

Primena programa UVSZ pri zaštiti od miniranja

Suzana Lutovac, Miloš Gligorić, Jelena Majstorović, Luka Crnogorac, Rade Tokalić



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Primena programa UVSZ pri zaštiti od miniranja | Suzana Lutovac, Miloš Gligorić, Jelena Majstorović, Luka Crnogorac, Rade Tokalić | XIII skup privrednika i naučnika SPIN'21, Industrija 4.0 – mogu nosti, izazovi i rešenja za digitalnu transformaciju privrede | 2021 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006001>

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

PRIMENA PROGRAMA UVSZ PRI ZAŠTITI OD MINIRANJA

APPLICATION OF UVSZ PROGRAM DURING PROTECTION OF BLASTING

Suzana Lutovac¹, Miloš Gligorić², Jelena Majstorović³,
Luka Crnogorac⁴, Rade Tokalić⁵

¹ Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet,
suzana.lutovac@rgf.bg.ac.rs

² Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet,
milos.gligoric@rgf.bg.ac.rs

³ Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet,
jelena.majstorovic@rgf.bg.ac.rs

⁴ Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet,
luka.crnogorac@rgf.bg.ac.rs

⁵ Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet,
rade.tokalic@rgf.bg.ac.rs

Apstrakt: *Primena energije eksploziva tj. miniranje, predstavlja osnovni način eksploatacije čvrstih mineralnih sirovina u rudarstvu. Miniranjem se postižu vrlo povoljni tehnološki i ekonomski pokazatelji, koje nažalost prate i negativni efekti miniranja. U cilju zaštite životne sredine potrebno je za svaku radnu sredinu odrediti jednačinu oscilovanja stenske mase pri miniranju. Ova jednačina definiše promenu brzine oscilovanja stenske mase u zavisnosti od rastojanja, količine eksploziva, uslova izvođenja miniranja i geoloških karakteristika stenske*

mase. Oscilovanja čestica stenske mase se na terenu oseća kao potres. Na osnovu primene ove jednačine, u mogućnosti smo da predvidimo brzinu oscilovanja za svako sledeće miniranje u datoj radnoj sredini. Na taj način potrese od miniranja u seizmičkom smislu stavljamo pod kontrolu. U ovom radu prikazana je primena UVSZ programa, koji se koristi za analizu i prezentaciju podataka merenja na računaru.

Ključne reči: Program UVSZ, miniranje, potres, zaštita životne sredine.

Abstract: Application of explosive energy i.e. blasting operation, represents the main way of hard raw materials exploitation in mining industry. Very favorable techno-economic indicators are achieved by blasting, which are followed by negative effects of blasting unfortunately. In order to protect the environment, it is necessary to determine the rock mass oscillation equation for each working environment during blasting. This equation defines the change of rock mass oscillation velocity depending on distance, explosive amount, conditions of blasting and geological characteristics of rock mass. Oscillations of the particles of rock mass at terrain are felt as shock. Based on application of this equation, we are able to predict the oscillation velocity for each subsequent blasting in a given working environment. On that way, shocks from blasting, in a seismic sense, are brought under control. In this paper, the application of UVSZ program is shown, which is used for analysis and presentation of measured data at PC.

Key words: UVSZ program, blasting, shock, environmental protection.

1. UVOD

U poslednjih nekoliko decenija degradacija životne sredine predstavlja sve veći problem. Izvori degradacije životne sredine mogu biti prirodni ili veštački (Kojić, 2019). Prirodni izvori su svi oni procesi koji se odvijaju nasuprot ljudske volje (vulkani, zemljotresi). Veštački izvori su produkt ljudske delatnosti (obrađa mineralnih sirovina, miniranje). U oblasti rudarstva, primena energije eksploziva tj. miniranje, predstavlja osnovni način eksploatacije čvrstih mineralnih sirovina (Coltrinari, 2016). Miniranjem se postižu vrlo povoljni tehnno-ekonomski pokazatelji, koje nažalost prate i negativni efekti miniranja (Mohamed & Mohamed, 2013; Kabwe & Wang, 2016; Malbašić & Stojanović, 2018; Baulović et al., 2019). Pod negativnim efektima miniranja podrazumevamo dejstvo vazdušnog talasa, zvučni efekat, razbacivanje odminirane stenske mase, a pre svega seizmičko dejstvo miniranja, čije efekte pratimo u ovom radu.

