

SMANJENJE INTENZITETA POTRESA IZAZVANIH MINIRANJEM NA KAMENOLOMIMA »HERCEGOVAC« I »MAX-STOJA«

Marin PETROV

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Odjel za rudarstvo, geotehniku i naftu, Pierottijeva 6, 41000 Zagreb, Hrvatska

Ključne riječi: Kamenolom, Miniranje, Intenzitet potresa, Kriteriji štete

Key-words: Stone quarry, Blasting, Ground motion intensity, Damage criteria

Intenzitet potresa izazvan miniranjem s dubokim minskim bušotinama na kamenolomima »Hercegovac« i »Max-Stoja« utvrđen je mjerenjem veličina oscilacija tla uz interpretaciju rezultata mjerenja prema svjetskim kriterijima štete za građevinske objekte. Smanjenje intenziteta potresa ostvareno je proračunom dozvoljene količine eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja.

Ground motion intensity caused by deep-hole blasting on the stone quarries »Hercegovac« and »Max-Stoja« was determined by measuring of ground vibrations magnitudes and by interpretation of measuring results under world damage criteria for structures. Reduction of ground motion intensity was realized on the basis of calculation of permissible charge quantity per ignition level.

Uvod

Na kamenolomima dolomita Hercegovac i vapnenca Max-Stoja sirovina se dobiva miniranjem etaža s dubokim minskim bušotinama.

Prilikom tih miniranja najveći dio oslobodene energije eksplozivnog punjenja potroši se na koristan rad razaranja i drobljenja stijene, dok se manji, ali ipak primjetan dio, pretvara u kinetičku energiju različitih tipova elastičnih seizmičkih valova koji se od mjesta detonacije određenom brzinom šire radialno u okružujuću stijensku masu. Pri prolasku seizmičkih valova nastaju oscilacije tla, odnosno umjetni potresi. To je nepoželjna pojava kada se minira u naseljenim mjestima, tj. u blizini stambenih i drugih građevinskih objekata ili povijesnih spomenika, koji se kod određenog intenziteta potresa mogu oštetiti.

Intenzitet potresa moguće je smanjiti utvrđivanjem dozvoljene količine eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja uz određeni najpovoljniji interval usporjenja milisekundnim otpucavanjem. U tu svrhu mjerene su veličine oscilacija tla nastalih proizvodnim miniranjem na kamenolomu dolomita Hercegovac 11. prosinca 1992. i na kamenolomu vapnenca Max-Stoja 23. prosinca 1992. godine.

Na temelju rezultata mjerenja izvršen je proračun dozvoljenih količina eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja za različite udaljenosti objekata od mjesta miniranja.

Seizmički efekti miniranja

Djelovanje potresa na građevinske objekte

Seizmički valovi nastali miniranjem izazivaju mehanička gibanja tla, koja predstavljaju nestacionarne periodičke oscilacije. Kada seizmički valovi dopru do nekog objekta, dio energije oscilacija tla prenosi se na njegove temelje, pa u pojedinim dije-

lovima konstrukcija nastaju dinamička naprezanja. Kod određenog intenziteta potresa ta naprezanja mogu preći graničnu čvrstoću materijala od kojeg je objekt izgrađen što može izazvati trajne deformacije.

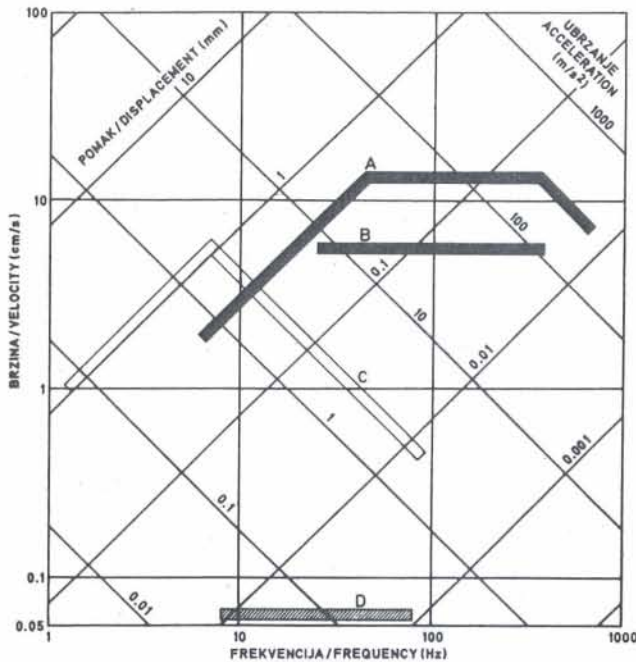
Kriteriji za ocjenu seizmičke opasnosti pri miniranju

Na intenzitet potresa nastalih miniranjem utječe niz činitelja, kao što su: fizikalno-mehanička svojstva i geološka građa stijene kroz koju se šire seizmički valovi, količina i vrsta eksplozivnog punjenja, način i veličine miniranja te udaljenost od mjesta miniranja.

Problem zaštite objekata od oštećenja pokušali su riješiti mnogi autori. Rezultat njihovih istraživanja je niz teorijskih rješenja i empirijskih formula u kojima je određena matematička povezanost između intenziteta oscilacija tla, količine eksplozivnog punjenja i udaljenosti od mjesta miniranja. Te formule imaju jedan ili više korekcijskih faktora čije se vrijednosti egzaktno određuju mjerenjem na terenu ili se zasnivaju na statističkim podacima.

Intenzitet oscilacija izražava se u različitim mjernim veličinama kao što su pomak, brzina, ubrzanje, frekvencija ili energija oscilacija. Koja od tih veličina i u kolikoj mjeri s ostalima najbolje predstavlja intenzitet seizmičkog efekta pitanje je glede kojeg postoje različita gledišta, što ima za posljedicu korištenje različitih kriterija za ocjenu seizmičke opasnosti.

