploziva, Vukov Dol, pravac MO1-MO3-MO4

Figure 3 Dependence of oscillation speeds on reduced explosive quantity, Vukov Dol, direction MO1-MO3-MO4

R – Q dijagrami prema standardu DIN 4150. Za utvrđivanje pojedinih R – Q dijagrama prema **standardu DIN 4150** treba dati tablične prikaze izračuna dozvoljenih količina eksploziva po stupnju paljenja za zadane udaljenosti mjesta opažanja od minskih polja. Nakon toga se prema izmjerenim frekvencijama oscilacija za pojedine kategorije objekata prema odabranim graničnim vrijednostima brzina oscilacija za pojedinu kategoriju objekta iscrtavaju pripadajući R – Q dijagrami za predmetni pravac seizmičkih opažanja. U ovom radu usvojeno je načelo da se za 1. kategoriju objekata za fizički model uzimaju kao referentne vrijednosti brzina oscilacija od 2,0 cm/s, za drugu kategoriju 1,5 a za treću kategoriju 0,8 cm/s (u drugom frekventnom rasponu 10 do 50 Hz). Osim toga, iz tablice 5 vidljivo je da su mjesta opažanja bila udaljena maksimalno 30 m od pokusnih minskih bušotina. Radi toga je pri utvrđivanju R – Q dijagrama kao maksimalna kalkulatívna udaljenost MO od MP uzeto 50 metara.

1) Za smjer okomit na slojevitost koja je orijentacije 335/30°, a paralelan sa smičnim rasjedima položaja cca 70/75° - pravac MO1 – MO2, a pri kojem je utvrđena zakonitost odnosa brzina oscilacija – reducirana količina eksploziva :

$$v = 57 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1,2}, \text{ izlazi da je:}$$

$$Q = \left[(v/57)^{1/1,2} \cdot R \right]^3 \quad (3)$$

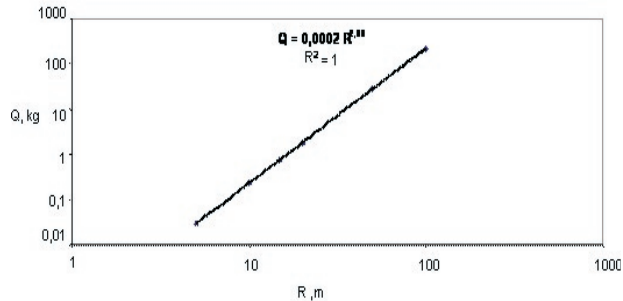
Seizmičkim opažanjima je utvrđeno da su frekvencije oscilacija na kopu Vukov Dol prema standardu DIN 4150 pretežito u rasponu 10 do 50 Hz.

Tablica 6. Dopuštena količina eksploziva po stupnju paljenja, za smjer okomit na slojevitost i pukotone okomite na lokalnu strukturu os „b“

Table 6 Allowed quantity of explosives by degree of ignition, for direction vertical to the layering and cracks vertical to the local structural axis “b”

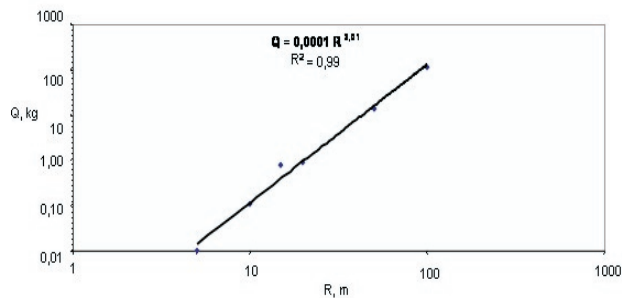
Udaljenost MO od MP	Kategorija objekata prema DIN standardu		
	1. v = 2,0 cm/s	2. v = 1,5 cm/s	3. v = 0,8 cm/s
R, m	Dozvoljena količina eksploziva po stupnju paljenja		
	Q, kg		
5,0	0,03	0,01	0,003
10,0	0,23	0,11	0,023
15,0	0,78	0,79	0,079
20,0	1,84	0,90	0,186
50,0	28,79	14,09	2,915

Na slikama 4, 5 i 6 su prikazani pripadajući R – Q dijagrami za pojedinu kategoriju objekata prema podacima iz tablice 6.



