

# Analiza seizmičkog dejstva eksplozije pri miniranju na primeru izrade tunela Golubac kod Golupca

Suzana Lutovac, Miloš Gligorić, Jelena Majstorović, Luka Crnogorac



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Analiza seizmičkog dejstva eksplozije pri miniranju na primeru izrade tunela Golubac kod Golupca | Suzana Lutovac, Miloš Gligorić, Jelena Majstorović, Luka Crnogorac | XV Međunarodna konferencija OMC 2022, Zlatibor, 12-15. oktobar 2022. | 2022 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006982>

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](http://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](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)



---

**ANALIZA SEIZMIČKOG DEJSTVA EKSPLOZIJE PRI MINIRANJU NA PRIMERU IZRADE  
TUNELA GOLUBAC KOD GOLUPCA**

**ANALYSIS OF SEISMIC EFFECT OF EXPLOSION DURING BLASTING ON THE  
EXAMPLE OF TUNNEL CONSTRUCTION GOLUBAC NEAR GOLUBAC**

Lutovac S.<sup>1</sup>, Gligorić M.<sup>2</sup>, Majstorović J.<sup>3</sup>, Crnogorac L.<sup>4</sup>

**Apstrakt**

Savremeno rudarstvo, a pogotovo masovna eksploatacija metaličnih ležišta, ne bi se mogla zamisliti bez primene eksploziva. Rudarstvo je privredna grana, gde su eksplozivi našli najširu primenu za eksploataciju čvrstih mineralnih sirovina. Primena energije eksploziva dovodi do poboljšanja tehničko-ekonomskih pokazatelja pri eksploataciji mineralnih sirovina, ali i do pojave negativnih efekata koji prate radove na miniranju. Eksplozivni materijali u rudarstvu, geologiji i drugim delatnostima, svojim dejstvom narušavaju prirodnu sredinu u vidu drobljenja, razbacivanja komada stene, vazdušnih udara, pojave seizmičkih efekata, pojave gasova itd. Najvažniji uslov, pri korišćenju eksplozivnih sredstava, je da pomenuti efekti pre svega ne utiču nepovoljno na ljude, kao i da ne oštećuju stambene ili industrijske objekte, koji se mogu naći u polju njihovog dejstva. U ovom radu prikazana je analiza seizmičkog dejstva eksplozije na okolne objekte, koje je nastalo kao posledica miniranja pri izradi tunela Golubac kod Golupca, Istočna Srbija. S obzirom da u našoj zemlji još nisu doneti propisi kojima se reguliše nivo potresa koji nastaje kao posledica miniranja, ocena seizmičkog dejstva miniranja određena je na osnovu kriterijuma IFZ Akademije nauka Rusije, kriterijuma u SR Nemačkoj i kriterijuma prema USA normama.

**Ključne reči:** miniranje, seizmičko dejstvo, brzina oscilovanja stenske mase, kriterijumi ocene seizmičkog dejstva

**Abstract**

Modern mining cannot be imagined without usage the explosives, especially the mass mining of metal deposits. Mining is an economic branch where explosives found the extensive application for exploitation the hard mineral raw materials. Usage the energy of explosive leads to technical-economic indicators improvement during the mineral raw materials mining but also leads to appearance of negative effects that follow blasting works. Explosive materials in mining, geology and other activities violate the natural environment by their effect in sight of crushing, scattering of rock pieces, air strikes, appearance the seismic effects, appearance the harmful gases etc. During the usage of explosives, the most important requirement is that the mentioned effects primarily do not unfavourable influence on people, as well as that they do not damage the residential and industrial objects that can be found in the field of their effect. This paper presents an analysis of seismic effect of explosion on the surrounding objects that is caused as a result of blasting works during the tunnel construction Golubac near Golubac, East Serbia. Considering that standards that regulate the level of shock caused by blasting still not

---

<sup>1</sup> Prof. dr Lutovac Suzana, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, [suzana.lutovac@rgf.bg.ac.rs](mailto:suzana.lutovac@rgf.bg.ac.rs)

