

SMANJENJE SEIZMIČKIH EFEKATA MINIRANJA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA RUDNIKA UGLJENA BANOVIĆI

Josip KRSNIK, Zvonimir ESTER i Vladimir ŠTIMAC

*Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Institut za rudarstvo, geotehniku i naftu, iPerottijeva 6, YU — 41000 Zagreb*

Ključne riječi: Površinski kop ugljena, Miniranje, Seizmički efekti.

Key-words: Coal strip pit, Blasting, Seismic effects,

Miniranjem jalovinske pokrivke nastaju potresi jačeg intenziteta. Odabrani su najpovoljniji tip eksploziva i optimalni parametri miniranja. Mali dio energije miniranja se pretvara u kinetičku energiju seizmičkih valova manjeg intenziteta.

The ground motions of higher intensities are generated by deep-hole blasting of overburden. The most appropriate type of explosive as well as the optimum parameters of blasting was chosen. The minor part of the blasting energy is being transformed into the kinetic energy of seismic waves of smaller intensity.

Uvod

Na površinskim kopovima ugljena Turija i Grivice jalovinska pokrivka se sastoji od glinovitih i laporovitih naslaga koje se otkopavaju bagerima uz predhodno rastresanje miniranjem s dubokim minskim bušotinama. Pri minerskom rastresanju znatan dio oslobođene energije eksplozivnog punjenja pretvara se u kinetičku energiju seizmičkih valova koji se od mjesta detonacije šire na sve strane. Kada seizmički valovi dopru do neke zgrade izazivaju u njoj određena dinamička naprezanja. Ako ta naprezanja pređu graničnu čvrstoću materijala u zgradi nastaju trajne deformacije.

Radi smanjenja intenziteta potresa uvedeno je miniranje s potpunim odlomom jalovinske pokrivke kod kojeg se najveći dio oslobođene energije eksplozivnog punjenja potroši na odlom i drobljenje stijene, a manji dio oslobođene energije se pretvara u kinetičku energiju seizmičkih valova, te je intenzitet potresa manji.

Navedene pretpostavke su potvrđene rezultatima mjerenja brzina oscilacija tla pri minerskom rastresanju i pri miniranju s potpunim odlomom stijene. Intenziteti potresa izazvani miniranjem s potpunim odlomom stijene bili su znatno manji te se na jednakim udaljenostima od stambenih zgrada mogu otpucavati veće količine eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja.

Tehnički opis miniranja

Minersko rastresanje jalovinske pokrivke

Predhodno rastresanje jalovinske otkrivke izvršeno je miniranjem s dubokim minskim bušotinama promjera 115 mm. Miniranja su izvršena na etažama površinskih kopova ugljena Grivice i Turija. Minska polja su se sastojala od više redova minskih bušotina. Razmak redova bio je 4 m, a razmak minskih bušotina u redu također 4 m. Radi smanjenja intenziteta potresa primjenjeno je milisekundno otpucavanje minskih polja s vremenskim intervalom usporenja od 40 milisekundi. Podaci o minskim poljima navedeni su u tablici 1.

Miniranje s potpunim odlomom jalovinske pokrivke

Najpovoljniji eksploziv i optimalne veličine za miniranje jalovinske pokrivke utvrđene su metodom pokusnih miniranja s linearnim povećanjem izbojnice. Tom metodom su utvrđene slijedeće veličine:

- najpovoljnija vrsta eksploziva nitrol-1
- optimalna linija najmanjeg otpora . . $W_0 = 4,0$ m
- razmak minskih bušotina $a = 6$ m

S tim veličinama otpucana su na etažama površinskih kopova ugljena Grivice i Turija 3 minska polja s više redova dubokih minskih

Tablica (Table) 1
Podaci o minskim poljima MP-1 do MP-6
The data about the blast — fields BF-1 to BF-6

Površinski kop	Oznaka minskog polja	Broj redova minskih bušotina	Ukupni broj minskih bušotina	Eksplozivno punjenje (kg)	Broj stupnjeva paljenja	Maksimalna količina po stupnju paljenja (kg)
<i>Open pit</i>	<i>Blastfields mark</i>	<i>Number of blastholes rows</i>	<i>Total number of blastholes</i>	<i>Charge (kg)</i>	<i>Number of initiation intervals</i>	<i>Maximum charge quantity per initiation interval (kg)</i>
Grivice	MP-1 BF-1	4	39	2.022	14	156,0
	MP-2 BF-2	8	54	1.806	15	154,0
	MP-3 BF-3	4	38	1.938	13	153,0
Turiija	MP-4 BF-4	5	53	2.380	18	142,5
	MP-5 BF-5	3	44	2.210	15	157,5
	MP-6 BF-6	3	45	2.346	15	162,0

Tablica (Table) 2
Podaci o minskim poljima MP-1' do MP-3'
The data about the blast — fields BF-1' to BF-3'