U Švedskoj je kriterij štete uspostavljen preko vrijednosti brzine, ubrzanja i pomaka u zavisnosti o frekvenciji oscilacija (P e r s s o n et al., 1980). Grafički prikaz njihovih međusobnih odnosa dat je na sl. 1. U SAD je kriterij štete utvrđen preko odnosa brzina i frekvencija oscilacija (S i s k i n d et al., USBM RI8507, 1980.), a grafički je prikazan na sl. 2. U Njemačkoj su postavljeni najstroži kriteriji tako da po DIN standardu 4150 imamo klasificirane



Sl. 1 Dozvoljene vrijednosti veličina oscilacija tla u Švedskoj
 A – Prag štete za obične zgrade na čvrstoj stijeni
 B – Granične vrijednosti utvrđene od strane štokholmske policije
 C – Gornja granica vibracija dopuštenih u nosačima velikih računala
 D – Granica kod koje ljudi osjećaju vibracije

Fig. 1 Permissible values of ground vibrations magnitudes in Sweden
 A – Threshold for damage to normal buildings on hard rock
 B – Limits enforced by Stockholm police
 C – Upper limit for vibrations allowed in supports of large computers
 D – Limit where vibrations are just perceptible by human being

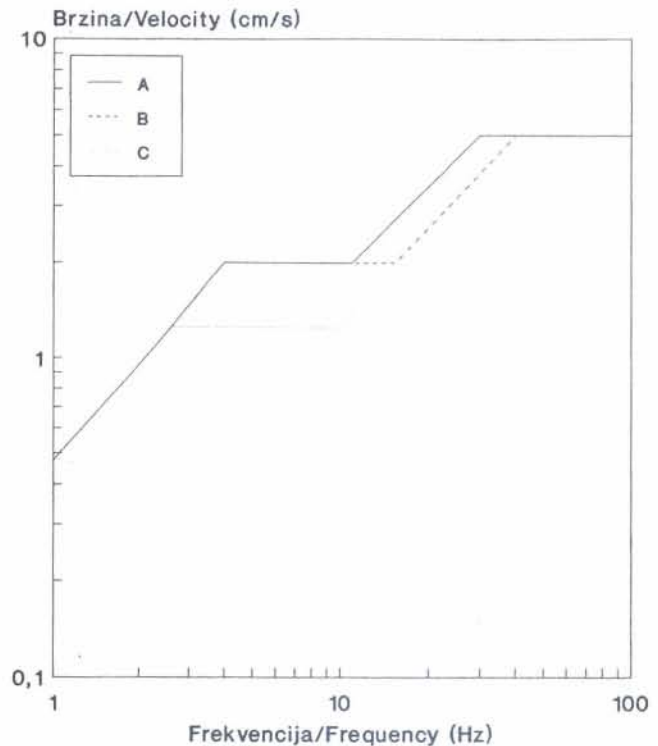
objekte po kategorijama i za njih pripadajuće dozvoljene brzine oscilacija tla u zavisnosti o frekvenciji oscilacija. Njihov odnos grafički je prikazan na sl. 3.

Klasifikacija potresa po kriteriju S. V. Medvedeva usvojena 1963. u San Franciscu temelji se na količini i vrsti oštećenja na objektima prema pripadajućim vrijednostima rezultantne brzine oscilacija tla. Norme koje se koriste u ZND (bivši SSSR) utvrđene su na osnovi te klasifikacije i razgraničavaju dozvoljene brzine oscilacija prema tipu i stanju objekta, kao i prema tome jesu li oscilacije tla višestruke ili pojedinačne, a prikazane su u tablici 1.

Instrumenti za registriranje potresa

Za mjerenje veličina oscilacija tla konstruirani su instrumenti koji rade na principu seizmografa. Prijenosni su i mogu se postaviti na bilo kojem mjestu gdje je potrebno izmjeriti nastale vibracije. Za potrebe ovog rada korišteni su instrumenti tipa SPRENGNETHER VS-1100 i INSTANTEL Blast Mate II DS-477.

Seizmograf SPRENGNETHER VS-1100 američke je proizvodnje i opremljen za registriranje tri međusobno okomite komponente brzina oscilacija tla: transverzalnu, vertikalnu i longitudinalnu. Sastoji se od trokomponentnog seizmometra (geofona) i registratora koji su međusobno električki povezani.



Sl. 2 Odnos brzine i frekvencije oscilacija tla prema USBM RI 8507 i OSMRE
 A – Kriterij OSMRE (Office of Surface Mining Reclamation & Enforcement)
 B – Kriterij USBM RI 8507 za čisti ili žbukani zid
 C – Kriterij USBM RI 8507 za žbukani zid

Fig. 2 Relation between velocity and frequency of ground vibrations after USBM RI 8507 and OSMRE
 A – OSMRE criterion
 B – USBM RI 8507 criterion for drywall or plaster
 C – USBM RI 8507 criterion for plaster

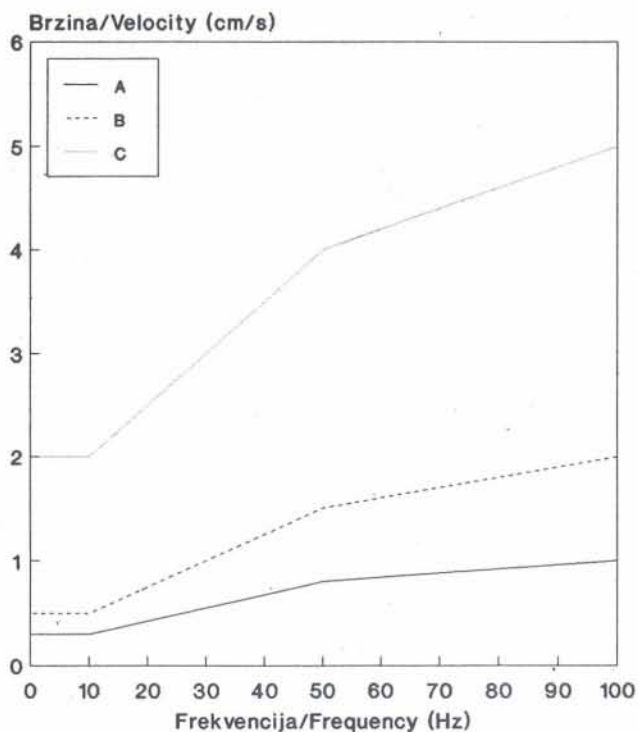
Vibracije tla prenose se preko podnožnih vijaka na seizmičku masu geofona, a zatim na tri međusobno okomita elektromagnetska svitka. Komponente vibracija induciraju u elektromagnetskim svicima električne impulse koji se kabelom prenose na galvanometre sa zrcalima u registratoru, gdje postoji mogućnost njihovog pojačanja. Električni impulsi zakreću osovine sa zrcalima tako da zraka svjetlosti iz stalnog izvora pada na zrcala pod različitim nagibima te se i reflektira pod različitim kutovima na fotografski papir koji rotira jednolikom brzinom. Reflektirana zraka svjetlosti ispisuje na fotografski papir tragove krivulja komponentnih brzina oscilacija. Na fotografski papir nanosi se i vremenski interval s raspodjelom između susjednih linija od 0,02 sekunde. Opažanja su moguća u području frekvencija od 2 do 200 Hz.