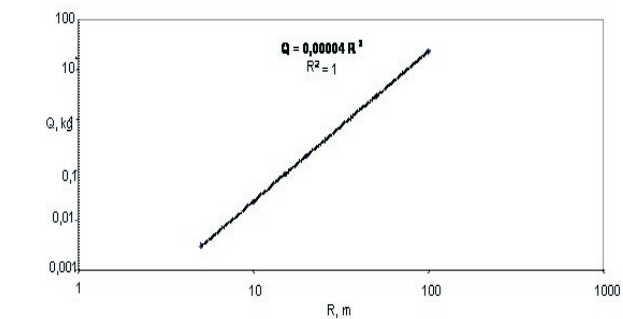
Slika 4. Dopuštene količine eksploziva po stupnju paljenja ovisno o udaljenosti od minskog polja, Vukov Dol 1, 1. kategorija objekata, $v=2,0$ cm/s

Figure 4 Allowed explosive quantity by ignition degree depending on the distance from the blast field, Vukov Dol 1, 1st structure category, $v=2,0$ cm/s



Slika 5. Dopuštene količine eksploziva po stupnju paljenja ovisno o udaljenosti od minskog polja, Vukov Dol 1, 2. kategorija objekata, $v=1,5$ cm/s

Figure 5 Allowed explosive quantity by ignition degree depending on the distance from the blast field, Vukov Dol 1, 2nd structure category, $v=1,5$ cm/s



Slika 6. Dopuštene količine eksploziva po stupnju paljenja ovisno o udaljenosti od minskog polja, Vukov Dol 1,3. kategorija objekata, $v=0,8$ cm/s

Figure 6 Allowed explosive quantity by ignition degree depending on the distance from the blast field, Vukov Dol 1, 3rd structure category, $v=0,8$ cm/s

2) Za smjer približno paralelan diskontinuitetima koji su paralelni aksijalnoj ravlini položaja 120/62⁰ - pravac MO1 – MO3 – MO4, a pri kojem je utvrđena zakonitost brzina oscilacija – reducirana količina eksploziva :

$$v = 65 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1,58}, \text{ izlazi da je :}$$

$$Q = \left[(v/65)^{1/1,58} \cdot R \right]^3 \quad (4)$$

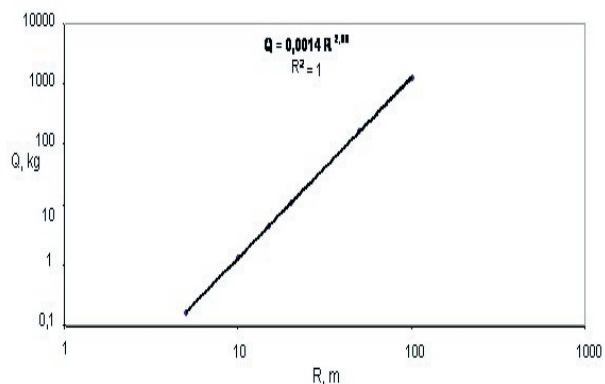
U tablici 7 date su izračunate vrijednosti dozvoljenih količina eksploziva po stupnju paljenja za zadane udaljenosti mjesta opažanja od minskih polja i zadane kategorije objekata.

Na slikama 7, 8 i 9 su prikazani pripadajući R – Q dijagrami za pojedine kategorije objekata prema podacima iz tablice 7.

Tablica 7. Dozvoljena količina eksploziva po stupnju paljenja, za smjer okomit na diskontinuitete paralelne aksijalnoj ravlini

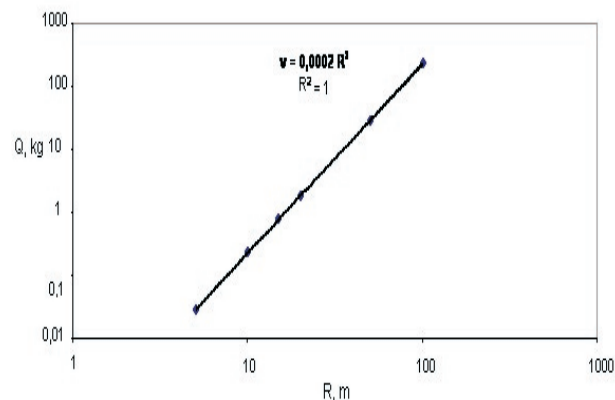
Table 7 Allowed quantity of explosives by degree of ignition, for direction vertical to the discontinuities parallel to the axial plane