Površinski kop	Oznaka minskog polja	Broj redova minskih bušotina	Ukupni broj minskih bušotina	Eksplozivno punjenje (kg)	Broj stupnjeva paljenja	Maksimalna količina po stupnju paljenja (kg)
<i>Open pit</i>	<i>Blastfields mark</i>	<i>Number of blastholes rows</i>	<i>Total number of blastholes</i>	<i>Charge (kg)</i>	<i>Number of initiation intervals</i>	<i>Maximum charge quantity per initiation interval (kg)</i>
Grivice	MP-1' BF-1'	4	23	1.432,5	8	205,5
	MP-2' BF-2'	4	27	1.747,5	10	202,5
Turiija	MP-3' BF-3'	3	47	3.775,5	18	207,0

bušotina. Radi smanjenja potresa, također je primjenjeno milisekundno otpucavanje minskih polja s intervalom usporenja od 40 ms. Podaci o minskim poljima navedeni su u tablici 2.

Mjerenje brzina oscilacija tla

Brzine oscilacija tla izazvane miniranjem na etažama površinskih kopova Grivice i Turiija izmjerene su inženjerskim seizmografima VS-1100 i VS-1200 od američke firme W. F. Sprengnether Instruments Co. S tim instrumentima registrirane su tri međusobno okomite komponente brzina oscilacija tla i to vertikalna i dvije horizontalne.

Mjesta opažanja su se nalazila kod najbližih stambenih zgrada u obližnjim selima.

Mjerenje brzine oscilacija prilikom minerskog rastresanja

Za minersko rastresanje jalovinske pokrivke otpucano je 6 minskih polja i to:

- na površinskom kopu Grivice — MP-1, MP-2 i MP-3
- na površinskom kopu Turiija — MP-4, MP-5 i MP-6

Prilikom miniranja na površinskom kopu Grivice izmjerene su brzine oscilacija tla na 8 mjesta, a prilikom miniranja na površinskom kopu Turiija na 9 mjesta.

Na osnovi izmjerenih komponentnih brzina oscilacija izračunate su maksimalne rezultan-

Tablica 3: Vrijednosti rezultantnih brzina oscilacija u mjestima opažanja prilikom miniranja MP-1 do MP-6

Table 3: The values of the resultant oscillation velocities in the measuring points during the blasting of BF-1 to BF-6

Površinski kop <i>Open pit</i>	Oznaka minskog polja <i>Blastfields mark</i>	Mjesto opažanja <i>Measuring point</i>	Udaljenost od minskog polja (m) <i>Distance from blastfields (m)</i>	Rezultantna brzina oscilacije (cm/s) <i>Resultant oscillation velocity (cm/s)</i>	Intenzitet potresa (stupanj) <i>Ground motion intensity (degree)</i>
Grivice	MP-1 BF-1	MO-1	1.047	0,11	I.
		MO-2	607	0,21	II.
		MO-3	683	0,17	I.
		MO-4	626	0,29	II.
	MP-2 BF-2	MO-1	1.142	0,11	I.
		MO-2	546	1,18	IV.
		MO-3	635	0,98	IV.
		MO-4	532	0,60	III.
MP-3 BF-3	MO-5	343	1,02	IV.	
	MO-6	313	1,84	V.	
	MO-7	359	1,60	V.	
	MO-8	1.813	0,21	II.	
Turiija	MP-4 BF-4	MO-9	799	0,03	I.
		MO-10	1.004	0,02	I.
		MO-11	1.788	0,12	I.
		MO-12	1.090	0,07	I.
	MP-5 BF-5	MO-13	1.193	0,06	I.
		MO-9	945	0,08	I.
		MO-10	1.052	0,02	I.
		MO-11	1.677	0,34	II.
MP-6 BF-6	MO-12	922	0,37	II.	
	MO-13	1.022	0,32	II.	
	MO-14	1.000	0,18	I.	
	MO-15	1.104	0,16	I.	
	MP-6 BF-6	MO-16	1.088	0,07	I.
		MO-17	420	0,18	I.

Tablica 4: Vrijednosti rezultantnih brzina oscilacija u mjestima opažanja prilikom miniranja PM-1' do MP-3'

Table 4: The values of the resultant oscillation velocities in the measuring points during the blasting of BF-1' to BF-3'

Površinski kop <i>Open pit</i>	Oznaka minskog polja <i>Blastfields mark</i>	Mjesto opažanja <i>Measuring point</i>	Udaljenost od minskog polja (m) <i>Distance from blastfields (m)</i>	Rezultantna brzina oscilacije (cm/s) <i>Resultant oscillation velocity (cm/s)</i>	Intenzitet potresa (stupanj) <i>Ground motion intensity (degree)</i>
Grivice	MP-1' BF-1'	MO-1	400	0,43	III.
		MO-2	305	1,13	IV.
		MO-3	410	0,79	III.
	MP-2' BF-2'	MO-4	510	1,23	IV.
		MO-5	615	0,93	IV.
		MO-6	430	0,79	III.
		MO-7	375	1,64	V.
Turiija	MP-3' BF-3'	MO-8	849	0,23	II.
		MO-9	859	0,13	I.
		MO-10	1.652	0,13	I.
		MO-11	1.167	0,15	I.
		MO-12	1.288	0,13	I.

tne brzine oscilacija i intenziteti potresa u mjestima opažanja, a dobivene vrijednosti su navedene u tablici 3.