Seizmograf INSTANTEL Blast Mate II DS-477 kanadske je proizvodnje i predstavlja najnoviju elektroničku generaciju instrumenata. Mjeri pomak, brzinu, ubrzanje i frekvenciju oscilacija, te zračni udarni val. Sastoji se od geofona, mikrofona i registratora. Geofon je standardne izvedbe. Sastoji se od seizmičke mase i tri senzora, elektromagnetska svitka, dok je registrator elektronički s ugrađenim mikroprocesorom, memorijom i ploterom, pa ima mogućnost povezivanja s računalom uz korištenje vlastitog analitičkog software-a. Vibriranjem senzora induciraju

Tablica 1 Dozvoljene brzine oscilacija tla i intenziteta potresa za određene tipove i stanje objekata

Table 1 Permissible ground vibrations velocities and ground motions intensity for particular types and conditions of structures

Tip i stanje objekta Type and condition of structure	Dozvoljena brzina oscilacija tla (cm/s) Permissible ground vibrations velocity (cm/s)		Dozvoljeni intenzitet potresa (stupanj) Permissible ground motion intensity (degree)	
	Višestruke oscilacije Repeated oscillations	Pojedinačni udari Onefold impacts	Višestruke oscilacije Repeated oscillations	Pojedinačni udari Onefold impacts
	Montažne stambene zgrade, trošne kamenite zgrade, povijesni spomenici Large panel residential buildings, ruinous stone buildings, historical monuments	1	3	4.
Stambene i društvene zgrade svih tipova osim montažnih, administrativni i industrijski objekti koji imaju deformacije, toplane Residential and public buildings of all types except large-panel, office and industrial buildings having deformations, heating plants	3	6	5.	6.
Administrativni i industrijski objekti, visoki dimnjaci, željeznički tuneli, transportne vodovodne zasjede, kosine Office and industrial buildings, high brick chimneys, railway tunnels, transport saturated sandy slopes	6	12	6.	7.
Jednoetažne skeletne industrijske zgrade, metalne i monolitne željezobetonske zgrade, hidrotehnički tuneli, kosine slabno vezanih stijena Single-storey skeleton-type industrial buildings, metal and blok reinforced-concrete structures, water tunnels, soil slopes	12	24	7.	8.
Rubne kosine kamenoloma, usjeka i zasjeka Marginal slopes of stone quarries and cuttings	24	48	8.	9.



Sl. 3 Odnos brzine i frekvencije oscilacija tla prema DIN 4150
A – Povijesni spomenici i kulturno blago
B – Stambene zgrade
C – Administrativni i industrijski objekti

Fig. 3 Relation between velocity and frequency of ground vibrations after DIN 4150
A – Historical monuments and cultural treasure
B – Residences
C – Office and industrial buildings

se naponi proporcionalni komponentnim brzinama oscilacija tla i prenose se kabelom u BlastMate, gdje se mjere 1024 puta u sekundi i pretvaraju u komponentne brzine pomoću ugrađenog računala, koje izračunava i ostale veličine oscilacija, te ih ujedno i obrađuje. Registrirani događaji ostaju pohranjeni u

memoriji, a po potrebi se mogu grafički prikazati pomoću plotera. Instrument pruža mogućnost četiri različita načina rada: automatsko neprekidno uključivanje, automatsko uključivanje pri pojedinačnom otpucavanju, ručno uključivanje i automatsko dugotrajno neprekidno opažanje (STRIP-CHART). Opažanja su moguća u području frekvencija od 2 do 250 Hz.

Tehnički opis izvedenih miniranja

Kamenolom dolomita hercegovac

Proizvodno miniranje izvršeno je na 2. etaži visine 30 m u jugoistočnom dijelu kamenoloma. Minsko polje se sastojalo od 18 minskih bušotina raspoređenih u 2 reda po trokutnoj shemi sa slijedećim geometrijskim veličinama:

- duljina bušotina $L = 33$ m
- linija najmanjeg otpora $w = 2,7$ m
- razmak bušotina $a = 3,3$ m
- razmak redova bušotina $b = 2,2$ m
- promjer bušotina $\Phi = 85$ mm
- nagib bušotina $\alpha = 70^\circ$

Minske bušotine punjene su eksplozivom:

- vitezit-20 $\Phi 65$ mm 10,5 kg
- amonal ojačani $\Phi 60$ mm 25,0 kg
- MES ANFO granulirani 130,0 kg
- ukupno eksplozivno punjenje
minske bušotine 165,5 kg

Pri miniranju je primijenjeno milisekundno otpucavanje bušotina pomoću KNIS-a (Kamnikovo neeksplozivno inicijalno sredstvo), a aktiviranje je izvedeno rudarskom kapslom br. 8. Zbog prekida u KNIS-u tri minske bušotine u 2. redu nisu detonirale, tako da je minske polje otpucano u 15 milisekundnih intervala, tj. u pojedinom intervalu detonirala je jedna minska bušotina. Vremenski interval milisekundnog usporenja između pojedinih bušotina iznosio je 8 ms, odnosno 9 ms, što je dovoljno da

ne dođe do međusobnog djelovanja seizmičkih valova susjednih eksplozivnih naboja (Hemphill, 1981.). Ukupno eksplozivno punjenje bilo je 2482,5 kg.

Kamenolom vapnenca Max-Stoja

Proizvodno miniranje izvršeno je na 1. etaži visine 8 m u jugoistočnom dijelu kamenoloma s ukupnim eksplozivnim punjenjem od 512 kg eksploziva amonal ojačani »v« i nitrol-1.

Minsko polje sastojalo se od 35 minskih bušotina raspoređenih u jednom glavnom (31 bušotina) i jednom pomoćnom redu (4 bušotine) sa slijedećim geometrijskim veličinama:

- duljina bušotina $L = 8,5$ m
- linija najmanjeg otpora $w = 2,4$ m
- razmak bušotina $a = 2,6$ m
- promjer bušotina $\Phi = 85$ mm
- nagib bušotina $\alpha = 90^\circ$

Primijenjeno je milisekundno otpucavanje pomoću KNIS-a, a aktiviranje je izvedeno trenutnim električnim detonatorom. Minsko polje otpucano je u 35 stupnjeva paljenja s međusobnim intervalom usporenja od 25 ms, te je u pojedinom intervalu detonirala jedna minska bušotina s maksimalnim eksplozivnim punjenjem od 19.5 kg.

