

Analiza delovanja vazdušnih udara nastalih kao posledica miniranja na krečnjaku

Suzana Lutovac, Miloš Gligorić, Jelena Majstorović



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Analiza delovanja vazdušnih udara nastalih kao posledica miniranja na krečnjaku | Suzana Lutovac, Miloš Gligorić, Jelena Majstorović | XVI međunarodna rudarska konferencija OMC 2024 | 2024 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0009291>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs



ANALIZA DELOVANJA VAZDUŠNIH UDARA NASTALIH KAO POSLEDICA MINIRANJA NA KREČNJAKU

ANALYSIS OF AIRBLAST INDUCED BY BLASTING ACTIVITIES ON LIMESTONE

Lutovac S.¹, Gligorić M.², Majstorović J.³

Apstrakt

Eksplzivni materijali, koji se koriste u rudarstvu, geologiji, građevinarstvu i drugim delatnostima, svojim dejstvom stvaraju određene negativne efekte koji se manifestuju u vidu potresa, razbacivanja komada stene, vazdušnih udara, pojave gasova i dr. Osnovni uslov pri korišćenju eksplozivnih sredstava je da pomenuti negativni efekti ne utiču nepovoljno na ljude i da ne oštećuju stambene ili industrijske objekte koji se mogu naći u polju njihovog dejstva. U ovom radu objašnjena je fizička priroda vazdušnih udara koji nastaju kao posledica miniranja. U vezi sa tim data je jednačina promene jačine zvuka za određeni postupak miniranja, kao i ocena vazdušnog dejstva pri izvođenju miniranja. Takođe je prikazan način zaštite od zvučnih efekata i mere za smanjenje vazdušnih udara. U cilju sagledavanja vazdušnog dejstva miniranja i njegovog uticaja na građevinske objekte u okolini, izmerene su vrednosti pritiska vazdušnog udara za miniranja koja su izvedena na površinskom kopu krečnjaka Suva Vrela - Kosjerić, u zapadnoj Srbiji.

Ključne reči: miniranje, vazdušno dejstvo, zvučni efekat, ocena vazdušnog dejstva.

Abstract

Explosive materials, which are used in mining industry, geology, civil industry and other industrial sectors, create certain negative effects by their action that are manifested in the form of shock, fly rocks, airblast, the appearance of toxic fumes etc. When using explosives, the main condition is that the mentioned negative effects do not have a harmful effect on people as well as do not damage the residential and industrial objects that can be found in the field of their effect. In this paper, physical nature of airblast induced by blasting activities is analysed. Regarding that, the equation of the sound volume change for a specific blasting scheme is given as well as the evaluation of airblast effect during the blasting operation. Also, the method of protection against the sound effects and measures to reduce airblast are shown. In order to understand the airblast effect and its impact on construction objects in the surrounding area, the values of airblast pressure are measured for blasting activities that are performed at open pit limestone mine Suva Vrela - Kosjerić, western Serbia.

Keywords: blasting, airblast effect, sound effect, the evaluation of airblast effect.

1. Uvod

Objekti u bližoj okolini miniranja izloženi su vazdušnom udaru, koji se direktno prenosi kroz atmosferu od mesta eksplozije. Po svojoj fizičkoj prirodi, vazdušni udar predstavlja natpritisak u atmosferi, odnosno pritisak koji je veći od normalnog atmosferskog pritiska. Povećani pritisak formira se u vazdušnoj masi njenim naglim pomeranjem na mestu eksplozije usled naglog širenja gasova eksplozije, izbijanja čepa i gasova iz bušotina, pomeranja stenske mase oko minske bušotine, izbijanja gasova eksplozije u atmosferu pri pomeranju izdrobljenog materijala i vibracije površine tla oko mesta miniranja [1, 2].

Kada se natpritisak formira na mestu miniranja, on se u obliku udarnog, kompresionog ili uzdužnog talasa širi kroz vazdušni prostor u okolini. Brzina kretanja ovih talasa zavisi od temperature vazduha, sa povećanjem temperature raste, a sa smanjenjem temperature opada. U normalnim uslovima, na nivou mora i na temperaturi od 0°C, brzina ovih talasa iznosi oko 300 m/s.

Kada talas natpritisaka naiđe na određenu tačku, izaziva naglo povećanje pritiska u vazdušnoj masi, a zatim relativno sporije smanjenje pritiska do ispod vrednosti atmosferskog pritiska, da bi se posle više oscilacija

¹ Prof. dr Suzana Lutovac, suzana.lutovac@rgf.bg.ac.rs

² Doc. dr Miloš Gligorić, milos.gligoric@rgf.bg.ac.rs

³ Dr Jelena Majstorović, jelena.majstorovic@rgf.bg.ac.rs

vratio na normalan atmosferski pritisak. Na taj način se izaziva oscilovanje molekula vazdušne mase, uz promenu frekvencije oscilovanja. Sa udaljavanjem od mesta eksplozije frekvence oscilovanja se kreću u rasponu 200 do 0,1 Hz. Ljudsko uho registruje vibracije vazduha do 20 Hz. Talasi iznad 20 Hz su čujni i nazivaju se zvučni talasi ili zvučni efekti miniranja. Talasi ispod 20 Hz su nečujne vibracije vazduha i nazivaju se treperenje vazduha [3, 4, 5].