Mjerenje brzina oscilacija prilikom miniranja s potpunim odlomom

Na površinskim kopovima Grivice i Turija izvršena su 3 miniranja s potpunim odlomom jalovinske pokrivke i to:

- na P.K. Grivice — minska polja MP-1' i MP-2'
- na P.K. Turija — minsko polje MP-3';

Prilikom otpucavanja MP-1' i MP-2' izmjerene su brzine oscilacija tla na 7 mjesta, a prilikom otpucavanja MP-3' na 5 mjesta opažanja. Vrijednosti maksimalnih rezultatnih brzina oscilacija i intenziteta potresa u mjestima opažanja date su u tablici 4.

Analiza i interpretacija rezultata mjerenja

Višegodišnjim opažanjima utvrđena je zavisnost između brzine oscilacije tla, količine eksplozivnog punjenja i udaljenosti mjesta opažanja od minskog polja. Ta zavisnost je definirana formulom Sadovskog:

$$v = k \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^n$$

— brzina oscilacije tla, (cm/s),

gdje su:

- k — koeficijent načina miniranja,
- n — koeficijent prigušivanja seizmičkih valova na putu širenja,
- Q — količina eksplozivnog punjenja koja detonira trenutno, (kg),
- R — udaljenost mjesta opažanja od minskog polja, (m).

Izraz $\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} = \varrho$ — predstavlja svedenu količinu eksploziva.

Pri svakom miniranju poznate su veličine Q i R, a iz podataka mjerenja komponentnih brzina oscilacija izračunaju se rezultatne brzine oscilacija tla u mjestima opažanja po formuli:

$$v_R = \sqrt{v_T^2 + v_V^2 + v_L^2}$$

— rezultatna brzina oscilacije, (cm/s),

gdje su:

- v_T — horizontalna komponenta brzine oscilacije tla, (cm/s),
- v_V — vertikalna komponenta brzine oscilacije tla, (cm/s),

v_L — longitudinalna komponenta brzine oscilacije tla, (cm/s).

Vrijednosti koeficijenata k i n egzaktno se računaju sustavom jednadžbi koje se mogu postaviti ako se prilikom istog miniranja brzine oscilacija tla mjere na 2 ili više mjesta. Pri tom 2 mjesta opažanja moraju biti u približno istom smjeru, a u ostalim smjerovima dovoljno je mjeriti u jednom mjestu opažanja. Sustav jednadžbi za 2 mjesta opažanja u istom smjeru:

$$v_{R1} = k_1 \varrho_1^n \text{ — rezultatna brzina oscilacije u bližem mjestu opažanja, (MO-1),}$$

$$v_{R2} = k_1 \varrho_2^n \text{ — rezultatna brzina oscilacije u daljem mjestu opažanja, (MO-2).}$$

Dijeljenjem i logaritmiranjem jednadžbi dobije se:

$$n_1 = \frac{\log \frac{v_{R1}}{v_{R2}}}{\log \frac{R_2}{R_1}} \text{ odnosno } k_1 = \frac{v_{R1}}{\varrho_1^n} = \frac{v_{R2}}{\varrho_2^n}$$

Koeficijenti prigušenja seizmičkih valova u ostalim smjerovima računaju se po formuli:

$$n_x = \frac{\log v_{Rx} - \log k_1}{\log \varrho_x} \text{ — koeficijent prigušenja u smjeru x.}$$

Proračun dozvoljenih količina eksplozivnog punjenja

Naprijed navedene formule poslužile su za izradu kompjutorskih programa po kojima su izračunate dozvoljene količine eksplozivnog punjenja i brzine oscilacija tla na određenim udaljenostima od minskog polja. Računanje je provedeno na kompjutoru Commodore 64. Vrijednosti dozvoljenih količina eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja za miniranje s potpunim odlomom i minersko rastresanje na površinskom kopu Grivice navedene su u tablici 5.

U pojedinim smjerovima dobivene su različite vrijednosti dozvoljenih količina eksplozivnog punjenja zbog nejednakog prigušivanja seizmičkih valova na putu širenja. Prigušivanje seizmičkih valova ovisi o koeficijentu prigušivanja »n« koji je egzaktno utvrđen na osnovi rezultata mjerenja brzina oscilacija tla u određenim smjerovima.