Mjerenje veličina oscilacija tla

Kamenolom Hercegovac

Kamenolom dolomita Hercegovac kraj Orahovice nalazi se zapadno od starog grada Ružice na najbližoj udaljenosti od 200 m. Radi utvrđivanja intenziteta potresa i njegovog djelovanja na stari Ružica grad, koji spada u kulturnu baštinu, spomenik nulte kategorije, a glede njegove zaštite od oštećenja, izvršena su prilikom proizvodnog miniranja mjerenja veličina oscilacija tla na dva mjesta opažanja. Na zapadnoj strani starog grada na mjestu opažanja MO-1 postavljen je SPRENGNETHER VS-1100, a na istočnoj strani na mjestu opažanja MO-2 INSTANTEL Blast Mate II DS-477. Mjesta opažanja MO-1 i MO-2 bila su u približno duž pravca u odnosu na minsko polje na udaljenostima $R_1 = 308$ m i $R_2 = 343$ m.

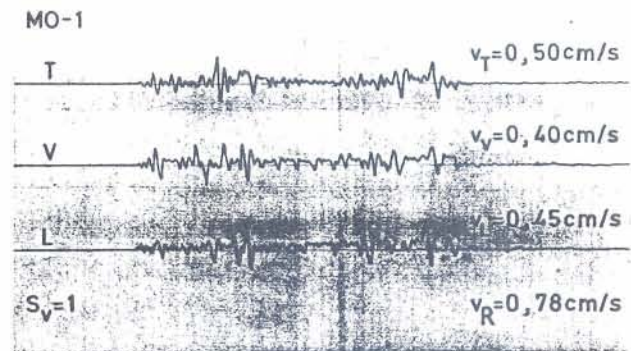
Kamenolom Max-Stoja

Kamenolom vapnenca Max-Stoja nalazi se unutar urbaniziranog područja grada Pule te je sa svih strana okružen gradskim stambenim naseljima i prometnicama. Mjerenje veličina oscilacija tla izvršeno je na jednom mjestu opažanja koje se nalazilo na tlu uz obiteljsku kuću, najbližu otkopnoj fronti u jugoistočnom dijelu kamenoloma. Mjesto opažanja, na koje je postavljen INSTANTEL Blast Mate II DS-477, bilo je udaljeno 36 metara od minskog polja.

Analiza i interpretacija rezultata mjerenja

Prikaz rezultata mjerenja

Na kamenolomu Hercegovac u mjestu opažanja MO-1 trajektorije komponentnih brzina oscilacija tla snimljene su na fotografskom papiru za direktno razvijanje. Seizmogram potresa dat je na sl. 4. Amplitude tragova na predočenoj snimci očitavaju



Sl. 4 Seizmogram potresa registriranog na mjestu opažanja MO-1 na Ružica gradu

Fig. 4 Ground motion seismogram registered on measuring point MO-1 at Ružica castle

se direktno kao komponentne brzine čestica tla v u ovisnosti o veličini pojačanja u registratoru S_V .

Na slikama 5 i 6 dati su seizmogrami potresa snimljenih u mjestu opažanja MO-2 na starom gradu Ružica, te na kamenolomu Max-Stoja. Na njima su prikazane krivulje komponentnih brzina oscilacija tla i zračnog udarnog vala, te dijagram odnosa frekvencija i brzina oscilacija (prema USBM RI8507, vidi sl. 2), kao i podaci o izmjenjenim i izračunatim veličinama oscilacija tla i zračnog udarnog vala.

Proračun rezultantne brzine oscilacija tla

Na osnovi podataka o izmjenjenim maksimalnim komponentama brzine oscilacija tla neovisno o vremenu pojavljivanja izračuna se rezultantna brzina oscilacija u mjestu opažanja po formuli:

$$v_R = \sqrt{v_T^2 + v_V^2 + v_L^2} \quad (\text{cm/s}) \quad (1)$$

gdje su:

- v_R – izračunata rezultantna brzina oscilacija tla
- v_T – maksimalna transverzalna komponenta brzine oscilacija (cm/s)
- v_V – maksimalna vertikalna komponenta brzine oscilacija (cm/s)
- v_L – maksimalna longitudinalna komponenta brzine oscilacija (cm/s)

Po navedenoj formuli izračunate su maksimalne rezultantne brzine oscilacija u mjestima opažanja MO-1 i MO-2 na kamenolomu Hercegovac, kao i u mjestu opažanja MO na kamenolomu Max-Stoja.

Dobivene vrijednosti date su u tablici 2. Iako je izračunata maksimalna rezultantna brzina oscilacija vektorski zbroj maksimalnih komponenti ona nije ujedno i prava vrijednost brzine oscilacija, tj. vektorska rezultantna komponentnih brzina u određenom trenutku kada je poremećaj najveći, ali se njome koristimo u daljnim proračunima, jer nam pruža dodatni faktor sigurnosti.

Procjena intenziteta i štetnosti potresa

Na seizmogramu potresa (sl. 4) registriranom u mjestu opažanja MO-1 na zapadnoj strani Ružica grada snimljene su krivulje komponentnih brzina, dok vremensku raspodjelu instrument nije ispisao.

Full Waveform Event

SERIAL NO. 1280 V4.30-477
 CODE C2804585.NSI
 TIME & DATE Manual at 14:02:16 Dec 11, 1992
 TRIGGER SOURCE Manual
 RECORD TIME 10 sec
 LOCATION Kamenolom Hercegovac
 CLIENT IGM Radlovac Orahovica
 USER
 NOTES

SCALED DISTANCE N/A
 PEAK VECTOR SUM 3.84 mm/sec at 4779 ms
 MICROPHONE LINEAR WEIGHTING
 PK AIR 1.50 pa at 4761 ms
 ZC FREQ 64 Hz