Promene vazdušnog pritiska u određenoj tački mere se mikrofonomima, koji su obično povezani sa instrumentom za registrovanje potresa - seizmografima, tako da se istovremeno registruju vibracije tla i promena vazdušnog pritiska. Promena pritiska se prikazuje u odnosu na normalan atmosferski pritisak.

Pošto zvučni talas ili zvuk predstavlja natpritisak, on se meri u jedinicama pritiska - paskalima (*Pa*) ili barima (*bar*). Pritisak vazdušnih udarnih talasa može se meriti i u jedinicama za merenje jačine zvuka - decibelima (*dB*).

2. Intenzitet natpritiska u zvučnom talasu

Intenzitet natpritiska u zvučnom talasu zavisi od količine eksploziva, koja se inicira u određenom momentu i rastojanja od mesta miniranja.

Na osnovu terenskih merenja slično jednačini oscilovanja stenske mase, moguće je odrediti jednačinu intenziteta natpritiska tj. promene jačine zvuka za određeni postupak miniranja, po formuli:

$$P = k \cdot \left(\frac{r}{\sqrt[3]{Q_i}} \right)^n [Pa] \quad (1)$$

gde je:

P – intenzitet natpritiska [*Pa*],

r – rastojanje od mesta miniranja [*m*],

Q_i – maksimalna količina eksploziva po jednom intervalu [*kg*],

k, n – empirijske konstante koje zavise od načina miniranja i nadmorske visine.

Radius sigurnosne zone usled dejstva vazdušnih udarnih talasa na čoveka *r_{v min}*, može se odrediti iz odnosa:

$$r_{v \min} = 15 \sqrt{Q} [m] \quad (2)$$

gde je:

Q – količina eksploziva u *kg*.

Opasnost za objekte od vazdušnih udara tj. zvučnih talasa je relativno mala, jer se jačina zvuka mora ograničiti prema dozvoljenoj granici za ljude, koja je niža od dozvoljenog intenziteta za objekte [6]. Efekti koji ima natpritisak tj. zvuk na ljude i objekte, prikazan je u Tabeli 1.

Tabela 1. Prikaz efekata natpritiska ili zvuka u Pa ili dB

<i>Pa</i>	<i>dB</i>	Efekti natpritiska ili zvuka
21 000	180	Oštećenje konstrukcija
12 500	176	Pucanje maltera na zidovima
7 000	170	Lom većine stakla na prozorima
700	150	Lom oko 1 % stakla na prozorima
210	140	Nema loma stakla na prozorima
21	120	Glavobolja kod kontinuiranog zvuka
14	117	Vibracija prozorskih stakala
2,1	100	Zvuk pneumatskog čekića
0,02	60	Normalan govor
$2 \cdot 10^{-5}$	0	Granica čujnosti

Kako se vidi iz Tabele 1, natpritisak koji izaziva lom stakla, daleko je manji od pritiska koji mogu da

izazovu druga oštećenja na objektima. To znači da ukoliko nema loma stakla na prozorima, neće biti ni opasnosti po objekte. Iz tog razloga granica loma stakla se uzima kao granica sigurnosti objekata. Granica sigurnosti za lom stakla prema tabeli 1 iznosi 140 dB ili 210 Pa, što znači da na tu vrednost treba ograničiti jačinu zvuka na mestu objekta koji se štiti.

3. Ocena vazdušnog dejstva pri izvođenju miniranja

Za ocenu vazdušnog dejstva pri izvođenju miniranja, u Tabeli 2 navedeni su efekti delovanja vazdušnog udara pri različitim veličinama pritiska u *mbar* na čelu talasa.

Tabela 2. Prikaz efekata delovanja vazdušnog udara eksplozije u mbar

Pritisak vazdušnog udara [<i>mbar</i>]	Efekti delovanja vazdušnog udara eksplozije
2×10^{-7}	Prag čujnosti
1,0	Zveket slabo učvršćenog prozorskog stakla
7,0	Pucanje slabo učvršćenog prozorskog stakla
15,0 – 30,0	Pucanje dobro učvršćenog prozorskog stakla
30,0 – 50,0	Pukotine u malteru oko prozora i vrata
50,0 – 100,0	Izbijanje prozorskih krila, veća oštećenja na prozorskim okvirima i vratima
100,0 – 150,0	Teška oštećenja na malteru, rušenje krovova i zidova, drvenih konstrukcija
150,0 – 300,0	Veća oštećenja objekata od opeke. Pucanje bubne opne
1.000,0	Rušenje zidova od cigle, pukotine u betonu
2.000,0	Velike štete, rušenje betonskih konstrukcija, povrede unutrašnjih organa kod ljudi
2.500,0 – 4.000,0	Smrtonosno stradanje ljudi i životinja, velika rušenja i nastanak velike materijalne štete.