Iz tablice 5 je vidljivo da se pri miniranju s potpunim odlomom mogu otpucavati veće količine eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja.

Za površinski kop Turija također su izračunate dozvoljene količine eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja, a dobivene vrijednosti su predočene u tablici 6.

Tablica 5: Dozvoljene količine eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja na P.K. Grivice

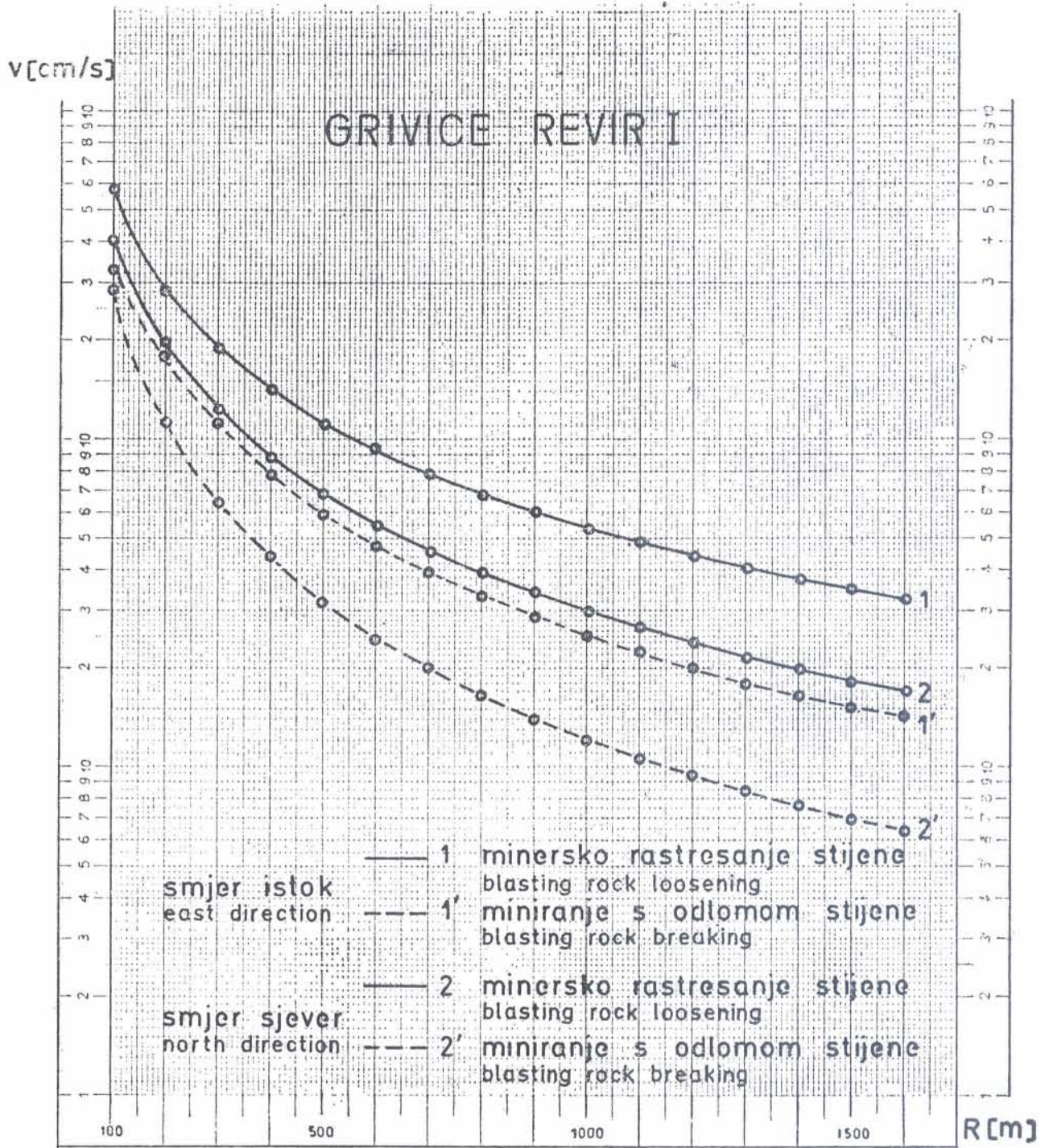
Table 5: The charge quantities allowed for initiation interval on the open pit Grivice