<sup>2</sup> Doc. dr Gligorić Miloš, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, [milos.gligoric@rgf.bg.ac.rs](mailto:milos.gligoric@rgf.bg.ac.rs)

<sup>3</sup> Majstorović Jelena, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, [jelena.majstorovic@rgf.bg.ac.rs](mailto:jelena.majstorovic@rgf.bg.ac.rs)

<sup>4</sup> Crnogorac Luka, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, [luka.crnogorac@rgf.bg.ac.rs](mailto:luka.crnogorac@rgf.bg.ac.rs)

created in our country, the seismic effect evaluation of blasting is determined based on criterion of IFZ Russian Academic of Science, criterion of SR in Germany and criterion according to USA standards.

**Key words:** blasting, seismic effect, rock mass oscillation velocity, criteria for the seismic effect evaluation

## 1. Uvod

Eksplוזija izazvana detonacijom hemijskih ili nekih drugih eksplozivnih materija praćena je oslobađanjem velike kolićine energije. Ta energija u kratkom intervalu oslobađa ogromnu snagu koja mođe biti iskorišćena za razaranja stenske mase. Tom prilikom veći deo energije se iskoristi za razaranja stene, a deo energije se u vidu seizmićkog talasa gubi u stenskom masivu [1, 2].

Prema efektu koji se postiđe delovanjem udarnog talasa izazvanog detonacijom, u zavisnosti od centra eksplozije, dolazi do razlićitih promena u stenskom masivu. U stenskom masivu mogu se razlikovati tri zone: zona mrvljenja i drobljenja, zona razaranja i trajnih deformacija i zona potresanja. U prvoj i drugoj zoni dolazi do potpune promene stenske mase. U prvoj zoni ova promena se manifestuje u intenzivnom mrvljenju i drobljenju stenskog materijala. U drugoj zoni dolazi do stvaranja velikog broja pukotina i pukotinskih sistema, duđ kojih dolazi do potpunog kidanja veza između pojedinih delova stenske mase i promene fizićkih i mehanićkih svojstava stenskog materijala. U prve dve zone dolazi do razaranja stenske mase, što se u rudarstvu smatra korisnim radom i pri tome se utroši najveći deo raspolođive energije. U trećoj zoni se, preostali, manji deo energije izgubi u vidu elastićnog talasa u stenskoj masi. Delovanjem seizmićkog elastićnog talasa ćestice stenske mase se pomeraju iz svog ravnotežnog polođaja u granicama elastićnih deformacija. Takvo pomeranje ćestica ne stvara prsline i pukotine, već samo potres, pa se zbog toga ova zona naziva zonom potresanja [3, 4]. Sa seizmićkog stanovišta, zona potresanja je posebno znaćajna, jer elastićni talasi koji se prostiru u toj zoni imaju osobine seizmićkih talasa, a njihovo delovanje i posledice imaju isti karakter kao i seizmićki talasi izazvani zemljotresom i mogu dovesti do oštećenja objekata [5, 6, 7].