Na jačinu zvuka u neposrednoj blizini mesta miniranja, pored minerskih parametara utiču i geografski uslovi, pa je najbolje za lokalne uslove odrediti jednačinu prostiranja talasa.

Iskustva pokazuju da ukoliko je brzina oscilovanja stenske mase ispod dozvoljene granice za objekte, onda je obično i jačina zvuka ispod granice loma stakla.

Jedna od značajnih veličina za pritisak vazdušnog udara je uticaj načina miniranja, odnosno položaj eksploziva u minskom polju. Ovo je naročito važno pri miniranju negabarita, tj. pri sekundarnom miniranju sa nalepnim minama, gde se eksploziv postavlja na blok koji treba razoriti. U ovom načinu izvođenja miniranja, prema mnogobrojnim istraživanjima, 50% oslobođene energije eksploziva utroši se na razaranje bloka, dok se ostali deo energije utroši na vazdušni udar i druge negativne efekte. Ovakav način miniranja nepovoljno utiče na stanovništvo u okolini i može izazivati oštećenja na zgradama.

4. Zaštita od zvučnih efekata

Pravilnik o tehničkim normativima pri rukovanju eksplozivnim sredstvima i miniranju u rudarstvu, u članu 113., određuje dozvoljenu jačinu zvuka u funkciji učestalosti detonacija, koja se kreće u granicama od 1 do 5 *mbar* [7].

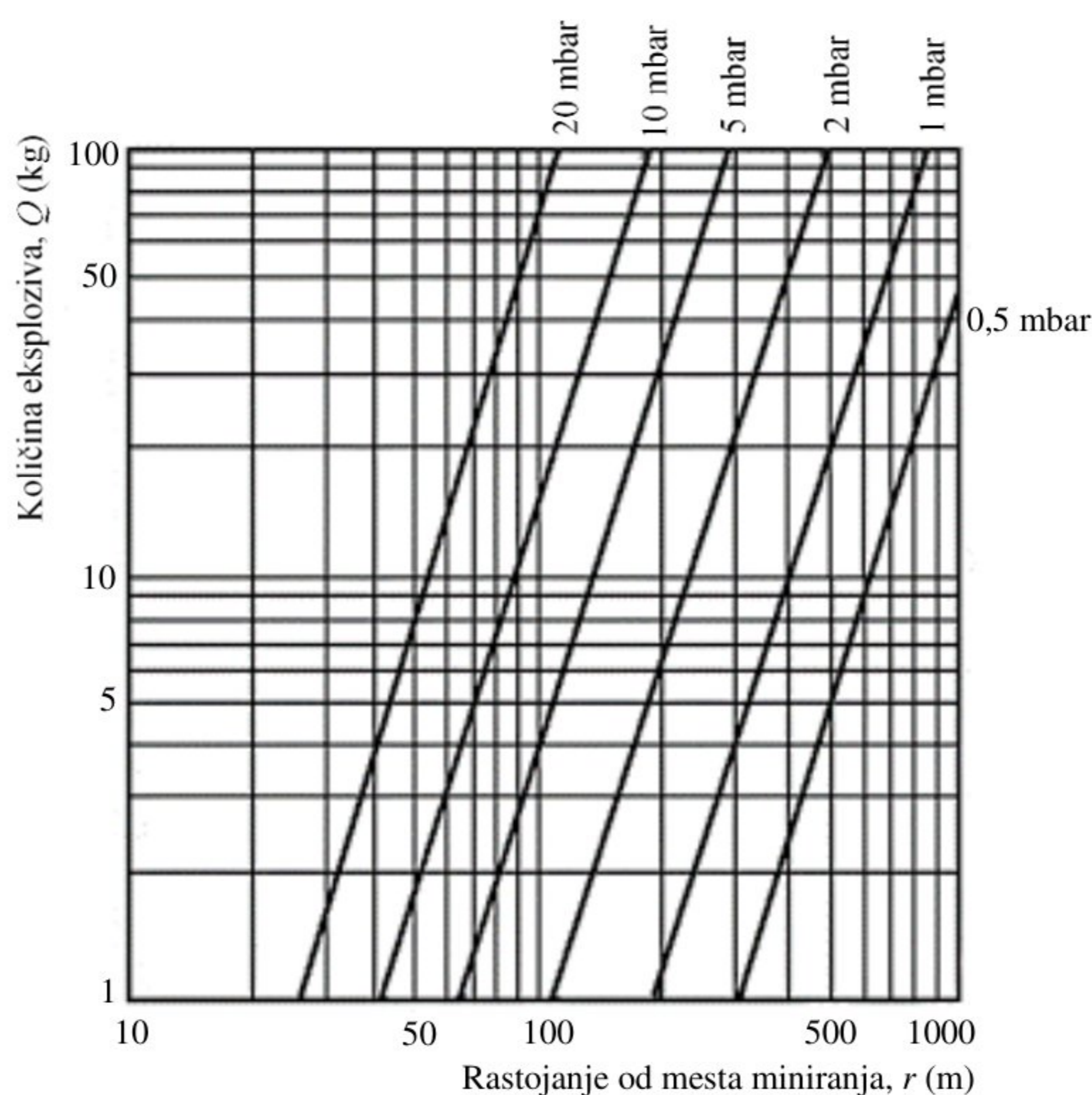
Maksimalno dozvoljeno povećanje vrednosti vazdušnog pritiska u naseljenom mestu u zavisnosti od učestalosti miniranja tj. detonacije dato je u Tabeli 3.