Udaljenost od minskog polja (m) <i>Distance from blastfields (m)</i>	Smjer jugoistok <i>South-east direction</i>		Smjer jug <i>South direction</i>	
	Miniranje s potpunim odlomom (kg) <i>Blasting breaking (kg)</i>	Minersko rastresanje (kg) <i>Blasting loosening (kg)</i>	Miniranje s potpunim odlomom (kg) <i>Blasting breaking (kg)</i>	Minersko rastresanje (kg) <i>Blasting loosening (kg)</i>
	80	0,52	0,32	1,38
100	1,01	0,63	2,69	1,58
120	1,74	1,09	4,65	3,09
140	2,76	1,73	7,39	5,35
160	4,12	2,58	11,04	8,49
180	5,87	3,68	15,72	12,68
200	8,06	5,05	21,56	18,05
220	10,72	6,72	28,70	24,76
240	13,92	8,73	37,26	32,95
260	17,70	11,10	47,38	42,79
	Smjer sjever <i>North direction</i>		Smjer istok <i>East direction</i>	
200	165,01	15,34	42,79	6,63
220	219,63	20,49	56,96	8,83
240	285,14	26,61	73,95	11,46
260	362,53	33,83	94,02	14,57
280	452,79	42,25	117,43	18,20
300	556,91	51,97	144,43	22,38

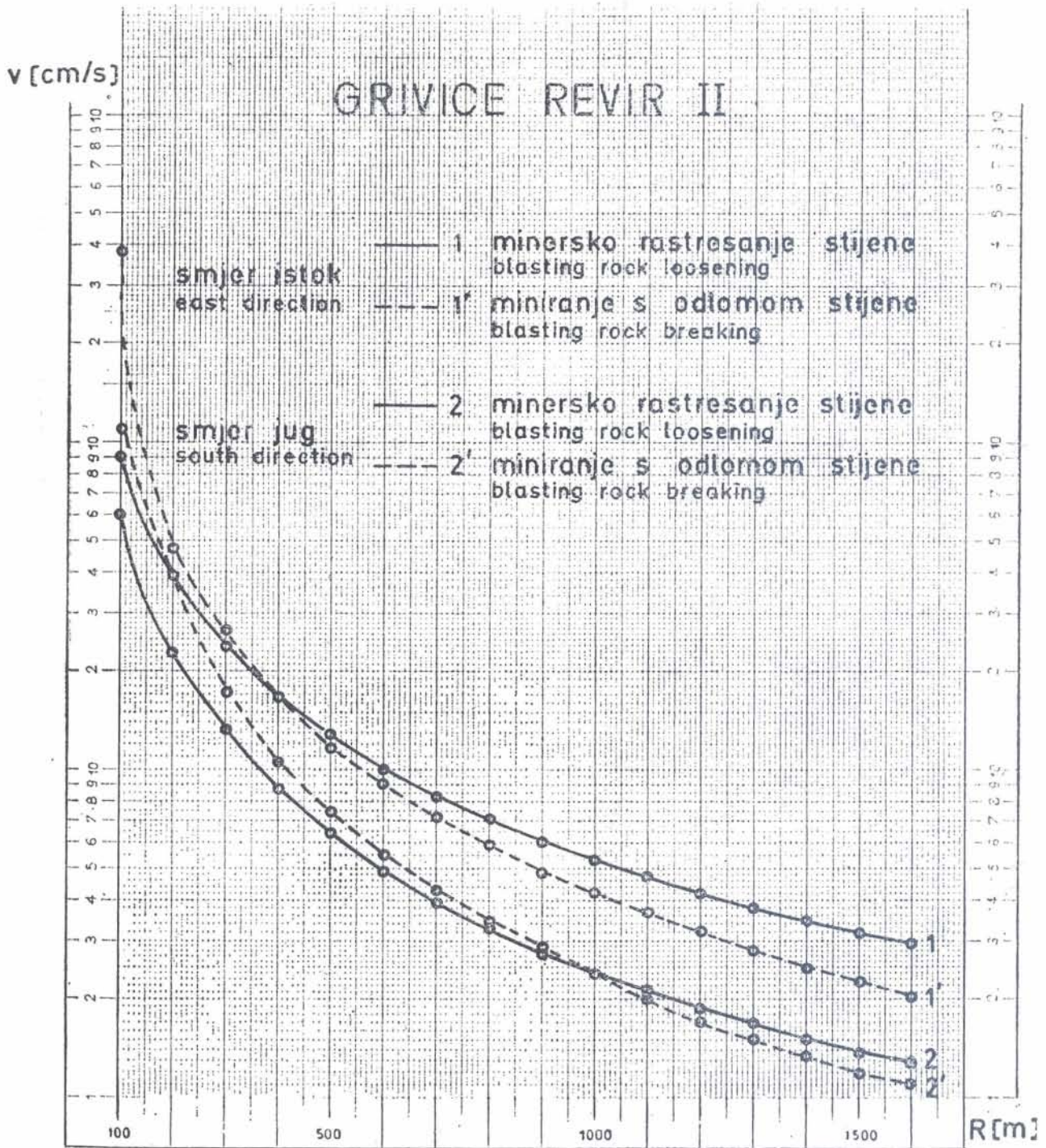
Tablica 6: Dozvoljene količine eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja na P.K. Turija