Udaljenost MO od MP R, m	Kategorija objekata prema DIN standardu		
	1. $v = 2,0$ cm/s	2. $v = 1,5$ cm/s	3. $v = 0,8$ cm/s
	Dozvoljena količina eksploziva po stupnju paljenja Q, kg		
5,0	0,17	0,097	0,029
10,0	1,35	0,778	0,238
15,0	4,54	2,628	0,804
20,0	10,76	6,229	1,906
50,0	168,20	97,336	29,791



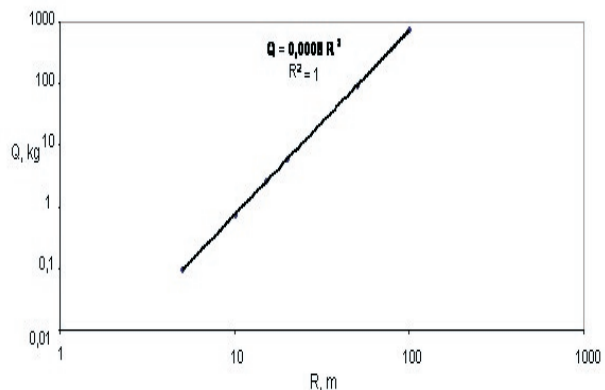
Slika 7. Dopuštene količine eksploziva po stupnju paljenja ovisno o udaljenosti od minskog polja, Vukov Dol 2, 1. kategorija objekata, $v=2,0$ cm/s

Figure 7 Allowed explosive quantity by ignition degree depending on the distance from the blast field, Vukov Dol 2, 1st structure category, $v=2,0$ cm/s



Slika 9. Dopuštene količine eksploziva po stupnju paljenja ovisno o udaljenosti od minskog polja, Vukov Dol 2, 3. kategorija objekata, $v=0,8$ cm/s

Figure 9 Allowed explosive quantity by ignition degree depending on the distance from the blast field, Vukov Dol 1, 3rd structure category, $v=0,8$ cm/s



Slika 8. Dopuštene količine eksploziva po stupnju paljenja ovisno o udaljenosti od minskog polja, Vukov Dol 2, 2. kategorija objekata, $v=1,5$ cm/s

Figure 8 Allowed explosive quantity by ignition degree depending on the distance from the blast field, Vukov Dol 2, 2nd structure category, $v=1,5$ cm/s

Znači, na fizičkom modelu je u osnovi utvrđena ovisnost brzine oscilacija o reduciranoj količini eksploziva, prema izrazu :

$$v = K \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^n = K q_{red}^n \quad (5)$$

pri čemu je:

$$\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} = \rho_{red} - \text{reducirana količina eksploziva,}$$

K - koeficijent svojstava stijene i uvjeta opažanja,

n - koeficijent oscilacija stijenskog masiva.

Opaska: Za koeficijente „K“ i „n“ daje se gornje objašnjenje, koje proizašlo iz rezultata seizmičkih opažanja na svim lokalitetima. Naime, „n“ nije moguće jednoznačno nazvati prigušenjem oscilacija stijenskog masiva, već ga treba kod računanja brzina oscilacija analizirati zajedno sa koeficijentom „K“. Mjerenjima je dokazano da „K“ ne zavisi o načinu miniranja, već ponajprije o udaljenosti mjesta opažanja (MO) od minskog polja (MP). Kada je ta udaljenost veća, obično je i „K“ veći. Osim toga, za stijenske mase slabije kvalitete, koje su „seizmički osjetljivije“, i „K“ je veći.