Tabela 3. Prikaz maksimalno dozvoljenog povećanja vazdušnog pritiska u zavisnosti od učestalosti miniranja

Redni broj	Učestalost miniranja	Maksimalno dozvoljeno povećanje vazdušnog pritiska usled miniranja tj. detonacije
1	Svakodnevno po više miniranja	Mora se izvršiti kontrolno merenje jačine vazdušnog udara i utvrditi granica koja ne sme biti veća od 1 [<i>mbar</i>]
2	Najviše dva puta nedeljno po više miniranja	do 1 [<i>mbar</i>]
3	Najviše dva miniranja nedeljno	do 2 [<i>mbar</i>]
4	Najviše dva miniranja mesečno	do 3 [<i>mbar</i>]
5	Najviše dva miniranja godišnje	do 5 [<i>mbar</i>]

Dozvoljena količina eksploziva koja se istovremeno aktivira, zbog zaštite ljudi od vazdušnog udara, određuje

se po odredbama člana 114. i člana 115. navedenog Pravilnika [7], prema dijagramu za određivanje vazdušnog natpritiska u funkciji količine eksploziva, prikazanom na Slici 1.



Slika 1. Dijagram za određivanje vazdušnog natpritiska u funkciji količine eksploziva

Za izvođenje sekundarnog miniranja sa nalepnim minama, sa dijagrama na slici 1 se očitava količina eksploziva koja sme da se inicira za dozvoljenu jačinu zvuka, odnosno utvrđuje rastojanje od mesta miniranja u metrima.

Za procenu jačine zvuka pri aktiviranju otvorenog eksploziva tj. za sekundarna miniranja sa nalepnim minama, može se koristiti dijagram sa slike 2, odakle se određuje dozvoljena količina eksploziva Q_i za dozvoljenu granicu pritiska (tabela 3) i odgovarajuće redukovano rastojanje R (Slika 2).