## 2. Parametri oscilovanja stenske mase

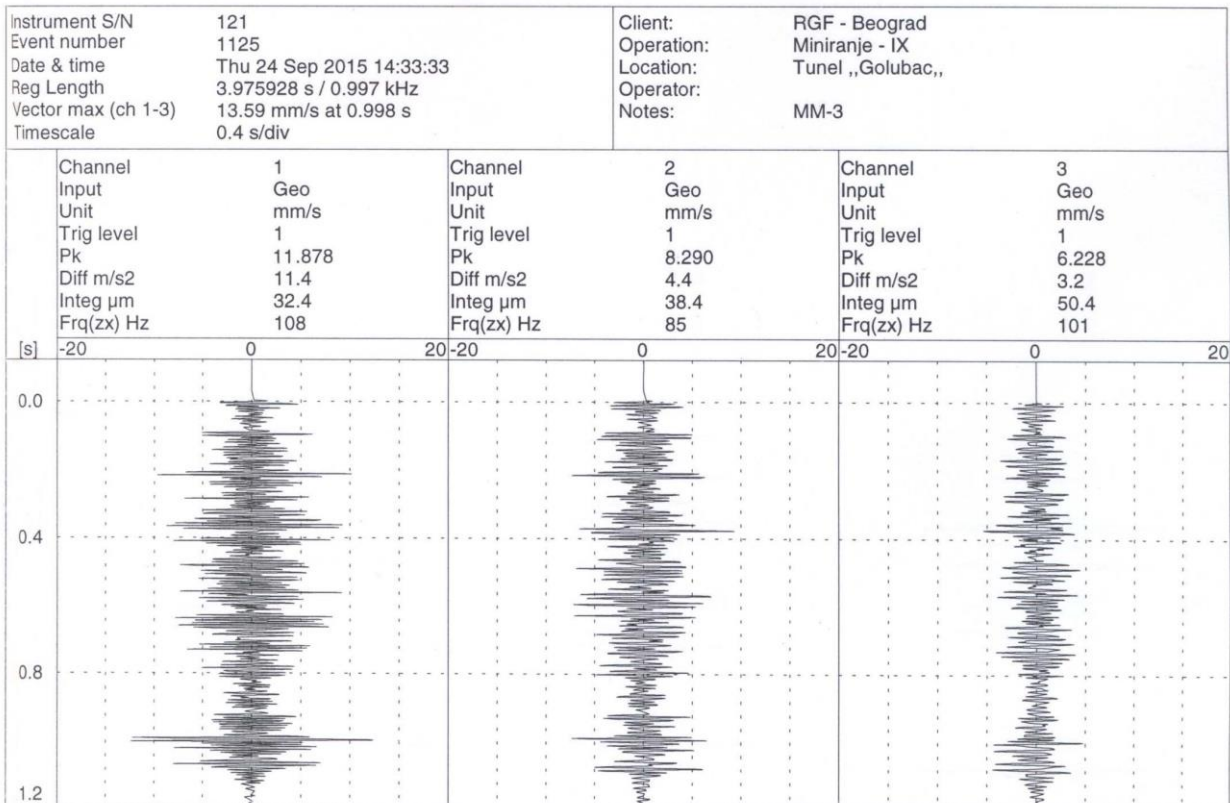
Intenzitet potresa koji je prouzrokovan miniranjem, mođe se ustanoviti merenjem jednog od tri osnovna dinamićka parametra, koji karakterišu oscilovanje stenske mase. To su: pomeranje ćestica stenske mase  $x$ , brzina oscilovanja stenske mase  $v$  i ubrzanje pobuđene sredine  $a$ .

Kao parametar za ocenu seizmićkog dejstva miniranja najćešće se uzima brzina oscilovanja stenske mase. Smatra se da ona najbolje povezuje i opisuje opasnost od potresa i oštećenja koje mođe izazvati. Iz tog razloga su i odgovarajući standardi za zaštitu od potresa bazirani na podacima koji se odnose na brzinu oscilovanja.

Da bi u nekom trenutku definisali intenzitet potresa i pravac delovanja rezultantne sile, potrese registrujemo u tri pravca kao:

- horizontalnu transverzalnu komponentu, normalnu na pravac prostiranja talasa  $v_t$ ,
- horizontalnu longitudinalnu komponentu, u pravcu prostiranja talasa  $v_l$  i
- vertikalnu komponentu  $v_v$ .

Na Slici 1, prikazani su rezultati merenja potresa tj. promene brzine oscilovanja sa vremenom, tzv. velosigrama za tri komponente  $v_v$ ,  $v_t$  i  $v_l$ , pri miniranju na izradi tunela Golubac - miniranje broj 9, merno mesto 3.



Slika 1. Velosigram brzine oscilovanja stenske mase pri miniranju na izradi tunela Golubac - miniranje broj 9, merno mesto 3

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 tla. Na osnovu toga može se odrediti maksimalna brzina oscilovanja tla  $v_{max}$  po formuli:

$$v_{max} = \sqrt{v_v + v_t + v_l} \left[ \frac{mm}{s} \right] \quad (1)$$

Maksimalna brzina oscilovanja  $v_{max}$  dobija se tako što se sa snimljenog velosigrama očita 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.