Verifikacija rezultata istraživanja provedenih na fizičkom modelu

Verifikacija rezultata dobivenih na fizičkom modelu, te utvrđivanje zakonitosti koje postoje prilikom izvođenja minerskih radova u različitim inženjersko-geološkim uvjetima provedeno je na slijedećim lokalitetima :

- površinski kop tehničko-građevnog kamena Seget kraj Trogira, (rudistni vapnenci senona),
- površinski kop tehničko-građevnog kamena Očura kraj Lepoglave, (dolomiti srednjeg trijasa),
- građevinska jama WTC Rijeka, (rudistni vapnenci gornje krede),
- granični prijelaz Macelj, (pješčenjaci donjeg miocena),
- površinski kop tehničko-građevnog kamena Špica kraj Ljubeščice, (trijaski vapnenci i dolomitizirani vapnenci).

Nakon provedenih istraživanja na fizičkom modelu, te verifikacije dobivenih rezultata i na ostalim lokalitetima egzaktno je utvrđena ovisnost brzine oscilacija o reduciranoj količini eksploziva. Ta ovisnost je poslužila pri konstrukciji R – Q dijagrama, kojima je prema standardu DIN 4150 za tri kategorije objekata i tri granične vrijednosti brzine oscilacija utvrđena dozvoljena količina eksploziva po stupnju paljenja za različite i zadane udaljenosti mjesta opažanja (MO) od minskih polja (MP). U razmatranje su uzete udaljenosti 5, 10, 15, 20, 50, i u nekim slučajevima 100, odnosno 200 m. Navedene udaljenosti predstavljale su i duljine istraživanih profila na pojedinim lokalitetima.

Tablica 8. Prikaz navedenih utvrđenih i izračunatih veličina

Table 8 Shows all stated and calculated magnitudes

Red. broj	LOKACIJA	VRSTA STIJENE	POSEBNOST (smjer istraživanja, kvaliteta stijene)	REDUCIRANA KOLIČINA EKSPLOZIVA q_{red} , MO od MP, R=50 m			RELATIVNA SEIZMICKA OSJETLJIVOST, RSO			GEOLOŠKI INDEKS CVRSTOĆE GSI
							q_{red} WTC Rijeka 1	q_{red} pojedini lokalitet		
Kategorija objekata prema DIN standardu 4150										
				1.	2.	3.	1.	2.	3.	
1	Seget 2	rudistni vapnenci	okomito slojevitosti	0,024	0,02	0,014	7,79	7,3	6,07	38
2	Seget 1	rudistni vapnenci	paralelno slojevitosti	0,029	0,023	0,015	6,45	6,35	5,66	30
3	Macelj	pješčenjak		0,03	0,027	0,021	6,23	5,41	4,05	35
4	Špica	dolomitizirani vapnen.		0,033	0,034	0,028	5,67	4,29	3,04	42
5	WTC Rijeka 2	vapnenci	slabija stijena	0,051	0,045	0,035	3,66	3,24	2,43	38
6	Vukov Dol 2	mramorizirani vapnen.	okomito slojevitosti	0,061	0,048	0,029	3,06	3,04	2,93	45
7	Ocura	dolomit		0,056	0,05	0,04	3,34	2,92	2,13	51
8	Vukov Dol 1	mramorizirani vapnen.	paralelno slojevitosti	0,11	0,092	0,062	1,7	1,59	1,37	54
9	WTC Rijeka 1	vapnenci	povoljna stijena	0,187	0,146	0,085	1	1	1	55

Dozvoljene količine eksploziva po stupnju paljenja su za pojedinu kategoriju objekata i odabranu graničnu vrijednost brzine oscilacija prema izmjenom dominantnom frekventnom području utvrđivane prema izrazu

$$Q = \left[(v/K)^{1/n} \cdot R \right]^3 \quad (6)$$

Nadalje, za sumarnu analizu i interpretaciju rezultata dobivenih seizmičkim mjerenjima i inženjersko-geološkim istraživanjima u razmatranje su uzete 1., 2. i 3. kategorija objekata s kriterijem granične brzine oscilacija 2,0; 1,5 i 0,8 cm/s. Kao referentna udaljenost mjesta opažanja od minskih polja uzeta je udaljenost 50 m, koja egzistira na svim lokalitetima.