$$Q_i = \left(\frac{r}{R}\right)^3 [kg] \quad (3)$$

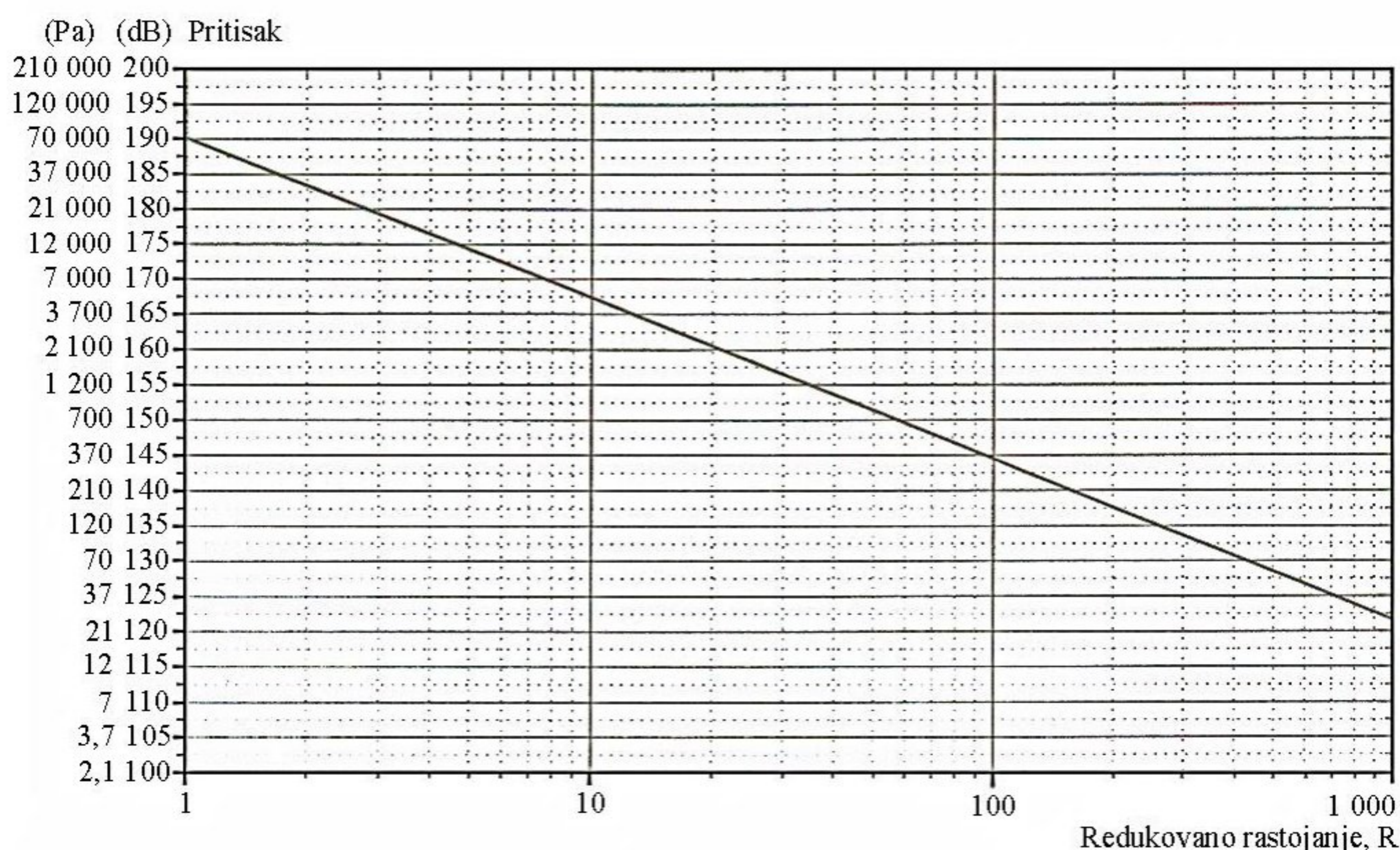
gde je:

Q_i – dozvoljena količina eksploziva koja se istovremeno inicira [kg],

r – rastojanje od mesta miniranja do ljudi i objekata [m],

R – redukovano rastojanje, koje se određuje sa grafika na Slici 2.

Važno je naglasiti da različiti obrasci za proračun parametara vazdušnog udarnog talasa daju samo orijentacione vrednosti. Da bi se postigla potpuna sigurnost u pogledu određivanja jačine vazdušnog udarnog talasa, u toku izvođenja miniranja neophodno je vršiti odgovarajuća merenja pomoću instrumenata.



Slika 2. Prikaz vrednosti natpritiska otvorenih eksplozivnih punjenja u funkciji redukovanog rastojanja R

5. Mere za smanjenje vazdušnih udara

Za smanjenje negativnih dejstava vazdušnih udarnih talasa najveći značaj imaju bušačko – minerski parametri, odnosno pravilan izbor linije najmanjeg otpora, dužine i kvaliteta začepljenja, način aktiviranja minskih punjenja i pravilan izbor intervala usporenja između pojedinih eksplozivnih punjenja ili grupe minskih punjenja [5].

5.1. Linija najmanjeg otpora

Za svaku radnu sredinu u kojoj se izvodi miniranje, potrebno je odrediti vrednost linije najmanjeg otpora, a zatim prema njoj uskladiti ostale parametre miniranja. Veća vrednost linije najmanjeg otpora od normalne izaziva prekomerne vibracije tla, a manja vrednost linije najmanjeg otpora izaziva veće vazdušne udarne talase i manje potrese tla. Za male vrednosti linije najmanjeg otpora, nastali gasovi probijaju se kroz pukotine i prsline ka slobodnoj površini čela, pre nego što se iskoristi energija eksploziva na razaranje stene. Pri formiranju etaža treba izbegavati da dužina eksplozivnog punjenja bude kraća od linije najmanjeg otpora. Treba težiti da vrednost linije najmanjeg otpora po celoj visini etaže ima istu vrednost.

U minskom polju gde linija najmanjeg otpora nije odgovarajuća, ako je znatno manja, moguće su pojave potpunog razbacivanja stenske mase, razbacivanja i letenja komada stena iz pojedinih delova čela i mlaznog izbacivanja gasova i stena.

5.2. Začepljenje minskih bušotina

Neadekvatno začepljenje minskih bušotina jedan je od glavnih uzroka razbacivanja komada stene, pojave vazdušnih udara, znatnih anomalija u minskom polju, kao i slabe granulacije odminirane stene. Jedna od mera za smanjenje vazdušnih udarnih talasa i razbacivanja komada stene je primena odgovarajućeg materijala za izradu čepa i pravilno određena dužina čepa.

Dužina čepa ne sme da bude manja od linije najmanjeg otpora. Odstupanje od preporučene dužine stvara buku, omogućava razletanje komada stene i daje slabe efekte miniranja u gornjem delu bušotine, odnosno etaže.

U nezačepljenim i slabo začepljenim bušotinama, gasovi kao proizvod detonacije eksploziva, ističu u atmosferu duž bušotine. Tada se veći deo kinetičke energije oslobođenih gasova transformiše u efekte vazdušnih udara i manifestuje u znatno slabijem iskorišćenju energije eksploziva.

Pri miniranju na površini, kao materijal za izradu čepa najčešće se koristi sitnež koja nastaje pri izradi bušotina. Ta sitnež se koristi za izradu čepa ne kao najefikasnija, već zato što je na raspolaganju pored samih bušotina. Sitnež iz bušotina razlikuje se po veličini zrna i fizičko-mehaničkim svojstvima i ima uticaj na kvalitet čepa. Osim zrnastih i plastičnih materijala, kao dobar materijal za izradu čepa može poslužiti i voda. Ovakvi čepovi imaju veliki uticaj na smanjenje prašine.

5.3. Interval usporenja

Činioci koji određuju efikasnost vremenskog miniranja za različite stene i uslove su različiti. Iz tog razloga je neophodno, kako teorijski, tako i eksperimentalno, za svaku radnu sredinu posebno odrediti optimalni vremenski interval usporenja aktiviranja minskih bušotina.

Minimalno vreme usporenja između aktiviranja susednih bušotina treba da iznosi 1 ms na 0,3 m linije najmanjeg otpora, čime se postiže dobra granulacija izminiranog materijala, uz minimalne vazdušne udare.

Kako bi se što više ublažilo delovanje vazdušnog udara, nastalog kod izvođenja masovnog miniranja, preporučuje se da vremenski razmak između aktiviranja minskih bušotina t zadovolji sledeći uslov:

$$t \geq 2 \left(\frac{a}{v_z} \right) [s] \quad (4)$$

gde je:

a – rastojanje između bušotina [m],

v_z – brzina zvuka $v_z = 333 \frac{m}{s}$.

Da bi se zaštitili objekti u bližoj okolini i smanjio intenzitet vazdušnih udara, odnosno jačine zvuka, neophodno je:

- Izbegavati aktiviranje eksploziva na otvorenom prostoru (ne minirati nalepnim minama, vodove detonirajućeg štapina pokriti sa najmanje 30 cm prašine ili peska itd.);
- Bušotinska punjenja dobro začepiti;
- Ako je moguće, usmeriti dejstvo minskog polja na suprotnu stranu od objekata koji se štite;
- ograničiti količinu eksploziva koja se istovremeno inicira (utvrditi količinu eksploziva po jednom intervalu);
- Izbegavati miniranje za vreme jakog vetra u pravcu objekta.

6. Prikaz rezultata merenja vazdušnog udara na površinskom kopu Suva Vrela

U cilju sagledavanja vazdušnog dejstva miniranja i njegovog uticaja na građevinske objekte u okolini, izmerene su vrednosti pritiska za miniranja koja su izvedena na površinskom kopu krečnjaka Suva Vrela - Kosjerić, u zapadnoj Srbiji. Ležište krečnjaka Suva vrela nalazi se severozapadno od mesta Kosjerić, na udaljenosti od grada oko 3 km. U neposrednoj blizini ležišta je fabrika cementa Titan, koja je sa ležištem povezana asfaltnim putem.

Krečnjaci ležišta Suva Vrela zbog svoje ispucalosti i tektonske poremećenosti su vodopropusni, tako da se atmosferski talozi infiltriraju u niže delove ležišta. S obzirom na položaj krečnjaka i položaj drenažnih tokova reka Sečice i Skrapež nema uslova za stvaranje većih vodenih akumulacija. Otkopavanje krečnjaka se obavlja po etažama visine 15 m i to od kote 435 m do kote 570 m [8].

Ispitivanjem fizičko-mehaničkih karakteristika krečnjaka dobijene su sledeće vrednosti:

- zapreminska težina: 26,6 kN/m³
- poroznost: 1,59 %
- koeficijent poroznosti: 1,65
- čvrstoća na pritisak: 5.592,0 N/cm²
- čvrstoća na zatezanje: 797,5 N/cm²
- čvrstoća na savijanje: 1.097,0 N/cm²
- čvrstoća na smicanje: 1.780,5 N/cm²
- ugao unutrašnjeg trenja: 37°
- kohezija: 676,9 N/cm²
- brzina longitudinalnih talasa: 5.142,0 m/s
- brzina transverzalnih talasa: 2.803,0 m/s
- modul deformacije: 5.478.040,0 N/cm²

Miniranja na površinskom kopu Suva Vrela su izvedena pod sledećim uslovima:

- visina etaže: $H = 15 m$
- ugao nagiba bušotina: $\alpha = 70^\circ$
- prečnik bušotina: $d_b = 85,0 mm$
- dubina bušotina: $l_b = 5,0 - 17,0 m$

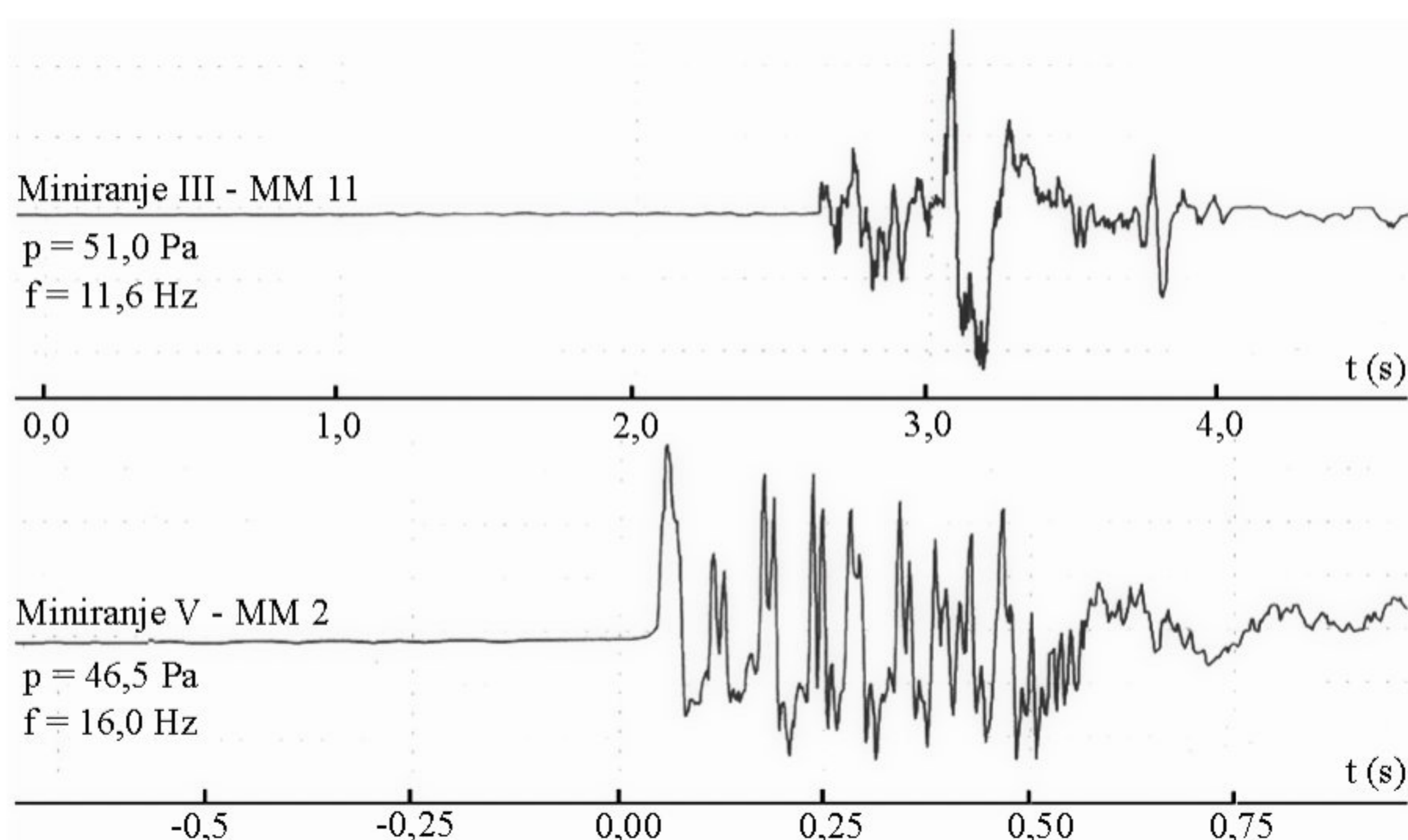
- rastojanje između bušotina u redu: $a = 1,9 \text{ m}$
- rastojanje između redova bušotina: $b = 2,4 \text{ m}$
- linija najmanjeg otpora $W = 2,7 \text{ m}$
- vrsta eksploziva: Amoneks 60/1000
- aktiviranje eksploziva: detonirajući štapin $C - 10$ i $C - 12$
- interval usporenja: usporivači od 20 ms i 25 ms
- aktiviranje minskog polja: $DK 8$ i sporogoreći štapin

U Tabeli 4 dati su parametri miniranja i merenja za odgovarajuća merna mesta MM : rastojanje od minskog polja do mernog mesta r , ukupna količina eksploziva Q_{uk} , maksimalna količina eksploziva po intervalu usporenja Q_i , ukupna dužina detonirajućeg štapina $L_{dš}$ i vrednost vazdušnog pritiska p .

Tabela 4. Prikaz parametara miniranja i merenja na površinskom koku Suva Vrela

Miniranje	MM	$r[m]$	$Q_{uk}[kg]$	$Q_i[kg]$	$L_{dš}[m]$	$p[Pa]$
I	MM – 1	754,40	1.950,0	176,0	800,0	29,2
	MM – 2	706,27	1.950,0	176,0	800,0	43,4
	MM – 11	1.089,66	1.950,0	176,0	800,0	43,7
	MM – 12	829,66	1.950,0	176,0	800,0	36,8
II	I – eksplozija					
	MM – 1	737,94	912,0	181,0	400,0	18,8
	MM – 2	697,75	912,0	181,0	400,0	32,6
	II – eksplozija					
	MM – 3	670,46	2.113,0	247,0	1.100,0	32,4
	MM – 11	1.086,18	2.113,0	247,0	1.100,0	40,0
III	MM – 1	729,88	4.675,0	207,0	2.350,0	56,4
	MM – 2	689,07	4.675,0	207,0	2.350,0	70,5
	MM – 3	667,49	4.675,0	207,0	2.350,0	45,3
	MM – 1	1.077,28	4.675,0	207,0	2.350,0	51,0
IV	MM – 3	656,79	815,0	182,0	410,0	46,6
	MM – 7	1.240,40	815,0	182,0	410,0	28,8
	MM – 11	1.063,98	815,0	182,0	410,0	23,8
	MM – 15	808,04	815,0	182,0	410,0	19,4
	MM – 16	883,72	815,0	182,0	410,0	26,0
V	I – eksplozija					
	MM – 2	663,46	1.851,0	184,0	750,0	46,5
	MM – 3	657,32	1.851,0	184,0	750,0	49,0
	MM – 15	807,06	1.851,0	184,0	750,0	56,7
	II – eksplozija					
MM – 15	807,064	680,0	180,0	250,0	93,3	

Grafički prikaz vazdušnog udara u okolini kopa, pri miniranju na površinskom koku Suva Vrela, prikazani su na Slici 3.



Slika 3. Grafički prikaz vazdušnog udara pri miniranju na POVRŠINSKOM KOKU Suva Vrela

7. Zaključak

U ovom radu prikazan je postupak ocene vazdušnog dejstva, kao i zaštita od zvučnih efekata nastalih kao posledica miniranja. U vezi sa tim prikazani su rezultati merenja vazdušnih udara, koji su nastali kao posledica miniranja na krečnjaku, na površinskom kopu Suvo vrelo - Kosjerić, u Zapadnoj Srbiji. Ukupno je izvedeno pet miniranja, pri čemu je na osam mernih mesta instrumentalno zabeležen dvadeset jedan rezultat merenja vrednosti vazdušnog pritiska. Merna mesta u okolini površinskog kopa Suvo vrelo bila su locirana u blizini građevinskih objekata i određena su u dogovoru sa stručnim licima Titan cementare - Kosjerić. Na osnovu dobijenih rezultata merenja vazdušnih uticaja, može se konstatovati da se nalaze u granicama dozvoljenih vrednosti, pa nemaju uticaja na okolne građevinske objekte.

Literatura

- [1] Marín, J.A., Rodríguez, R., Díaz, M.B., Antón, S. (2022): Empirical Attenuation Law for Air Blast Waves Due to the Detonation of Explosives Outdoors. *Applied Sciences*, 12, 9139. <https://doi.org/10.3390/app12189139>
- [2] Zhou, X., Zhang, X., Wang, L., Feng, H., Cai, C., Zeng, X., Ou, X. (2022): Propagation characteristics and prediction of airblast overpressure outside tunnel: a case study. *Scientific Reports*, 12(1), 20592.
- [3] Pyra, J., Kłaczyński, M. (2019): Vibroacoustic measurements and analysis of blasting works. *Journal of Vibroengineering*, 21(2), 526-537.
- [4] Kabwe, E., Wang, Y. (2016): Airblast and ground vibration monitoring at Chimiwungo pit. *Geomaterials*, 6(01), 28.
- [5] Lutovac S., Gligorić M., Zaštita od miniranja, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2024. ISBN 978-86-7352-397-2.
- [6] Savić, M. (2000): Miniranje na površinskim kopovima, RTB Bor, Institut za bakar Bor, Indok centar, str. 328-332.
- [7] Pravilnik o tehničkim normativima pri rukovanju eksplozivnim sredstvima i miniranju u rudarstvu Službeni list SFRJ, br. 26 od 29. aprila 1988, 63 od 28. oktobra 1988 – ispravka.
- [8] Lutovac, S., Trajković, S., Bajić, S. (2016): Studija seizmičkog dejstva na okolne građevinske objekte kao posledica izvođenja miniranja pri eksploataciji krečnjaka na PK Suvo vrelo i laporca na PK Galovići - Kosjerić, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.