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.

### 3. Procena šteta od miniranja

U većini zemalja doneti su propisi kojima se reguliše nivo potresa koji nastaje kao posledica miniranja. Ovakvi propisi još nisu doneti u našoj zemlji, tako da se pri rešavanju ovog problema služimo propisima i normama drugih zemalja, najčešće ruskim, nemačkim i američkim [8].

Kriterijum IFZ Akademije nauka Rusije definiše dozvoljeni intenzitet potresa, koji se određuje na osnovu brzine oscilovanja stenske mase. Dozvoljena brzina oscilovanja stenske mase zavisi još i od vrste objekta, značaja i namene. Stepem seizmičkog intenziteta dat je u vidu XII seizmičkih stepeni.

Ocena seizmičkog intenziteta potresa prema ovom kriterijumu data je u Tabeli 1.

**Tabela 1. Ocena seizmičkog intenziteta potresa po kriterijumu IFZ Akademije nauka Rusije**

Brzina oscilovanja stenske mase, $v$ [cm/s]	Stepen seizmičkog intenziteta, $I$	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 prslina 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.

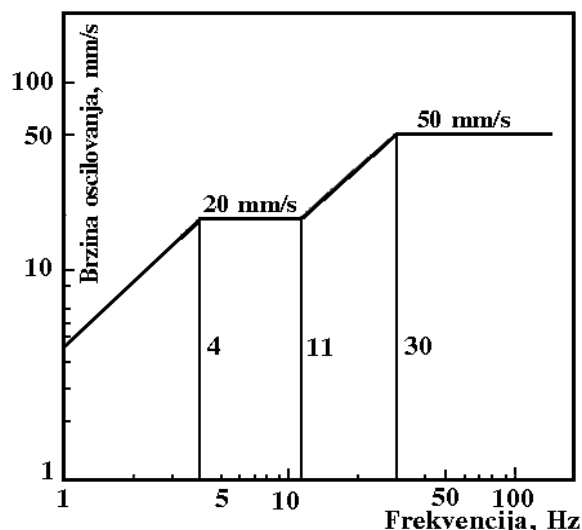
Kao što se iz Tabele 1 vidi, oštećenja na objektima nastaju ako brzina oscilovanja usled miniranja premaši IV stepen seizmičke skale. Oštećenja na zgradama u slabom stanju mogu nastati pri potresu intenziteta V stepena seizmičke skale, dok se kod zgrada u dobrom stanju trajne deformacije mogu očekivati tek u toku VII seizmičkog stepena. Prema tome, za procenu seizmičkog dejstva miniranja na objekte, neophodno je uzeti u obzir i stanje objekata, kao i karakteristike tla i broj i način izvođenja miniranja.

*Kriterijumi u SR Nemačkoj* propisuju maksimalno dopuštene vrednosti brzine oscilovanja stenske mase, u zavisnosti od značaja i stanja objekata, za frekventni opseg od 5 do 100 Hz i za jedno do dva miniranja dnevno. Dozvoljene maksimalne brzine oscilovanja stenske mase prikazane su u Tabeli 2.

**Tabela 2. Orijentacione vrednosti za brzinu oscilovanja  $v$  i frekvenciju oscilovanja  $f$  po DIN**

Br.	Vrsta objekta	Orijentacione vrednosti za brzinu vibracija $v$ [mm/s]			
		Temelj			Tavanice najvišeg sprata
		Frekvencija $f$ [Hz]			
		< 10 Hz	10 - 50 Hz	50 - 100 Hz	Sve frekvencije
1	Objekti koji se koriste za zanastvo, 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

*Kriterijumi prema USA normama* definišu dozvoljene brzine oscilovanja stenske mase u funkciji frekvencije. Za stambene objekte dozvoljene brzine oscilovanja u frekventnom području od 1 do 4 Hz variraju od 4 do 20 mm/s. U frekventnom području 11 do 30 Hz, dozvoljene brzine oscilovanja variraju od 20 do 50 mm/s, a iznad 30 Hz su do 50 mm/s. Grafički prikaz američkog standarda graničnih brzina oscilovanja dat je na Slici 2.