Za tu udaljenost je za sve istraživane lokalitete prema dozvoljenim količinama eksploziva po stupnju paljenja izračunata **reducirana količina eksploziva**,

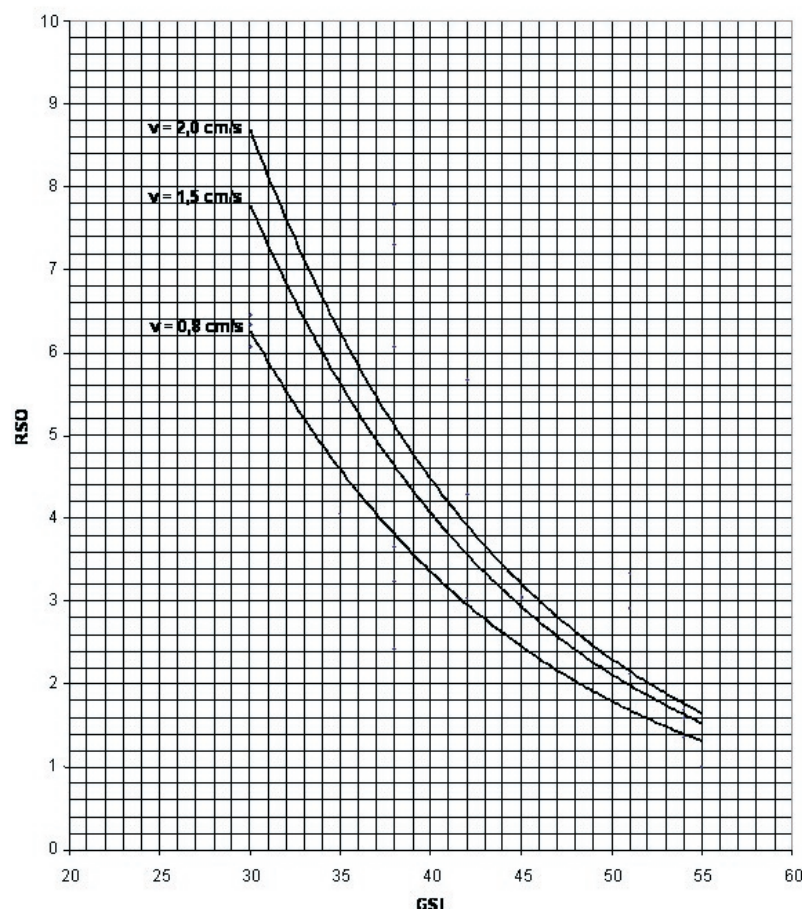
$$q_{red} = \frac{\sqrt[3]{Q}}{R}$$

Dijeljenjem najveće utvrđene veličine reducirane količine eksploziva dobivene na lokalitetu WTC Rijeka 1, $q_{red \text{ WTC Rijeka 1}}$ (koji je na taj način postao jedinični model), sa reduciranim količinama eksploziva izračunatih za pojedine istraživane lokalitete, dobivena je **relativna seizmička osjetljivost RSO**, ili :

$$RSO = q_{red \text{ WTC Rijeka 1}} / q_{red \text{ pojedini lokalitet}} \quad (7)$$

Na osnovi podataka iz tablice 8, te prethodno utvrđenih zakonitosti, iscrtane su dvije vrste dijagrama ovisnosti za 1., 2. i 3. kategoriju objekata koje treba štiti od prevelikih oscilacija :

1. *relativne seizmičke osjetljivosti (RSO) i geološkog indeksa čvrstoće (GSI),*
2. *R - Q dijagrami sumarno za sve lokalitete sa pripadajućom relativnom seizmičkom osjetljivošću, RSO.*



Slika 10. Relativne seizmičke osjetljivosti (RSO) ovisno o geološkom indeksu čvrstoće, GSI, (svi istraživani lokaliteti, zbirno)

Figure 10 Relative seismic sensibility (RSO) depending on the geological strength index (GSI), (all researched locations, summary)

1) Dijagrami RSO – GSI

- za 1. kategoriju objekata prema standardu DIN 4150 (kancelarije i tvorničke zgrade),