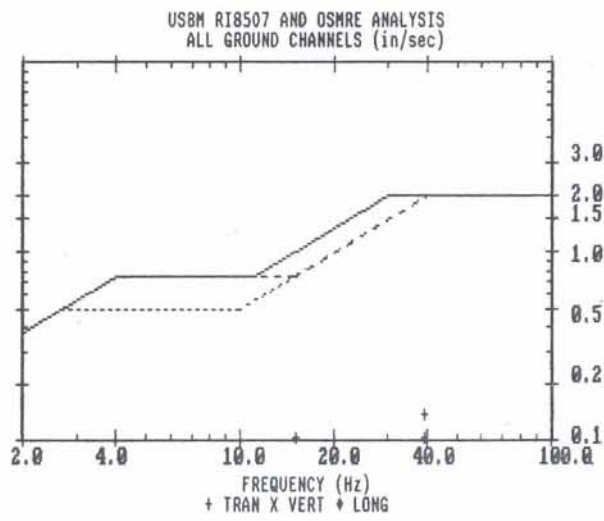
	TRAN	VERT	LONG	
PPV	3.48	1.97	2.46	mm/sec
ZC FREQ	39	34	6	Hz
FFT FREQ	N/A	N/A	N/A	Hz
TIME (REL. TO TRIG)	4779	4728	5294	ms
ACCEL	0.08	0.04	0.06	g
1/4 WAVE DISP	0.053	0.056	0.072	mm

SENSORCHECK Passed Passed Passed
 INTERNAL MIC CHANNEL TEST: Failed Freq = 0 Amp = 3

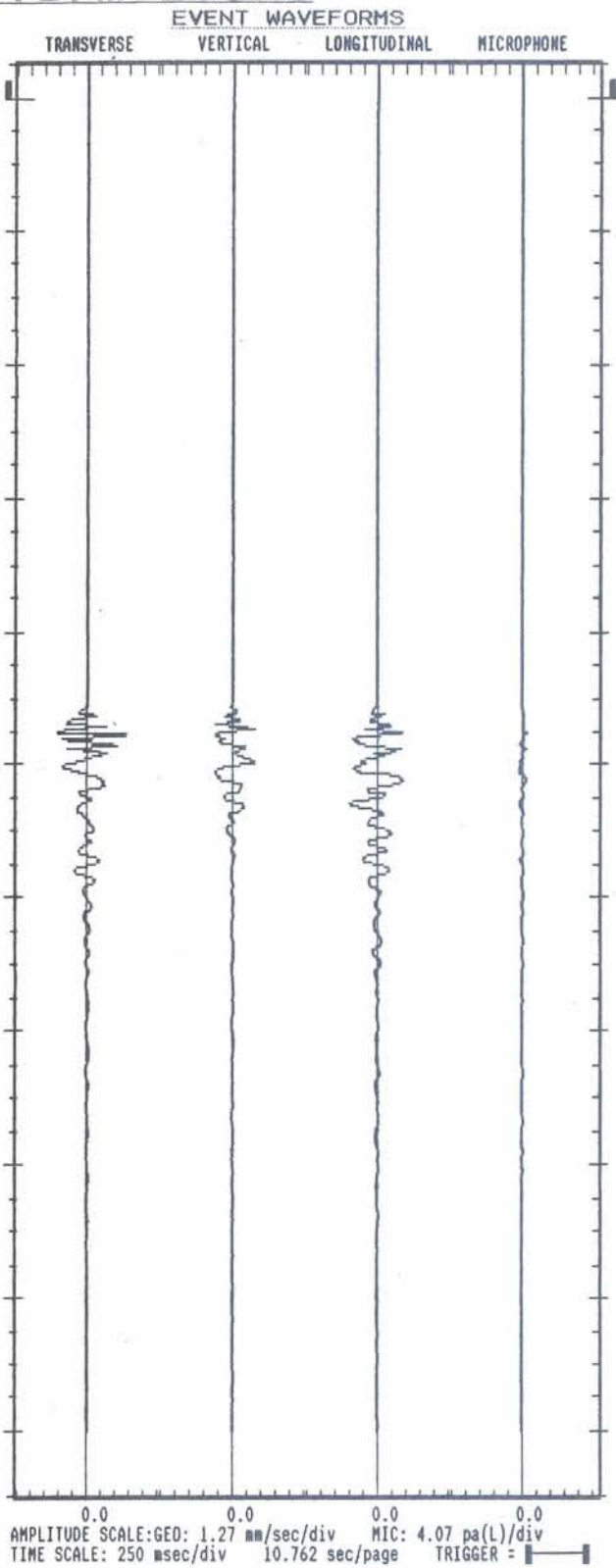
BATTERY LEVEL 6.4 volts

CALIBRATED ON May 16, 1991 by INSTANTEL INC.

(N/A) - not applicable



Copyright © InstanTEL 1990,1991



Sl. 5 Seizmogram potresa registriranog na mjestu opažanja MO-2 na Ružica gradu

Fig. 5 Ground motion seismogram registered on measuring point MO-2 at Ružica castle

Zbog toga ostale veličine nisu izračunate. Intenzitet potresa određen je samo po kriteriju ZND-a. Na osnovi podatka iz tablice 2, intenzitet potresa bio je 3. stupnja što je znatno manje od dozvoljenih vrijednosti za povijesne spomenike.

Za mjesto opažanja MO-2 na istočnoj strani Ružica grada, a prema podacima sa slike 5 i tablice 2 može se utvrditi slijedeće:
 – po kriteriju ZND-a intenzitet potresa bio je 3. stupnja što je znatno niže od maksimalno dozvoljenih vrijednosti

Full Waveform Event

SERIAL NO. 1280 V4.30-477
 CODE C28045XF.HGI
 TIME & DATE Manual at 14:41:40 Dec 23, 1992
 TRIGGER SOURCE Manual
 RECORD TIME 5 sec
 LOCATION Max Stoja
 CLIENT Tvornica cementa Pula
 USER
 NOTES

SCALED DISTANCE N/A
 PEAK VECTOR SUM 46.93 mm/sec at 2044 ms
 MICROPHONE LINEAR WEIGHTING
 PK AIR 2.50 pa at 2252 ms
 ZC FREQ 57 Hz

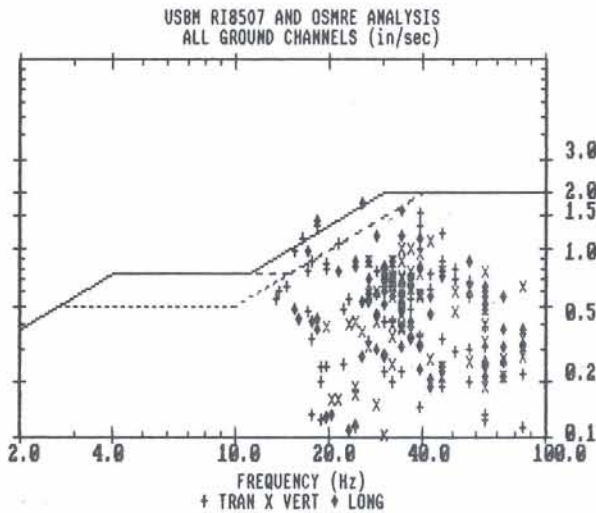
	TRAN	VERT	LONG	
PPV	40.13	28.58	44.20	mm/sec
ZC FREQ	39	43	26	Hz
FFT FREQ	N/A	N/A	N/A	Hz
TIME (REL. TO TRIG)	2548	2354	2065	ms
ACCEL	1.10	1.38	0.99	g
1/4 WAVE DISP	0.221	0.142	0.300	mm