Table 6: The charge quantities allowed for initiation interval on the open pit Turija

Udaljenost od minskog polja (m) <i>Distance from blastfields (m)</i>	Smjer istok <i>East direction</i>		Smjer jug <i>South direction</i>	
	Miniranje s potpunim odlomom (kg) <i>Blasting breaking (kg)</i>	Minersko rastresanje (kg) <i>Blasting loosening (kg)</i>	Miniranje s potpunim odlomom (kg) <i>Blasting breaking (kg)</i>	Minersko rastresanje (kg) <i>Blasting loosening (kg)</i>
	60	1,07	0,09	1,85
80	2,54	0,22	4,39	0,87
100	4,96	0,43	8,59	1,71
120	8,58	0,75	14,85	2,96
140	13,62	1,18	23,58	4,70
160	20,34	1,77	35,19	7,02
180	28,96	2,52	50,11	9,99
200	39,73	3,46	68,94	13,71
220	52,88	4,60	91,50	18,25
240	68,65	5,98	118,79	23,69
	Smjer sjever <i>North direction</i>		Smjer sjeveroistok <i>North-east direction</i>	
80	4,65	10,60	10,74	26,17
100	9,01	20,68	20,97	51,26
120	15,70	35,75	36,25	88,34
140	24,94	56,77	57,55	140,28
160	37,22	84,70	85,92	209,40
180	52,99	120,66	122,33	298,15
200	72,70	165,51	167,81	408,98
220	96,75	220,30	223,36	544,36
240	125,60	286,01	289,97	706,73

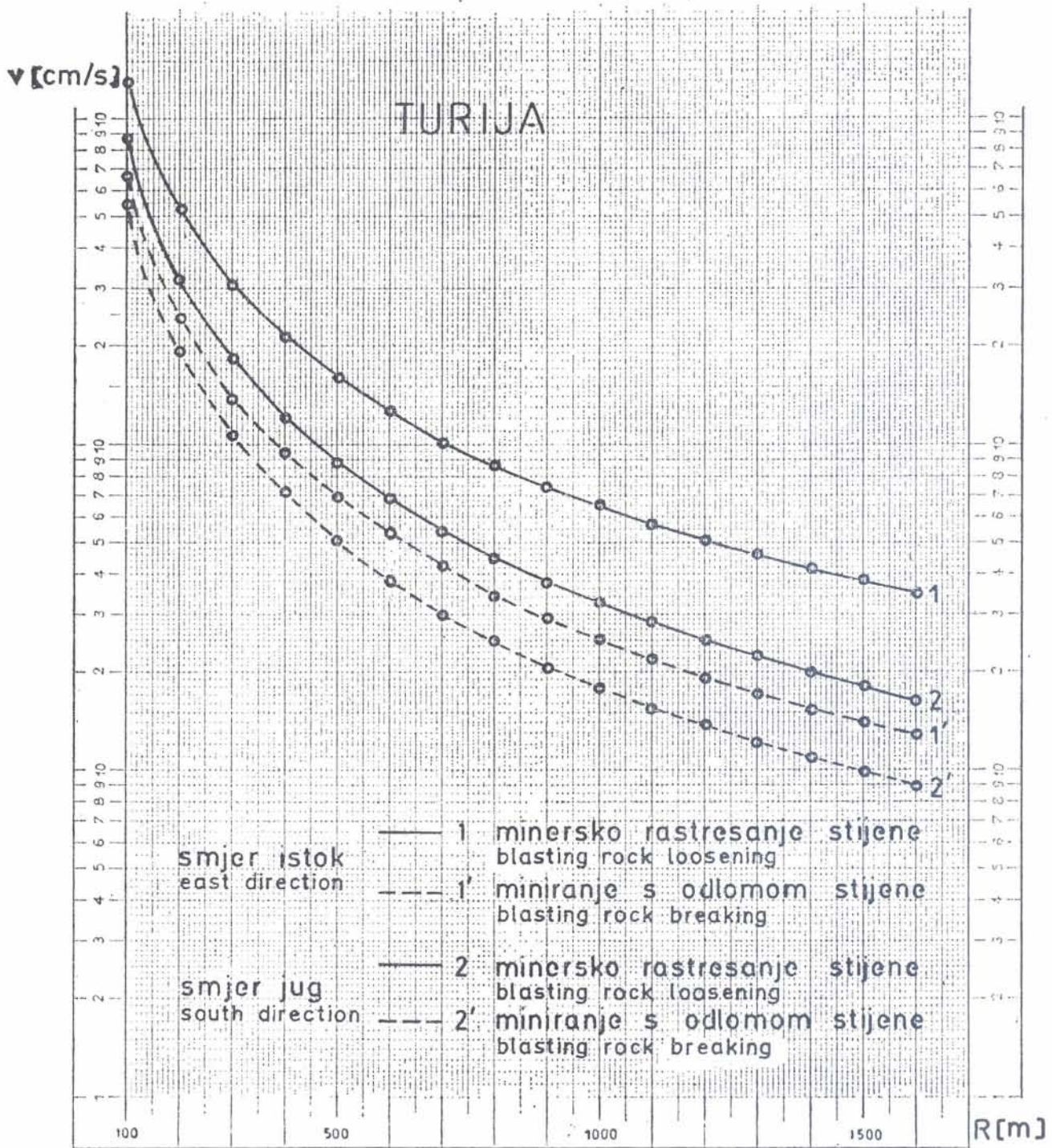


Sl. 1 Krivulje zavisnosti brzine oscilacije od radijusa udaljenosti u smjeru istoka i sjevera
 Fig. 1 Oscillation velocity curves depending on the radius of distance in the direction of the east and of the nord



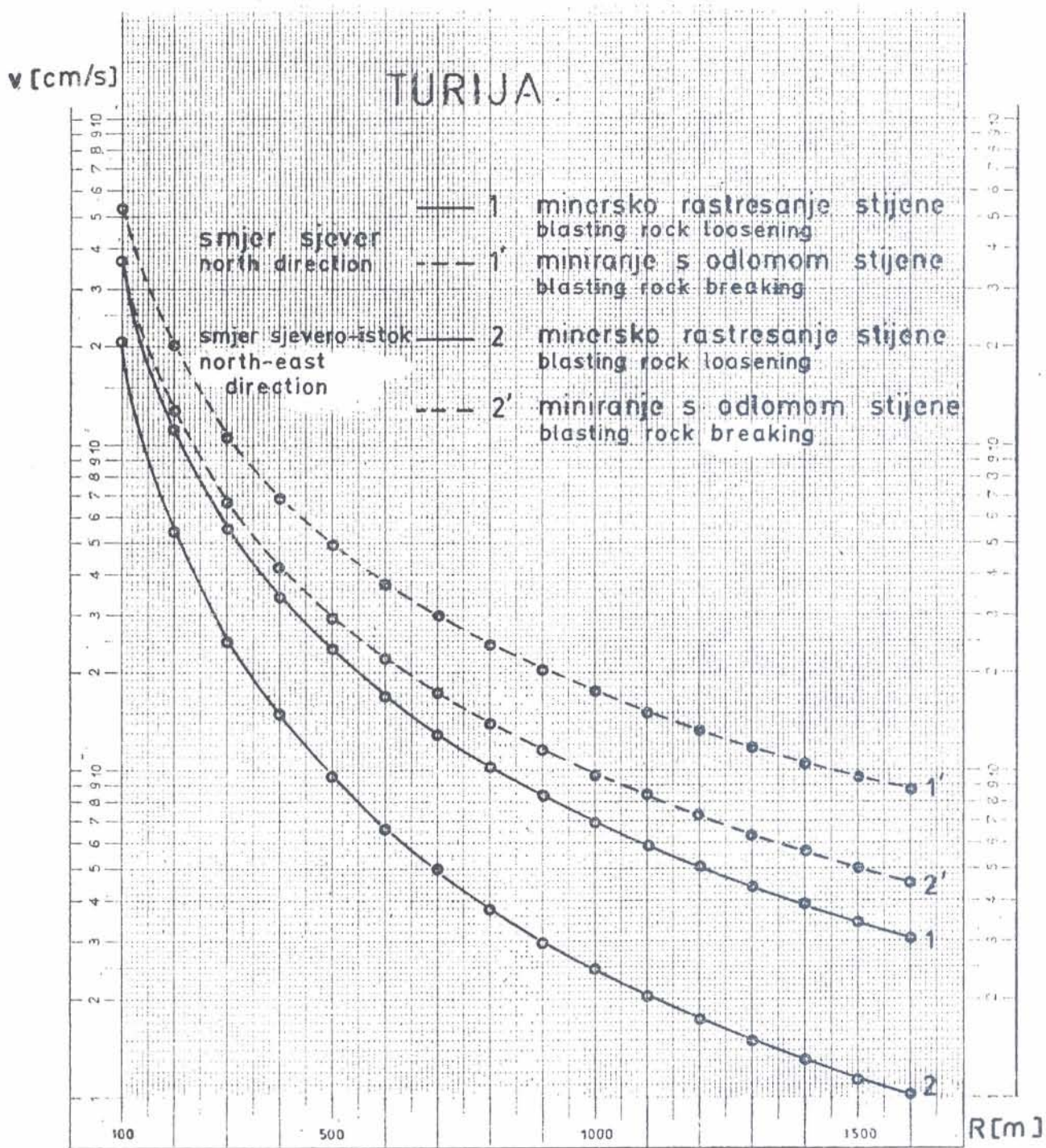
Sl. 2 Krivulje zavisnosti brzina oscilacija od radijusa udaljenosti u smjeru istoka i juga