Slika 2. Grafički prikaz američkog standarda graničnih brzina oscilovanja

## 4. Osnovni podaci o tunelu Golubac

### 4.1. Lokacija i karakteristike tunela Golubac

Tunel Golubac se nalazi na oko 4 km od Golupca. Grad Golubac je smešten u istočnom delu Republike Srbije, na samoj granici sa Rumunijom. Granica je reka Dunav. Golubac se i obrazovao na mestu gde Dunav utiče u Đerdapsku klisuru. Golubačka tvrđava je smeštena 4 km nizvodno, na mestu glavnog suženja reke pri utoku u klisuru. Jedinstvenost Dunava ispred Golupca je da je on tu najširi na celom svom toku - preko 6 km. Svega par kilometara nizvodno se sužava na manje od 300 m. Cilj izgradnje tunela bio je vezan za izmeštanje jednog dela magistralnog puta M-25.1, koji je prolazio kroz tvrđavu Golubac.

Nekadašnja deonica kroz Golubačku tvrđavu nije imala jasne elemente trase i poprečni profil. U prolazima kroz tvrđavu nisu bili obezbeđeni minimalni gabariti saobraćajnog profila, tako da su teretna vozila morala da se kreću sredinom kolovoza kako ne bi došla u fizički kontakt sa zidinama ili sa stenskom masom tunela i galerija. Iz tog razloga, magistralni put se svodio na jednu saobraćajnu traku za oba smera vožnje.

Prema novom projektnom rešenju tunel Golubac čini jedna tunelska cev sa dvosmernim saobraćajem.

### 4.2. Geološko-inženjerske karakteristike terena

*Morfološka svojstva terena.* Područje izgradnje tunela Golubac se nalazi na desnoj strani Dunava, neposredno u brdskom zaleđu Golubačke tvrđave. Centralna brdska zona, kroz koju je izgrađen tunel, morfološki posmatrano predstavlja greben - prevoj, koji čini vododelnicu između dve depresije u portalnim zonama.

*Geološka građa terena.* U široj zoni tunela Golubac osnovu čine marinske mezozojske tvorevine. Pored toga što su otkrivene na otvorenim izdancima, one su takođe i nabušene u dve istražne bušotine - na ulaznom i izlaznom portalu. Čine ih čvrsti, kompaktni i masivni krečnjaci.

Na osnovu izvedenih istraživanja i laboratorijskih geomehaničkih ispitivanja utvrđeno je da počev od površine terena do dubine istraživanja 8 m, predmetni teren izgrađuju sedimenti sledećih karakteristika:

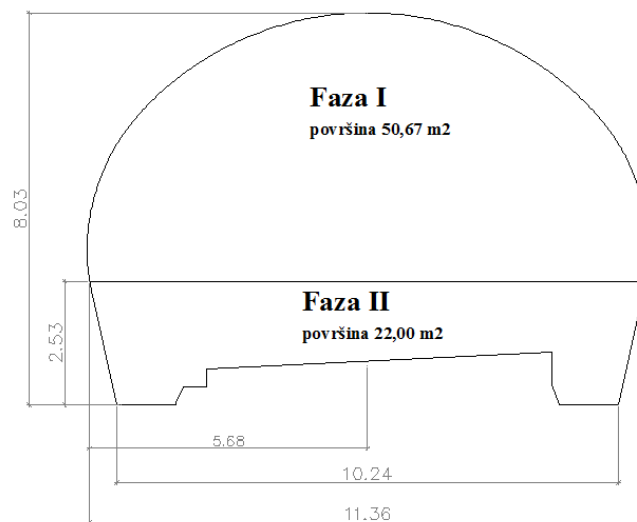
- Humus (h) gradi samu površinu terena male debljine 0,2 m, prašinastog sastava sa povećanim sadržajem organskih materija, trošan, mrko smeđe boje.

- Nasip (n) izgrađuje lokalno površinski deo terena izgrađen uglavnom od drobinskog materijala, znatne debljine 1,7 m.