SENSORCHECK Passed Passed Passed
 INTERNAL MIC CHANNEL TEST: Failed Freq = 0 Amp = 3

BATTERY LEVEL 6.4 volts

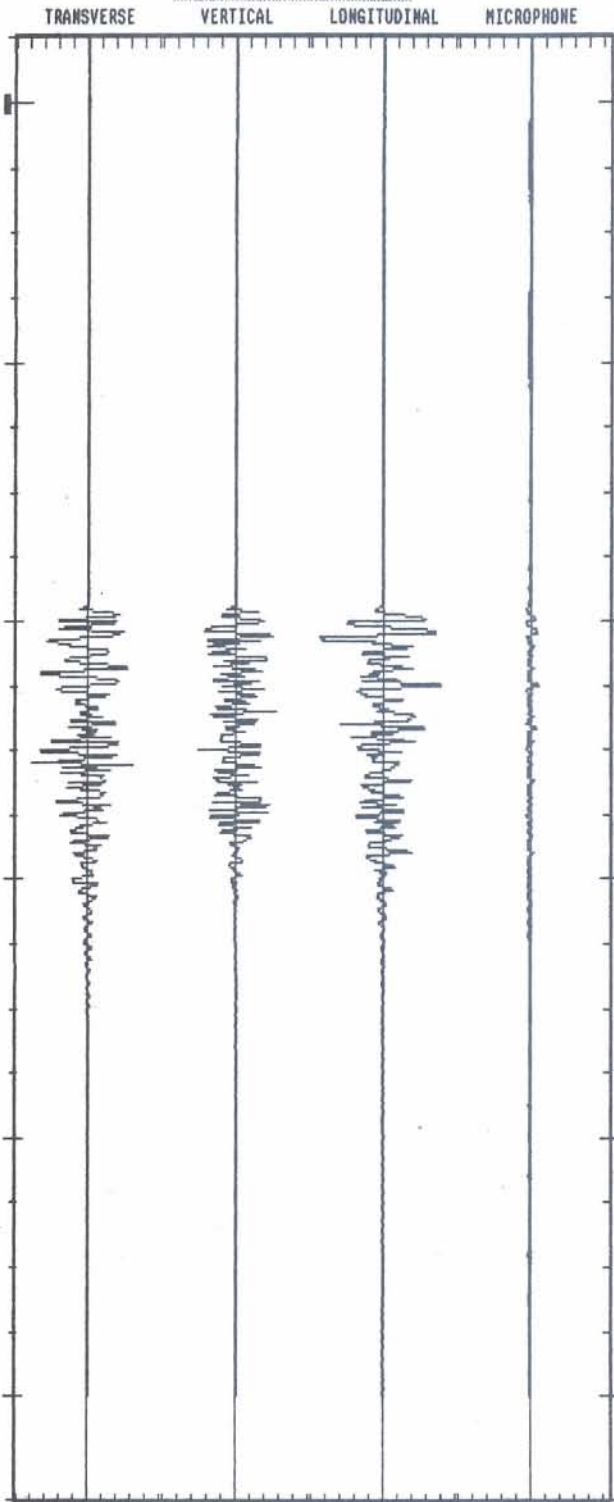
CALIBRATED ON May 16, 1991 by INSTANTEL INC.

(N/A) - not applicable



Copyright © InstanTEL 1990,1991

EVENT WAVEFORMS



AMPLITUDE SCALE: GEO: 10.16 mm/sec/div MIC: 4.07 pa(L)/div
 TIME SCALE: 250 msec/div 5.664 sec/page TRIGGER =

Sl. 6 Seizmogram potresa registriranog na kamenolomu Max-Stoja

Fig. 6 Ground motion seismogram registered on stone quarry Max-Stoja

- po kriteriju USBM RI8507 i OSMRE intenzitet potresa bio je daleko ispod dozvoljenih vrijednosti
- prema DIN 4150 intenzitet potresa bio je ispod dozvoljenih vrijednosti za povijesne spomenike i kulturno blago

- prema švedskim standardima intenzitet registriranog potresa bio je daleko ispod graničnih vrijednosti
- Neosporno se može zaključiti da potres registriran u mjestima opažanja MO-1 i MO-2 nije mogao prouzročiti štetu na starom Ružica gradu.

Tablica 2 Vrijednosti rezultantnih brzina oscilacija tla

Table 2 Values of resultant ground vibrations velocities

Kamenolom Stone quarry	Mjesto opažanja Measuring point	Komponenta brzine oscilacija tla Ground vibrations velocity component (cm/s)			Rezultantna brzina oscilacija tla Resultant ground vibrations velocity
		v_T	v_V	v_L	v_R (cm/s)
Hercegovac	MO-1	0,500	0,400	0,450	0,780
	MO-2	0,348	0,197	0,246	0,469
Max-Stoja	MO	4,013	2,858	4,420	6,619

Za potres izazvan miniranjem na kamenolomu vapnenca Max-Stoja (sl. 6) može se zaključiti slijedeće:

- po kriteriju USBM RI8507 i OSMRE intenzitet potresa je u određenim momentima dostigao granične vrijednosti ili ih je neznatno premašio
- prema ZND normama intenzitet potresa bio je 7. stupnja, dok je dozvoljena vrijednost intenziteta 5. stupanj
- prema DIN 4150 intenzitet potresa je u većem dijelu svog trajanja bio znatno iznad dozvoljenih granica
- prema švedskim normama intenzitet potresa bio je unutar dozvoljenih vrijednosti

Na osnovi datih kriterija može se zaključiti da je miniranje na kamenolomu Max-Stoja moglo prouzročiti lakša oštećenja na najbližim stambenim objektima u vidu stinih pukotina u žbuci, što naknadnim opažanjima po obilasku istih nije potvrđeno.

Utvrđivanje dozvoljene količine eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja

Međusobna zavisnost brzine oscilacija tla, količine eksplozivnog punjenja, udaljenosti mjesta opažanja od minskog polja, načina miniranja i fizikalno-mehaničkih svojstava stijene najbolje je definirana formulom Sadovskog:

$$v = k \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^n \quad (\text{cm/s}) \quad (2)$$

gdje su:

- v – rezultantna brzina oscilacija tla
- k – koeficijent načina miniranja
- Q – količina eksplozivnog punjenja koja detonira trenutno (kg)
- R – udaljenost mjesta opažanja od minskog polja (m)
- n – koeficijent prigušenja seizmičkih valova na putu širenja

$$\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} = q \text{ – svedena količina eksploziva}$$

Za svako miniranje poznate su veličine Q i R , a veličina v izračuna se prema formuli (1). Vrijednosti koeficijenata k i n egzaktno se izračunavaju sustavom jednačbi koje se mogu postaviti ako se prilikom istog miniranja brzine oscilacija tla registriraju na 2 ili više mjesta opažanja (Krsnik, 1989.). Pri tom 2 mjesta moraju biti u približno istom smjeru na različitim udaljenostima od minskog polja.

Prema formuli (2) dobivamo sustav jednačbi za 2 mjesta opažanja u istom smjeru:

$$v_{R1} = k q_1^n \quad (\text{cm/s}) \quad (3)$$

v_{R1} – rezultantna brzina oscilacija u bližem mjestu opažanja

$$v_{R2} = k q_2^n \quad (\text{cm/s}) \quad (4)$$

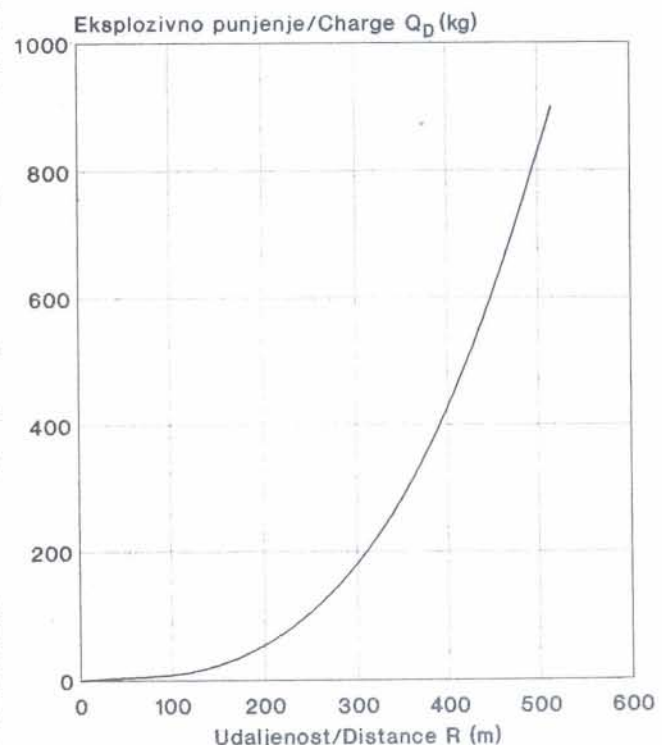
v_{R2} – rezultantna brzina oscilacija u udaljenijem mjestu opažanja

Rješenjem sustava jednačbi (3) i (4) dobije se vrijednost koeficijenta prigušenja n :

$$n = \frac{\log \frac{v_{R1}}{v_{R2}}}{\log \frac{R_2}{R_1}} \quad (5)$$

i vrijednost koeficijenta načina miniranja k :

$$k = \frac{v_{R1}}{q_1^n} = \frac{v_{R2}}{q_2^n} \quad (6)$$



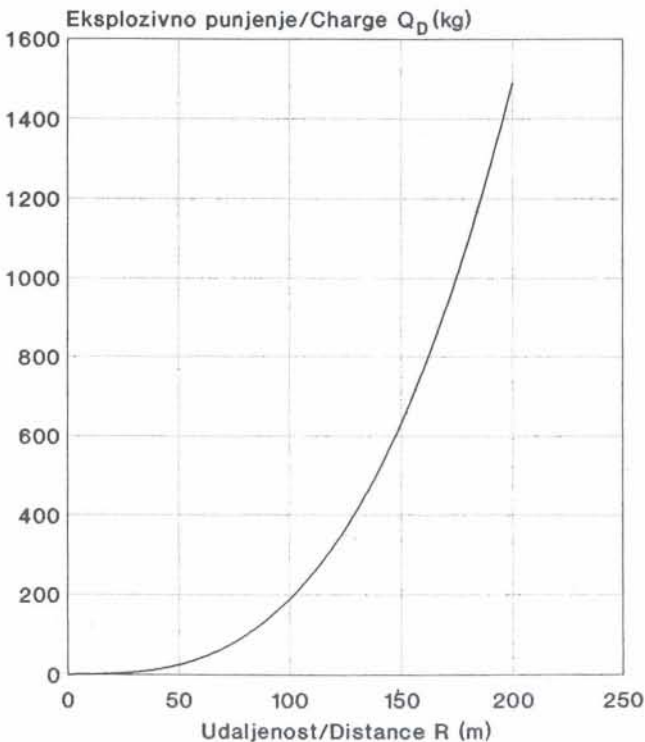
Sl. 7 Q_D : R dijagram za kamenolom Hercegovac
Fig. 7 Q_D : R diagram for stone quarry Hercegovac

Tablica 3 Proračun dozvoljenih količina eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja

Table 3 Calculation of permissible charge quantities per ignition level

Uvjeti Conditions	Kamenolom Stone quarry	
	Hercegovac	Max-Stoja
Dozvoljena brzina oscilacija tla Permissible ground vibrations velocity v_D (cm/s)	1	3
Dozvoljeni intenzitet potresa Permissible ground motion intensity (stupanj/degree)	4	5
Interval milisekundnog usporenja Millisecond retardation interval (ms)	8	25
Vrsta eksploziva Explosive type	V-20, A-oj, ANFO	A-oj V, N-1

Okolnosti Circumstances	Kamenolom Stone quarry	
	Hercegovac	Max-Stoja
Maksimalna količina eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja Maximal charge quantity per ignition level Q (kg)	165,5	19,5
Udaljenost mjesta opažanja od minskog polja Measuring point distance from blasting site R (m)	$R_1=308$ $R_2=343$	36
Rezultantna brzina oscilacija tla Resultant ground vibrations velocity v_R (cm/s)	$v_{R1}=0,78$ $v_{R2}=0,47$	6,62
Koeficijent načina miniranja Blasting method factor k	132890443	13549
Koeficijent prigušenja Damping factor n	4,71	2,94