Fig. 2 Oscillation velocity curves depending on the radius of distance in the direction of the east and of the south



Sl. 3 Krivulje zavisnosti brzina oscilacija od radijusa udaljenosti u smjeru istoka i juga

Fig. 3 Oscillation velocity curves depending on the radius of distance in the direction of the east and of the south



Sl. 4 Krivulje zavisnosti brzina oscilacija od radijusa udaljenosti u smjeru sjevera i sjeveroistoka

Fig. 4 Oscillation velocity curves depending on the radius of distance in the direction of the north and of the north-east

Pri miniranju s potpunim odlomom stijene dozvoljene su veće količine eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja u smjerovima jug i istok, dok su prema sjeveru i sjeveroistoku tj. u smjeru odloma stijene dozvoljene manje količine eksplozivnog punjenja po stupnju paljenja. To se može pripisati usmjerenom djelovanju i većoj koncentraciji oslobođene energije eksplozivnog punjenja u pravcu linije najmanjeg otpora.

Proračun brzina oscilacija tla

Vrijednosti brzina oscilacija tla za određene udaljenosti od minskog polja izračunate su na temelju maksimalnih količina po stupnju paljenja:

- Grivice — Q = 205,5 kg za miniranje s odlomom stijene
Q = 156,0 kg za minersko rastresanje stijene
- Turija — Q = 270,0 kg za miniranje s odlomom stijene
Q = 162,0 kg za minersko rastresanje stijene

Primljeno: 9. I. 1989.

Prihvaćeno: 6. III. 1989.

Na osnovi dobivenih vrijednosti konstruirani su dijagrami v:R za površinske kopove ugljena Grivice i Turija.

Na slikama 1 i 2 prikazane su krivulje brzina oscilacija tla u zavisnosti od radijusa udaljenosti za površinski kop Grivice, a na slikama 3 i 4 za površinski kop Turija.

Krivulje pokazuju manje vrijednosti brzina oscilacija tla pri miniranju s odlomom stijene osim u smjeru odloma stijene na slici 4.

Zaključak

Uvođenjem miniranja s potpunim odlomom stijene znatno su povećani učinci miniranja na površinskim kopovima rudnika Banovići.

Najpovoljnija vrsta eksploziva i optimalne veličine miniranja utvrđene su metodom pokusnih miniranja s linearnim povećanjem izbojnice.

Miniranjem s najpovoljnijim eksplozivom nitrol-1 i optimalnim veličinama izazvani su potresi manjeg intenziteta u svim smjerovima osim u smjeru odloma stijene.

Prema tomu, pri miniranju s odlomom stijene najveći dio oslobođene energije eksplozivnog punjenja djeluje u pravcu linije najmanjeg otpora i u tom smjeru izaziva potres najvećeg intenziteta.

LITERATURA

- Gustafsson, R. (1973): Swedish blasting technique, Nora Boktryckeri AB, Gothenburg.
- Krsnik, J., Ester, Z., Jagatić, I., Kožinec, S., Štimac, V. i Krsnik, D. (1986): Seizmičko djelovanje miniranja na stambene zgrade u blizini površinskih kopova Grivice i Turija. Fond dokumentacije RGN fakulteta, Zagreb.
- Krsnik, J., Ester, Z., Štimac, V., Jagatić, I. i Krsnik, D. (1988): Seizmički efekti pri miniranju pokrivke na površinskim kopovima Grivice i Turija. Fond dokumentacije RGN fakulteta, Zagreb.
- Krsnik, J., Golijanin, G. i Kožinec, S. (1988): Utvrđivanje najpovoljnijeg eksploziva i optimalnih veličina za miniranje na površinskim kopovima Grivice i Turija. Fond dokumentacije RGN fakulteta, Zagreb.
- Langefors, U. i Kihlström, B. (1967): The modern technique of rock blasting. Almquist u. Wiksell, Stockholm.
- Thum, W. (1978): Sprengtechnik im Steinbruch und Baubetrieb. Bauverlag GMBH, Wiesbaden und Berlin.

Reduction of Seismic Effects from Blasting in Open Pit Coal-Mines Banovići

J. Krsnik, Z. Ester and V. Štimac

At the open pit coal-mines the overburden is dredged being previously loosened by deep-hole blasting. During blasting process the ground motions are generated with rather high intensities. In order to reduce the intensity of motions a blasting with complete breakage of overburden was used. For this purpose the most appropriate type of explosive was

chosen as well as the optimum parameters required for deep-hole blasting.

At blasting the major part of the released energy of the explosive charge is used for breaking and crushing the rock and the minor part of the energy is being transformed into the kinetic energy of seismic with small intensity.