- Glinoviti krečnjak (g-drk) po granulometrijskom sastavu je prašinsto peskovit sa učešćem: gline 9-10%, prašine 40-46% i peska 19-25%, sadrži sitnu drobinu 19-32%, sadržaj  $\text{CaCO}_3$  12,8-27,3%, dobro konsolidovan, zapreminske težine  $\gamma = 20,0-20,9 \text{ kN/m}^3$ , strukture masivne, prslinske i pukotinske poroznosti, niske plastičnosti, tvrdog konzistentnog stanja  $I_c > 1,3$ , boje svetlo sive do sive.

#### 4.3. Metoda iskopa stenske mase

Za iskop stenskog masiva primenjeni su bušačko-minerski radovi. Metoda izrade tunela koja je primenjena je nova austrijska metoda. Ona se primenjuje u čvrstom, slabo raspucanom stenskom masivu i dozvoljava iskop u punom profilu prostorije tj. tunela. Deo stenske mase neposredno iza konture iskopanog profila treba da primi na sebe osnovno opterećenje izazvano podzemnim pritiskom. To se postiže ugradnjom sidara i postavljanjem čelične mreže sa nabacivanjem sloja prskanog, torkret betona. Ugradnjom sidara stenski masiv je osposobljen da nosi opterećenje, a čelična mreža i prskani beton sprečavaju obrušavanje dela konture koji nije osiguran sidrima. Kao dodatno osiguranje primenjuju se i čelični nepopustljivi okviri [9]. Na Slici 3. prikazan je iskopni profil tunela Golubac.



Slika 3. Iskopni profil tunela Golubac

## 5. Podaci o izvedenim miniranjima i merenjima

Pri izgradnji tunela Golubac izveden je veći broj miniranja na iskopu stenske mase, kako na iskopu kalote tako i u oporcima. U ovom radu prikazan je deo rezultata miniranja i merenja (10 miniranja na ukupno 4 merna mesta) i njihov uticaj na okolne objekte pri izradi tunela Golubac. Miniranja su izvedena u cilju iskopa stenske mase tunela. Za miniranje je korišćen eksploziv Emulex-1, oznake 35/700/840. Aktiviranje eksploziva izvršeno je nonel detonatorima tunelskog tipa.

S obzirom na značaj objekta u blizini koga su se izvodila miniranja, usvojena je maksimalna brzina oscilovanja stenske mase 10 mm/s. Posle izrađenih 40 m tunela usvojena je maksimalna brzina oscilovanja 15 mm/s. Za merenje brzine oscilovanja stenske mase, korišćen je instrument tipa Vibraloc, proizvod švedske firme ABEM.

U Tabeli 3. dat je pregled ukupnih količina eksploziva pri miniranju  $Q_{uk}$ , maksimalnih količina eksploziva po jednom intervalu  $Q_i$ , registrovanih vrednosti brzina oscilovanja po komponentama  $v_v, v_t, v_l$ , rezultujućih maksimalnih brzina oscilovanja  $v_{max}$ , stvarnih brzina oscilovanja  $v_{st}$ , vrednosti frekvenci po komponentama  $f_v, f_t, f_l$ , kao i ocena rezultata merenja na osnovu napred navedenih kriterijuma, za deset miniranja na ukupno četiri merna mesta.

## 6. Pregled i ocena rezultata merenja

Pošto Republika Srbija nema propise kojima se reguliše ova problematika, za ocenu intenziteta potresa nastalih izvođenjem miniranja i njihov uticaj na okolne građevinske objekte, primenjeni su sledeći kriterijumi: kriterijum po skali IFZ Akademije nauka Rusije, kriterijum po DIN 4150 i kriterijum prema USA normama. U Tabeli 3. data je ocena rezultata merenja prema napred navedenim kriterijumima za deset miniranja, na ukupno četiri merna mesta.

Za ocenu izvedenih miniranja, korišćene su sledeće oznake i to za:

Kriterijum po skali IFZ Akademije nauka Rusije:

A – zadovoljava, u granicama dozvoljenih brzina oscilovanja,

B – ne zadovoljava, iznad granice dozvoljenih vrednosti brzine oscilovanja.