$v = 2,0 \text{ cm/s}$:

$$RSO = 64 e^{-0,066 \text{ GSI}} \quad (8)$$

- za 2. kategoriju objekata prema standardu DIN 4150 (stambene zgrade s žbukanim zidovima),

$v = 1,5 \text{ cm/s}$:

$$RSO = 55 e^{-0,065 \text{ GSI}} \quad (9)$$

- za 3. kategoriju objekata prema standardu DIN 4150 (povijesni spomenici i drugi zaštićeni objekti),

$v = 0,8 \text{ cm/s}$:

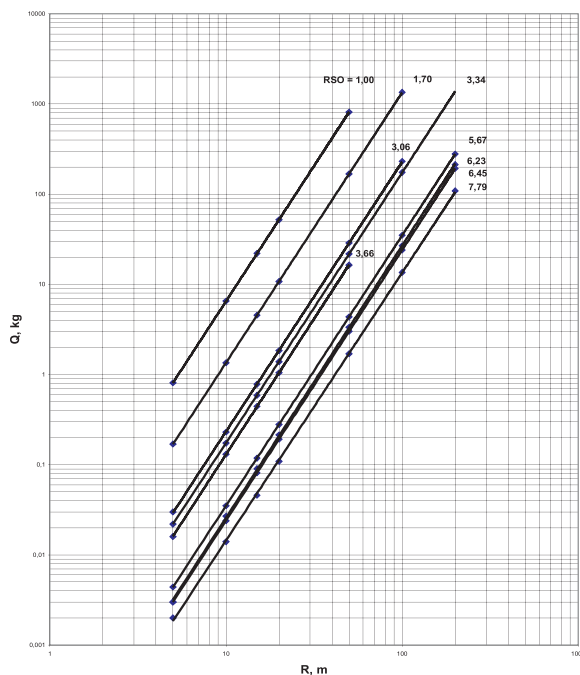
$$RSO = 41 e^{-0,063 \text{ GSI}} \quad (10)$$

Na slici 10, sumarno su prikazani za svaku pojedinu kategoriju objekata gore utvrđeni RSO – GSI dijagrami.

2) R – Q dijagrami

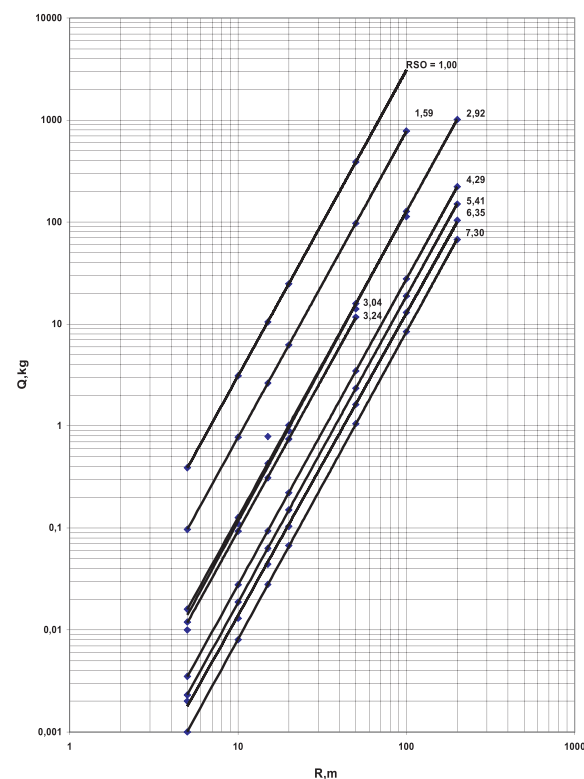
Primjenom dijagrama ovisnosti relativne seizmičke osjetljivosti (RSO) o geološkom indeksu čvrstoće (GSI) i R – Q dijagrama s pripadajućom relativnom seizmičkom osjetljivošću RSO, moguće je na prilično jednostavan način prema modelu koji je prikazan u ovom radu doći do vrijednosti za dozvoljenu količinu eksploziva po stupnju paljenja Q, za pojedini inženjersko-geološki tip sedimentne stijenske mase, i to na slijedeći način (Mesec, 2005):

- iz dijagrama ovisnosti RSO – GSI za određenu kategoriju objekata prema standardu DIN 4150 se za pojedini inženjersko-geološki tip stijene definiran pripadajućim GSI-jem utvrdi relativna seizmička osjetljivost (RSO),
- zatim se primjenom skupnog R – Q dijagrama, slike 11,12 i 13 u nastavku rada, za pojedinu kategoriju objekata prema standardu DIN 4150 iz točke na apscisnoj osi koja definira udaljenost (R) ugroženog objekta od minskog polja, povlači okomica na pripadajući pravac relativne seizmičke osjetljivosti (RSO)



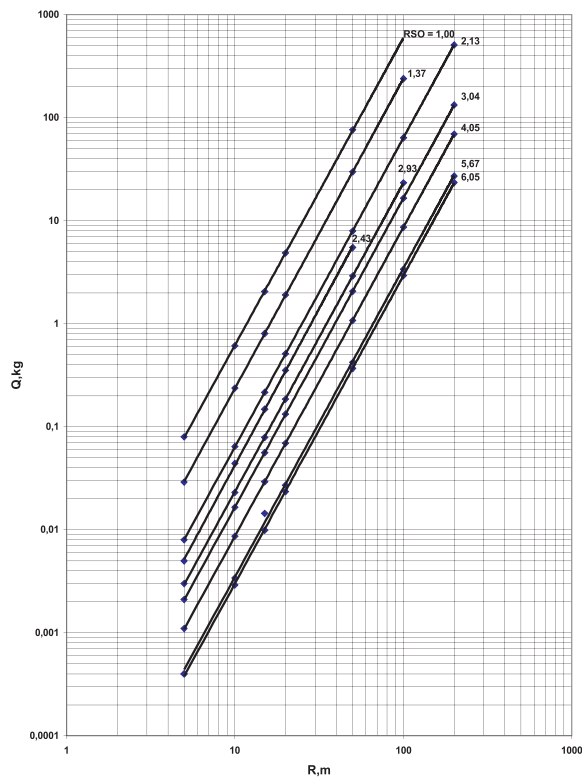
Slika 11. R – Q dijagrami za utvrđivanje dopuštene količine eksploziva po stupnju paljenja ovisno o udaljenosti i relativnoj seizmičkoj osjetljivosti (RSO) stijenske mase, (1. kategorija objekata, $v = 2,0 \text{ cm/s}$)

Figure 11 R – Q diagrams defining allowed quantities of explosives per level of ignition depending distances and seismic sensitivity (RSO) of the rock mass, Class 1 $v = 2,0 \text{ cm/s}$



Slika 12. R – Q dijagrami za utvrđivanje dopuštene količine eksploziva po stupnju paljenja ovisno o udaljenosti i relativnoj seizmičkoj osjetljivosti (RSO) stijenske mase, (2. kategorija objekata, $v = 1,5 \text{ cm/s}$)

Figure 12 R – Q diagrams defining allowed quantities of explosives per level of ignition depending distances and seismic sensitivity (RSO) of the rock mass, Class 2 $v = 1,5 \text{ cm/s}$



Slika 13. R – Q dijagrami za utvrđivanje dopuštene količine eksploziva po stupnju paljenja ovisno o udaljenosti i relativnoj seizmičkoj osjetljivosti (RSO) stijenske mase, (3. kategorija objekata, $v = 0,8$ cm/s)

Figure 13 R – Q diagrams defining allowed quantities of explosives per level of ignition depending distances and seismic sensitivity (RSO) of the rock mass, Class 3 $v = 0,8$ cm/s

Iz tako dobivene točke na pravcu relativne seizmičke osjetljivosti (RSO) povlačenjem horizontale, na ordinati se očitava dozvoljena količina eksploziva po stupnju paljenja (Q), a pri kojoj će seizmičke oscilacije izazvane miniranjem na ugroženom objektu biti u dopuštenim granicama.

Na gore opisani način, moguće je dakle empirijski, primjenom utvrđenih dijagrama bez prethodnih mjerenja orijentacijski odrediti dozvoljenu količinu eksploziva po stupnju paljenja za pojedini inženjersko-geološki tip sedimentne stijenske mase. Na taj način se praktično dolazi do podataka koji su značajni za projektiranje minerskih radova.

Received: 18.06.2005.

Accepted: 20.09.2005.

Literatura

- Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. (1974): Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, *Rock Mech.*, 6:189-223.
- Bieniawski Z.T. (1989): Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering. A Wiley- Interscience Publications.
- Braun, K., Meseć, J. (2000): Inženjersko-geološka analiza nastalog klizišta i stabilnosti kosina u kamenolomu mramoriziranog vapnenca Vukov Dol kraj Kašine, Studija, Geomid d.o.o. Zagreb.
- Hoek, E. (1995): Strength of rock & rock masses. *ISRM News Journal*, vol. 2 (No 2), 4-17.
- Meseć, J.(2005): Ovisnost brzina oscilacija tla izazvanih miniranjem o inženjersko-geološkim značajkama karbonatnih stijenskih masa. Doktorska disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Palmstrom, A. (1996): RMI – A system for characterizing Rock mass strength for use in rock engineering. *Jr. of Rock. Mech. and tunneling tech.*, India, 29, No. 1, 69-108.

Allowed quantity of explosive charge depending on relative seismic sensitivity of rock mass

JOSIP MESEC

Oscillation speed of soil particles or rock caused by explosive detonations in a blast hole is a crucial criterion of evaluating danger of seismic activities to a structure. Scientists in professional and scientific circles dealing with this area have generally accepted the concept that oscillation speed of soil caused by blasting is related to the quantity of explosive filling that detonates in each ignition interval, to distance of observation point from the blasting field, to characteristics of basic tectonic system and general engineering, geological, physical and mechanical characteristics of rock mass.

In Croatia, during the last decade and more there has been reach maturity awareness of the need of seismic observations during blasting conducted close to the endangered structures. The allowed oscillation speed of soil particles or rock mass for certain structures have not been standardized in Croatian laws and therefore they comply with the international DIN, USBM and other norms.

The specific feature of mining activities on motorway routes and other parts of infrastructure includes frequent changes of blasting field locations, of geological environment and the distance of the potentially endangered structures.

This paper analyses research conducted at specific, shallow and mass blasting, in sediment rock deposits, mostly limestone and dolomites. The analysis used the results of laboratory testing of physical and mechanical rock properties, of the basic tectonic system survey and of defining rock mass characteristics, being the procedure-standardized methods of modeling in rock mechanics. Rock mass has been graded based on the results of the engineering and geological research. This enabled defining the Geological Strength Index (GSI), ranging from about 30 to 55, which, by using the „RMR“ or „Q“ classification, can assess the rock masses as „poor“ to „acceptable“.

In Vukov Dol, the open pit of technical and building marmoreal limestone near Zagreb that has been chosen as a physical model, the measuring of basic tectonic system resulted in defining „Geological Strength Index (GSI)“, in two different directions. Apart from that, test blasting and seismic measuring defined the dependence of oscillation speed on the quantity of explosives. Based on this dependence, the allowed quantity of explosives per level of ignition was defined in compliance with the DIN 4150 standard.

The established correlation on a physical model served as a base for verification the results on other localities, with relative seismic sensitivity (RSO) of each rock mass defined first. The concept of relative seismic sensitivity was introduced to exactly compare the seismicity of rocks of different physical and mechanical, but also structural and tectonic characteristics.

Relative seismic sensitivity for each location and all three categories of structures according to the DIN 4150 was solved based on the highest defined reduced quantity of explosives for a unit model (q_{max}) and the reduced quantities of explosives for each location ($q_{each\ location}$). The values of relative seismic sensitivity for each location were compared to the geological strength index for all three categories of structures endangered by blasting. Nomograms and graphs included in this paper enable simple preliminary determination of the allowed quantity of explosives (Q) per ignition level on the related blast field (MP). This is particularly important in designing open pits where the cliff rock mass is acquired by mining, and in designing basic mining magnitudes or special or sensitive blasting in urban areas. Then the blaster may safely conduct test or production blasting, and simultaneously measure the expected values for the seismic oscillation of the related rock mass.