Sl. 8 Q_D : R dijagram za kamenolom Max-Stoja
Fig. 8 Q_D : R diagram for stone quarry Max-Stoja

Tablica 3 (nastavak)

Table 3 (continued)

Rezultati Results			
Kamenolom Stone quarry			
Hercegovac		Max-Stoja	
Dozvoljena količina eksplozivnog punjenja Permissible charge quantity Q_D (kg)	Udaljenost od minskog polja Distance from blasting site R (m)	Dozvoljena količina eksplozivnog punjenja Permissible charge quantity Q_D (kg)	Udaljenost od minskog polja Distance from blasting site R (m)
6.6	100	1.5	20
13.0	125	5.0	30
22.4	150	11.9	40
35.6	175	23.3	50
53.1	200	40.3	60
75.6	225	63.9	70
103.7	250	95.4	80
138.0	275	135.9	90
179.2	300	186.4	100
227.8	325	248.0	110
284.5	350	322.0	120
350.0	375	409.4	130
424.7	400	511.4	140
509.4	425	629.0	150
604.7	450	763.3	160
711.2	475	915.6	170
829.5	500	1086.8	180
		1278.2	190
		1490.9	200

Naprijed navedene formule poslužile su za izradu kompjutorskog programa kojim je izračunata dozvoljena količina eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja za različite udaljenosti minskog polja od građevinskih objekata. Postavljeni uvjeti, okolnosti i rezultati proračuna dati su u tablici 3. Vrijednosti koeficijenata n i k za kamenolom Max-Stoja usvojene su na osnovi prijašnjih mjerenja (Krsnik et al., 1974., 1984., 1989.).

Na osnovi izračunatih vrijednosti dozvoljenih količina eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja za različite udaljenosti objekata od mjesta miniranja konstruirani su Q_D : R dijagrami za kamenolom Hercegovac (slika 7) i za kamenolom Max-Stoja (slika 8) pomoću kojih se može za svaku određenu udaljenost objekata od mjesta miniranja utvrditi dozvoljena količina eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja i obratno.

Zaključak

Intenzitet potresa izazvan miniranjem, odnosno seizmičko djelovanje miniranja na građevinske objekte ocjenjuje se indirektnim postupkom na osnovi izmjerenih veličina pomaka, brzina, ubrzanja ili frekvencija oscilacija tla u mjestima opažanja.

Iz navedene komparativne analize vidljivo je da su najstroži kriteriji uspostavljeni po DIN standardu, dok su najblaži po švedskim normama. Razlozi tome su slijedeći: švedski kriterij utvrđen je za čvrste i homogene stijene u kojima je intenzitet seizmičkih oscilacija znatno manji nego u slabim stijenama, dok se u Njemačkoj još uvijek vode rasprave o graničnim vrijednostima.

Kako u Hrvatskoj u ovom trenutku nema kriterija za ocjenu utjecaja seizmičkih efekata na objekte, kao najvjerodostojniji kriterij usvojena je skala S. V. Medvedeva, odnosno ZND norme (tablica 1) s obzirom na dugogodišnje kontinuirano vizuelno opažanje djelovanja potresa na objekte uz istovremeno instrumentalno mjerenje jačine potresa. Na osnovi tog kriterija izvršen je proračun dozvoljenih količina eksplozivnog punjenja čime je u potpunosti postignuta zaštita objekata od oštećenja.

Primljeno: 26. II. 1993.

Prihvaćeno: 27. V. 1993.

LITERATURA

- Gustafsson, R. (1981): *Blasting Technique*. Dynamit Nobel Wien, 327 pp, Vienna
- Hemphill, G. B. (1981): *Blasting Operations*. McGraw-Hill, Inc. Book Comp., 258 pp, New York
- Krsnik, J. (1974): Inženjersko-seizmička ispitivanja i analiza potresnih efekata miniranja na kamenolomu Max-Stoja. Fond dokumentacije Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Zagreb
- Krsnik, J. i Jagatić I. (1984): Seizmičko djelovanje miniranja na okolinu kamenoloma Max-Stoja. Fond dokumentacije Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Zagreb
- Krsnik, J., Ester Z. i Štimac V. (1989): Utvrđivanje dozvoljene količine eksplozivnog punjenja za miniranje na I etaži kamenoloma Max-Stoja. Fond dokumentacije Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Zagreb
- Krsnik, J. (1989): Miniranje. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 178 pp, Zagreb
- Langefors, U. & Kihlstrom B. (1963): *The Modern Technique of Rock Blasting*. Almqvist & Wiksell, 405 pp, Uppsala
- Persson, P. A., Holmberg, R., Lande, G. & Larsson, B. (1980): *Underground Blasting in a City*, Svefo Report DS: 8, 199-206, Stockholm
- Siskind, D. E., Stagg, M. S., Kopp, J. W. & Dowding, C. H. (1980): *Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting*. U. S. Bureau of Mines Report of Investigations 8507, 42 pp. Washington
- West-Germany Vornorm DIN 4150, Teil 3. (1983)

Reduction of Ground Motions Intensity Caused by Blasting on Stone Quarries »Hercegovac« and »Max-Stoja«

M. Petrov

In the dolomite quarry »Hercegovac« and the limestone quarry »Max-Stoja« the raw material is excavated by bench deep-hole blasting, consequently seismic waves which result in mechanical ground motions are generated. Dynamical strains produced in particular construction parts of structures from ground vibrations energy transfer to their foundations can exceed at a certain ground motion intensity the strength limit of material from which the structures are built due to that the durable deformations on the structures can be produced.

Ground motion intensity caused by blasting, i. e., seismic effect of blasting on the structures is estimated by indirect procedure on the basis of measured ground vibrations magnitudes at measuring points. For this purpose measurings of ground

vibrations magnitudes generated on the occasion of productional blastings in mentioned stone quarries were carried out.

The interpretation was done by measuring results analyses under world damage criteria. S. V. Medvedev's scale, i. e., Russian norms (table 1) were adopted as the most reliable criterion and the calculation of permissible charge quantities per ignition level for different blasting sites distances from structures was performed on that basis.

In this way, along with determined the most reasonable retardation interval at milisecond firing and determined explosive type, reduction of ground motion intensity was realized and structures protection from damage was reached in full.