Kriterijum po DIN-u 4150:

C – zadovoljava, u granicama dozvoljenih brzina oscilovanja,

D – ne zadovoljava, iznad granice dozvoljenih vrednosti brzine oscilovanja.

Kriterijum po USA normama:

E – zadovoljava, u granicama dozvoljenih brzina oscilovanja,

F – ne zadovoljava, iznad granice dozvoljenih vrednosti brzine oscilovanja.

**Tabela 3. Pregled parametara miniranja sa ocenom rezultata merenja pri iskupu tunela Golubac**

MM	$Q_{uk}$	$Q_i$	$v_v$	$v_t$	$v_l$	$v_{max}$	$v_{st}$	$f_v$	$f_t$	$f_l$	IFZ	DIN	US
1-M1	1,60	0,20	2,962	1,501	1,076	3,490	3,10	102	85,3	102	A	C	E
1-M2	1,60	0,20	6,046	4,356	2,726	7,934	6,87	104	147	115	A	C	E
1-M3	1,60	0,20	1,924	1,460	0,858	2,563	2,12	125	133	107	A	C	E
2-M1	1,60	0,20	2,962	1,501	1,076	3,490	3,10	102	85,3	102	A	C	E
2-M2	1,60	0,20	6,046	4,356	2,726	7,934	6,87	104	147	115	A	C	E
2-M3	1,60	0,20	1,924	1,460	0,858	2,563	2,12	125	133	107	A	C	E
3-M1	2,50	0,50	3,415	1,788	1,211	4,040	3,74	138	122	122	A	C	E
3-M2	2,50	0,50	5,910	7,019	3,910	9,974	8,55	128	109	97,1	A	C	E
3-M3	2,50	0,50	2,128	2,477	1,497	3,592	2,67	128	148	68,9	A	C	E
4-M1	3,38	0,845	1,606	1,126	0,852	2,138	1,74	121	128	156	A	C	E
4-M2	3,38	0,845	3,910	6,274	3,575	8,212	7,11	148	134	105	A	C	E
4-M3	3,38	0,845	2,416	1,858	1,276	3,304	2,63	126	159	132	A	C	E
5-M1	3,36	0,75	6,647	2,075	2,579	7,265	6,71	102	58,4	117	A	C	E
5-M2	3,36	0,75	4,296	1,851	1,206	4,831	4,53	95,8	78,9	91,6	A	C	E
5-M3	3,36	0,75	2,416	2,212	2,201	3,946	3,20	120	146	91,2	A	C	E
6-M1	4,20	1,20	5,902	2,936	3,117	7,292	6,79	120	58,2	135	A	C	E
6-M2	4,20	1,20	8,296	3,340	1,899	9,147	8,82	96,1	81,9	94,2	A	C	E
6-M3	4,20	1,20	3,334	2,610	3,037	5,211	4,09	127	132	103	A	C	E
7-M1	3,60	0,40	4,545	3,245	2,400	6,078	5,88	124	79,3	72,3	A	C	E
7-M2	3,60	0,40	2,205	1,286	1,159	2,970	2,47	114	157	156	A	C	E
7-M3	3,60	0,40	1,947	2,345	2,729	4,091	3,03	141	159	130	A	C	E
8-M1	2,28	0,30	6,490	3,708	3,431	8,224	7,91	112	61,5	145	A	C	E
8-M2	2,28	0,30	6,728	2,302	2,033	7,395	6,89	114	90,4	111	A	C	E
8-M3	2,28	0,30	2,573	3,163	3,939	5,669	4,20	117	136	67,2	A	C	E
9-M2	94,752	2,303	3,364	3,250	2,726	5,414	4,00	115	137	123	A	C	E
9-M3	94,752	2,303	11,878	8,290	6,228	<b>15,771</b>	<b>13,59</b>	108	85	101	<b>BA</b>	C	E
9-M4	94,752	2,303	4,254	4,533	5,504	8,303	5,64	110	81,4	63,3	A	C	E
10-M2	17,766	0,987	1,659	1,557	1,363	2,652	2,34	103	135	100	A	C	E
10-M3	17,766	0,987	7,384	5,331	5,128	10,452	7,94	103	103	73,5	A	C	E
10-M4	17,766	0,987	3,703	5,841	4,740	8,384	6,96	90,5	79,5	75,7	A	C	E