Energija eksploziva sadržana je u eksplozivnoj materiji. Najefikasnija forma razlaganja eksplozivne materije pri razaranju stene je detonacija. Detonacija je takav oblik eksplozije kod koje se hemijska reakcija odvija velikom brzinom, stvarajući veliki pritisak i veoma visoku temperaturu u zoni eksplozivne materije. Pri tome se detonacioni talas kroz eksplozivnu materiju kreće konstantnom brzinom. Veliki pritisci izazvani detonacijom prenose se sa eksplozivnog punjenja na okolnu stensku masu. Nanošenje pritiska na radnu sredinu koja okružuje eksplozivno punjenje je talasne prirode, putem udarnog talasa. Sa

udaljenjem od centra eksplozije udarni talas ima sve manji intenzitet. U zavisnosti od udaljenja od centra eksplozije, dolazi do različitih promena u stenskom masivu. Kod homogenih i izotropnih sredina mogu se razlikovati tri zone:

1. *Zona mrvljenja* - u ovoj zoni udarni talas na okolne stene vrši pritisak brzinom koja je veća od brzine zvuka, pri čemu u zoni oko eksplozije, na rastojanju $(3-7)r$ (r – poluprečnik eksplozivnog punjenja) dolazi do mrvljenja stenskog materijala i njegovog zbijanja u stenski masiv.

2. *Zona razaranja* - javlja se na rastojanju većem od $(3-7)r$. U ovoj zoni udarni talas je znatno oslabljen i kreće se brzinom zvuka. U okolnom stenskom materijalu izaziva naprezanja koja za posledicu imaju stvaranje pukotina različitih pravaca i orijentacija.

3. *Zona potresanja* - nastaje kada je udarni talas toliko oslabio da je u stanju da izvrši pomeranje čestica u domenu elastičnih deformacija. U ovoj zoni ne dolazi do razaranja, već do pomeranja tj. oscilovanja čestica stenske mase, što se oseća kao potres.

Sa seizmičkog stanovišta, zona potresanja je od posebnog značajna, jer elastični talasi koji se rasprostiru u ovoj zoni imaju isti karakter kao seizmički talasi izazvani zemljotresom. Ono po čemu se seizmički talasi izazvani zemljotresom i eksplozivom međusobno razlikuju jeste: količina oslobođene energije, domet uticaja i vreme trajanja seizmičkih talasa. Osim toga, kod detonacije eksplozivne materije unapred možemo da utvrdimo količinu oslobođene energije i definišemo deo koji će biti nosilac seizmičkih potresa, što je veoma važno u procesu zaštite životne sredine.

2. PARAMETRI OSCILOVANJA STENSKE MASE

Kada seizmički talas naiđe na neku tačku terena, čestice stenske mase u toj tački izbacili iz ravnotežnog položaja i one osciluju oko svog ravnotežnog položaja određeno vreme dok se potpuno ne smire. Ova pojava se manifestuje kao potres ili vibracija stenske mase. To je efekat miniranja koji izaziva oštećenje objekata i neprijatan osećaj kod ljudi.

Intenzitet potresa, koji je prouzrokovan miniranjem, može se ustanoviti merenjem jednog od tri osnovna parametra koji karakterišu oscilovanje pobuđene stenske mase, a to su:

- pomeranje čestica stenske mase x - rastojanje na kome se čestica udaljava od svog ravnotežnog položaja tokom oscilovanja,

- brzina oscilovanja čestica stenske mase v - brzina kretanja čestica tokom oscilovanja i

- ubrzanje čestica stenske mase a - pokazuje promenu brzine oscilovanja, tj. kretanja čestica.

Veličine ova tri parametra ukazuju na intenzitet sile kojom su izazvani, samim tim i na stepen opasnosti koje potres izaziva. Oni predstavljaju osnovne dinamičke parametre potresa. Kao parametar za ocenu seizmičkog dejstva miniranja najčešće se primenjuje brzina oscilovanja pobuđene stenske mase. Smatra se da brzina oscilovanja najbolje određuje opasnost od potresa i šteta koje može izazvati, pa su i odgovarajući standardi za zaštitu od potresa bazirani na podacima koji se odnose na brzinu oscilovanja.

3. KRITERIJUMI ZA OCENU POTRESA OD MINIRANJA

Pošto našim propisima nije regulisana ova problematika, ocena intenziteta potresa nastalih izvođenjem miniranja kod nas se najčešće definiše na osnovu ruskih i nemačkih kriterijuma.

Kriterijum IFZ Akademije nauka Rusije - dozvoljeni intenzitet potresa za objekte različite otpornosti, vezan je za brzinu oscilovanja stenske mase i stepen seizmičkog intenziteta i dat je u vidu XII seizmičkih stepeni. Ruska skala za ocenu potresa usled miniranja ustanovljena je u Institutu za fiziku zemlje - Akademije nauka Rusije. Za procenu seizmičkog dejstva miniranja na zgrade i druge objekte, neophodno je uzeti u obzir i stanje objekata, karakteristike stenske mase, kao i broj i način izvođenja miniranja. Ocena seizmičkog intenziteta potresa data je u tabeli 1.

Tabela 1: Ocena seizmičkog intenziteta potresa - kriterijum IFZ Akademije nauka Rusije

Brzina oscilovanja v [cm/s]	Stepen seizmičkog intenziteta	Opis dejstva
do 0.20	I	Dejstvo se registruje samo pomoću instrumenata.
0.20 - 0.40	II	Dejstvo se oseća samo u nekim slučajevima kada je potpuna tišina.
0.40 - 0.80	III	Dejstvo oseća veoma mali broj ljudi, ili samo oni koji ga očekuju.
0.80 - 1.50	IV	Dejstvo osećaju mnogi ljudi, čuje se zveket prozorskog stakla.
1.50 - 3.00	V	Osipanje maltera, oštećenja na zgradama u slabom stanju.
3.00 - 6.00	VI	Pojava finih prslina u malteru, oštećenja na zgradama koje već imaju razvijene deformacije.
6.00 - 12.0	VII	Oštećenje na zgradama u dobrom stanju, pukotine u malteru, delovi maltera otpadaju, fine prsline u zidovima, pukotine na zidanim pećima, rušenje dimnjaka.
12.0 - 24.0	VIII	Znatne deformacije građevina, pukotine u nosećoj konstrukciji i zidovima, veće pukotine u pregradnim zidovima, padanje fabričkih dimnjaka, plafona.
24.0 - 48.0	IX	Rušenje građevina, veće pukotine u zidovima, raslojavanje zidova, obrušavanje nekih delova zidova.
veće od 48.0	X - XII	Veća razaranja, stropošavanje čitavih konstrukcija, itd.

Kriterijumi u Nemačkoj – propisuju maksimalno dozvoljene vrednosti brzine oscilovanja stenske mase, u zavisnosti od značaja i stanja objekata, za frekventni opseg od 3 do 100 Hz i za jedno do dva miniranja dnevno. Dozvoljene maksimalne brzine oscilovanja stenske mase za frekventni opseg od 3 do 100 Hz - DIN 4150 date su u tabeli 2.

Tabela 2: Dozvoljene maksimalne brzine oscilovanja stenske mase - kriterijum u Nemačkoj

Br.	Vrsta objekta	Orijentacione vrednosti za brzinu oscilovanja v [mm/s]			
		Temelj			Tavanice najvišeg sprata
		Frekvencija f [Hz]			Sve frekvencije
< 10	10 - 50	50 - 100			
1.	Objekti koji se koriste za zanatstvo, industrijski objekti i slični strukturni objekti	20.0	20.0 – 40.0	40.0 – 50.0	40.0
2.	Stambene zgrade i po konstrukciji ili nameni slični objekti	5.0	5.0 – 15.0	15.0 – 20.0	15.0
3.	Objekti koji zbog svoje posebne osetljivosti na vibracije ne spadaju u one iz grupe 1 i 2, i koji su posebno bitni za očuvanje (npr. nalaze se pod zaštitom kao kulturno-istorijski spomenici)	3.0	3.0 – 8.0	8.0 – 10.0	8.0

4. REGISTROVANJE I OBRADA PODATAKA

U slučaju miniranja, u jednu tačku terena, usled prelamanja i odbijanja talasa, gotovo istovremeno pristiže više vrsta talasa, izazivajući vibracije čestica stenske mase u različitim pravcima, pa je rezultujuća prostorna trajektorija kretanja čestica oko svog ravnotežnog položaja složenog oblika. Iz tog razloga parametri vibracija stenske mase mere se u tri pravca, tj. kroz tri komponente brzine oscilovanja stenske mase:

v_x - horizontalne transversalne komponente, poprečne na pravac kretanja talasa,

v_l - horizontalne longitudinalne komponente, uzdužne u pravcu kretanja talasa,

v_v - vertikalne komponente.

Merenje parametara potresa stenske mase vrši se instrumentima koji se nazivaju seizmografi. Seizmograf se sastoji iz dva glavna dela i to: senzora - geofona preko kojeg se vrši registrovanje pomeranja stenske mase i dela koji prima impulse i pretvara ih u grafički i numerički zapis. U ovom slučaju merenja su izvršena je instrumentom Vibraloc, švedske firme ABEM (ABEM Vibraloc, 2010). Seizmograf je konstruisan tako da može da registruje brzinu oscilovanja u pravcima X , Y i Z -osa pravouglog koordinatnog sistema, pri čemu se preračunava ubrzanje i pomeranje stenske mase, kao i vrednost frekvencije. Snimanje vazdušnih udara može se vršiti na četvrtom kanalu upotrebom mikrofona povezanog na eksterni konektor.

Osnovne karakteristike seizmografa Vibraloc:

- Tip i oznaka instrumenta: Vibraloc
- Proizvođač: Švedska
- Mogućnost merenja: brzina, ubrzanje, pomeranje
- Broj kanala: tri kanala – brzina, četvrti kanal - vazdušni udari
- Broj komponenti: tri - poprečna, vertikalna, uzdužna
- Opseg frekvencije: 2 - 250 [Hz]
- Mogućnost lokacije: ravni podovi, ploče, temelji, tlo
- Nivo okidanja, V, L, T brzina (trigger levels): 0.1 – 200 [mm/s]
- Nivo okidanja kanala A (mikrofon): 2 – 150 [Pa]
- Uzorkovanje (sampling): 1000, 2000 ili 4000 [Hz]
- Dužina snimanja: 1–100 s ili automatska dužina
- Transfer podataka: Vibraloc PC software
- Analiza podataka: UVSZ i UVSZA software.

U pakovanje Vibraloca uključen je UVSZ program, koji se koristi za analizu i prezentaciju podataka merenja na računaru i UVSZA prošireni program, za analizu u frekventnom domenu.

Na slici 1 dat je prikaz seizmografa “Vibraloc” švedske firme ABEM.



Slika 1: Instrument “Vibraloc” firme ABEM – Švedska

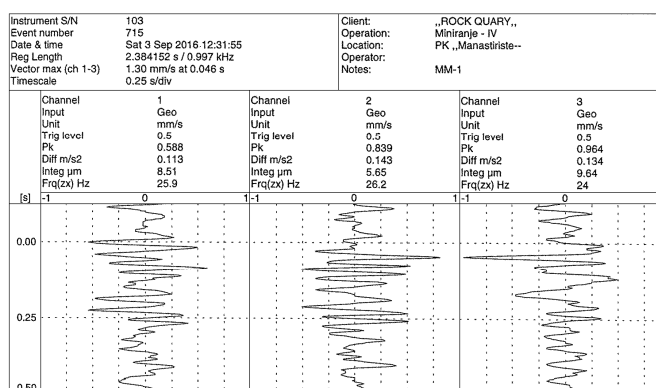
Probno miniranje izvedeno je na površinskom kopu „Manastirište“ kod Arandelovca (Lutovac et al., 2017). Osnovnu stensku masu ležišta čine karbonatne stene tj. kalcitski mermeri različitih varijeteta. Za registrovanje seizmičkih talasa korišćena su četiri instrumenta na odgovarajućim mernim mestima. Merenje brzine oscilovanja izvršeno je u cilju zaštite od potresa Manastira Svetog arhangela Mihaila, koji se nalazi u neposrednoj blizini PK „Manastirište“. U tabeli 3 prikazani su osnovni parametri miniranja: rastojanje r od minskog

polja MP do mernog mesta MM i ukupna količina upotrebljenog eksploziva Q , kao i rezultati merenja.

Tabela 3: Prikaz parametara miniranja i rezultati merenja

MM	r [m]	Q [kg]	v [mm/s]			v_{max}	v_{st}	f [Hz]		
			v_v	v_F	v_I			f_v	f_F	f_I
MM1	287.57	445.0	0.588	0.839	0.964	1.406	1.30	25.9	26.2	24.0
MM2	257.80	445.0	0.682	0.931	0.495	1.256	1.12	27.7	24.0	22.7
MM3	278.21	445.0	0.620	0.554	0.708	1.092	0.79	21.1	14.2	24.6
MM4	282.26	445.0	0.708	0.405	0.575	0.998	0.75	24.1	24.1	13.5

Na slici 2 prikazan je snimak promene brzine oscilovanja sa vremenom, tj. velosigram za komponente brzine merene u tri pravca.



Slika 2: Velosigram promene brzine oscilovanja stenske mase

Na ovom snimku mogu se očitati odgovarajući podaci. Uzdužna osa svake trajektorije promene brzine pokazuje vreme u delovima sekunde, a osa upravna na nju vrednost brzine. Sa zapisa se mogu očitati maksimalne vrednosti za sve tri komponente brzine oscilovanja stenske mase. Na osnovu toga može se odrediti maksimalna brzina oscilovanja stenske mase v_{max} po formuli:

$$v_{max} = \sqrt{v_v^2 + v_F^2 + v_I^2} \left[\frac{mm}{s} \right] \quad (1)$$

Maksimalna brzina oscilovanja v_{max} dobija se tako što se sa snimljenog velosigrama očitava maksimalna amplituda posebno za svaku komponentu, a zatim se izračuna rezultujuća maksimalna brzina oscilovanja po formuli 1.

Stvarna brzina oscilovanja v_{st} dobija se tako što se sa snimljenog velosigrama očitaju amplitude u istom vremenskom trenutku za sve tri komponente, a zatim se računa rezultujuća

stvarna brzina po istoj formuli. Na datom velosigramu moguće je direktno očitati stvarnu brzinu oscilovanja (vektor max (ch 1-3)).

Uzimanjem u obzir maksimalne brzine oscilovanja rezultati su na strani sigurnosti, jer je maksimalna brzina oscilovanja uvek veća od stvarne, a stvarna je ona koja deluje na objekat.

5. ZAKLJUČAK

Izvođenje probnih miniranja sa ciljem utvrđivanja intenziteta potresa, u zavisnosti od načina izvođenja miniranja i geoloških karakteristika stenske mase, samo je jedan deo u procesu zaštite od miniranja. U ovom radu primenjen je program UVSZ za merenje parametara od miniranja i njihovu analizu. Na osnovu dobijenih merenih vrednosti i primenjenih odgovarajućih kriterijuma, možemo zaključiti da se dobijeni rezultati merenja nalaze u okviru dozvoljenih vrednosti za usvojeni način izvođenja miniranja.

LITERATURA

- [1] ABEM Vibraloc (2010). Preuzeto 8. septembra 2021, sa <https://americasguidelin.cdn.triggerfish.cloud/uploads/2016/03/Vibraloc.pdf>
- [2] Baulovič, J., Pandula, B., Kondela, J., & Prekopová, M. (2019). Optimizing the seismic effects of blasting in quarries by timing, *High Energy Materials*, 11 (2), 48 – 62. DOI: 10.22211/matwys/0178 ISSN 2083-0165
- [3] Coltrinari, G. (2016). Detecting seismic waves induced by blast operations at a limestone quarry by means of different transducer mounting. *Int. J. Sustain. Dev. Plan.*, 11, 959–969.
- [4] Kabwe, E., & Wang, Y.M. (2016). Airblast and ground vibration monitoring at Chimiwungo pit. *Geomaterials*, 6, 28-38. doi: 10.4236/gm.2016.61003
- [5] Kojić, I. (2019). Ekološko obrazovanje i zaštita životne sredine, XII Skup privrednika i naučnika, „Ekološki menadžment“. 309 – 316. Beograd: Fakultet organizacionih nauka.
- [6] Lutovac, S., Trajković, S., & Bajić, S. (2017). Studija seizmičkih uticaja miniranja na PK „Manastirište“ – kod Topole na okolne objekte sa posebnim osvrtom na manastir Svetog arhangela Mihaila, 1-32. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Rudarsko – geološki fakultet.
- [7] Malbašić, V., & Stojanovic, L. (2018). Determination of seismic safety zones during the surface mining operation development in the case of the “Buvac” open pit. *Minerals*, 8, 71. doi: 10.3390/min8020071
- [8] Mohamed, A.M., & Mohamed, A.E.E.A. (2013). Quarry blasts assessment and their environmental impacts on the nearby oil pipelines, southeast of Helwan City, Egypt. *NRIAG J Astron Geophys*. doi: 10.1016/j.nrjag.2013.06.013