## 7. Zaključak

Pri izgradnji tunela Golubac izveden je veći broj miniranja na iskupu stenske mase. U ovom radu, prikazan je deo rezultata miniranja i merenja (10 miniranja na ukupno 4 merna mesta) i njihov uticaj na



okolne objekte pri izradi tunela Golubac. Miniranja su izvedena u cilju iskopa stenske mase tunela. Za miniranje je korišćen eksploziv Emulex-1. Za aktiviranje eksploziva korišćeni su nonel detonatori tunelskog tipa.

S obzirom na značaj objekta u blizini koga su se izvodila miniranja, usvojena je maksimalna dozvoljena brzina oscilovanja stenske mase 15 mm/s.

Vrednosti brzine oscilovanja stenske mase za merna mesta MM1, MM2 i MM4, prema kriterijumu IFZ Akademije nauka Rusije, prema kriterijumu DIN i prema USA kriterijumu, za sva miniranja su u okviru dozvoljenih vrednosti, pa nemaju uticaja na građevinske objekte.

Vrednosti brzine oscilovanja stenske mase za merno mesto MM3, prema kriterijumu IFZ Akademije nauka Rusije, za sva miniranja, nisu u okviru dozvoljenih vrednosti. Pri miniranju broj 9, maksimalna brzina oscilovanja je nešto iznad dozvoljenih vrednosti, dok je stvarna brzina oscilovanja u granicama dozvoljenih vrednosti. Za sva ostala miniranja maksimalne registrovane brzine oscilovanja stenske mase su u okviru dozvoljenih vrednosti, pa nemaju uticaja na građevinske objekte. Prema kriterijumu DIN i prema USA kriterijumu, maksimalne brzine oscilovanja stenske mase i frekvence za sva miniranja su u okviru dozvoljenih vrednosti.

Na osnovu dobijenih rezultata merenja i različite ocene intenziteta seizmičkog dejstva po napred navedenim kriterijumima, ukazuje se na neophodnost regulisanja ove pojave našim propisima, kako bi se izbegle nedoumice pri oceni seizmičkog dejstva eksplozije, koje nastaje kao posledica miniranja.

## Literatura

- [1] Ongen, T., Karakus, D., Konak, G., Onur, A. H. (2018): Assessment of blast-induced vibration using various estimation models. *Journal of African Earth Sciences*, 145, 267-273
- [2] Xu, Q., Wang, Z. Q. (2021): Model for calculating seismic wave spectrum excited by explosive source. *Shock and Vibration*
- [3] Gonen, A. (2022): Investigation of Fault Effect on Blast-Induced Vibration. *Applied Sciences*, 12(5), 2278
- [4] Wang, T. C., Lee, C. Y., Wang, I. T. (2017): Analysis of blasting vibration wave propagation based on finite element numerical calculation and experimental investigations. *Journal of Vibroengineering*, 19(4), 2703-2712
- [5] Kutuev, V., Menshikov, P., Zharikov, S. (2020): Analysis of blasting seismic impact on underground mining workings under the conditions of the Magnezitovaya mine. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 192, p. 01029). EDP Sciences
- [6] Trifunović, P., Tokalić R., Đukanović, N. (2009): Materijali u rudarstvu, str. 235-236, ISBN 978-86-7352-187-9, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [7] Trajković, S., Lutovac, S. (2014): Zaštita od miniranja, str. 89-90, ISBN 978-86-7352-251-7, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [8] Trajković Slobodan (1993): Oblast primene zakona brzine oscilovanja stenske mase izazvane miniranjem sa posebnim osvrtom na rudarske radove, str. 1-201, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [9] Trajković, S.; Tokalić R.; Lutovac, S.; Bajić S.; Ravilić M.; Gaćina R. (2015): Tehnički projekat bušenja i miniranja pri iskopu tunela Golubac - kod Golupca, str. 1-62, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd