

# Utvrđivanje režima proizvodnih miniranja na osnovi rezultata seizmičkih mjerenja u kamenolomu "Loskunja" Vojnić

---

**Blažun, Matija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

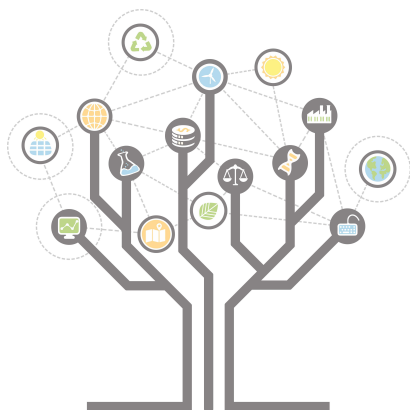
**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:358612>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported / Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerađivanja 3.0](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-24**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



# Utvrđivanje režima proizvodnih miniranja na osnovi rezultata seizmičkih mjerenja u kamenolomu "Loskunja" Vojnić

---

**Blažun, Matija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:358612>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2020-11-20**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Matija Blažun

Utvrdjivanje režima proizvodnih miniranja  
na osnovi rezultata seizmičkih mjerenja u kamenolomu „Loskunja“ Vojnić

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2016

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Utvrđivanje režima proizvodnih miniranja  
na osnovi rezultata seizmičkih mjerenja u kamenolomu „Loskunja“ Vojnić

KANDIDAT:

Matija Blažun

MENTOR:

Izv. prof. dr. sc. Josip Mesec

VARAŽDIN, 2016

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

Otvrdjivanje režima proizvodnih miniranja na osnovi rezultata seizmičkih  
mjerenja u kamionolomu „Kostomir“ Vasinec  
(naslov diplomskog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenom i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **Izv.prof.dr.sc. Josip Meseć**

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan, na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 28. 6. 2016

MATISA BLAŽUNI  
(Ime i prezime)

MBlažun  
(Vlastoručni potpis)

## Sažetak:

Ime i prezime autora: Matija Blažun

Naslov teme: Utvrđivanje režima proizvodnih miniranja na osnovi rezultata seizmičkih mjerenja u kamenolomu „Loskunja“ Vojnić

U ovom radu promatrani su seizmički utjecaji miniranja u kamenolomu Loskunja-Vojnić na okolne stambene objekte te pomoću proizvodnih miniranja određena je optimalna količina punjenja minskih bušotina. U današnje vrijeme sve se više pozornosti i pažnje pridaje na utjecaj miniranja na okoliš. Kako bi se provela i osigurala zaštita od seizmičkog djelovanja, punjenje minskih bušotina mora se izvoditi prema projektiranim veličinama, i po potrebi izvoditi kontrolna mjerenja brzina oscilacija tla na potencijalno ugroženim mjestima. U prvom poglavlju ovog rada ukratko je definirana lokacija kamenoloma i ugožene lokacije na kojima su se mjerile brzine oscilacija tla tijekom proizvodnog miniranja, pomoću prijenosnog seizmografa. Nakon toga su u općem dijelu definirani; zemljopisni položaj kamenoloma Loskunja-Vojnić, opis ležišta, geološke značajke ležišta, hidrogeološke značajke ležišta i inženjersko geološke značajke. U trećem poglavlju navedene su geometrijske veličine projektiranog etažnog sistema kao što su visina radne etaže, širina berme, nagib radnih etaža, te nagib završnih kosina, zatim utjecaj detonacije eksploziva u neposrednom okruženju minskog polja, način otkopavanja, geometrija bušenja, te konstrukcija minske bušotine. Nakon toga definirane su norme, a posebna pažnja posvećena je DIN standardu i dijagramima za preliminarno utvrđivanje dopuštenih količina eksploziva po stupnju paljenja. U četvrtom poglavlju obrađena je relativna seizmička osjetljivost, te način na koji je definirana. Peto poglavlje bavi se prvim proizvodnim minskim poljem, njegovim geometrijskim i minsko-tehničkim značajkama. Rezultati i analiza prvog proizvodnog miniranja interpretirani su u šestom i sedmom poglavlju s pripadajućim dijagramima, dok su u osmom poglavlju definirane mjere sigurnosti i zaštite.

**Ključne riječi :** okoliš, proizvodno miniranje, DIN standard, seizmički efekti miniranja.

## SADRŽAJ:

|  |    |
|--|----|
| 1. Uvod.....   | 6  |
| 2. Opći dio.....   | 9  |
| 2.1. Zemljopisni položaj .....   | 9  |
| 2.2. Opis ležišta.....   | 10 |
| 2.3. Geološke značajke ležišta .....   | 10 |
| 2.4. Hidrogeološke značajke ležišta .....  | 11 |
| 2.5. Inženjersko-geološke značajke ležišta .....   | 11 |
| 3. Geometrijske veličine projektiranog etažnog sistema .....   | 14 |
| 3.1. Utjecaj detonacije eksploziva u neposrednom okruženju minskog polja .....                                 | 16 |
| 3.2. Način otkopavanja u kamenolomu .....  | 17 |
| 3.2.1. Tehnologija oplemenjivanja .....  | 18 |
| 3.2.2. Geometrija bušenja .....  | 20 |
| 3.2.3. Konstrukcija eksplozivnog punjenja minske bušotine .....  | 22 |
| 4. DIN standard i dijagram za preliminarno utvrđivanje dopuštene količine eksploziva po stupnju paljenja ..... | 25 |
| 5. Prvo proizvodno minsko polje, geometrijske i minersko tehničke značajke.....                                | 31 |
| 6. Rezultati mjerenja seizmičkih oscilacija prilikom prvog proizvodnog miniranja ..                            | 34 |
| 7. Analiza i interpretacija dobivenih rezultata .....  | 39 |
| 8. Mjere sigurnosti i zaštite.....   | 42 |
| 8.1. Radovi na otkrivanju ležišta.....   | 42 |
| 8.2. Bušačko-minerski radovi .....   | 43 |
| 9. Zaključak .....   | 46 |
| Literatura:.....   | 48 |
| Popis slika:.....  | 49 |
| Popis tablica:.....  | 50 |
| Grafički prilozi:.....   | 51 |

## 1. Uvod

Na lokaciji kamenolom Loskunja provedena su kontrolna mjerenja kako bi se odredili seizmički efekti miniranja radi blizine stambenih objekata u odnosu na minska polja u kamenolomu i s tim u vezi svođenja seizmičkih efekata u dozvoljene granice. Naročita pažnja posvećena je dozvoljenoj količini eksplozivnog naboja po stupnju paljena. Povoljne rezultate moguće je ostvariti jedino poštivanjem proračunatih veličina, ali i provođenjem pokusnih miniranja početkom eksploatacijskih radova, prilikom kojih treba mjeriti brzine oscilacija tla uzrokovane miniranjima, i na osnovi tih mjerenja utvrditi siguran režim proizvodnih miniranja. Potreba za provođenjem seizmičkih opažanja nameće se i iz razloga jer se radi o prvom proizvodnom miniranju na eksploatacijskom polju Loskunja - Vojnić, prilikom kojeg se izvode bušačko-minerski radovi na otvaranju kamenoloma. Provedbom seizmičkih opažanja potvrđuju se postavljeni parametri miniranja kojima se eliminira štetan utjecaj na okoliš, u prvom redu na ljude te okolne građevine.

Kako bi opažanja bila kvalitetno provedena postavljeni su seizmografi na 4 mjesta opažanja (Slika 1).

- Mjesto opažanja MO-1, obiteljska kuća, nadmorska visina 149 m, jugoistočna strana,
- Mjesto opažanja MO-2, obiteljska kuća, nadmorska visina 181 m, jugoistočna strana,
- Mjesto opažanja MO-3, obiteljska kuća, nadmorska visina 169 m, jugoistočna strana,
- Mjesto opažanja MO-4, obiteljska kuća, nadmorska visina 136 m, sjeverozapadna strana.

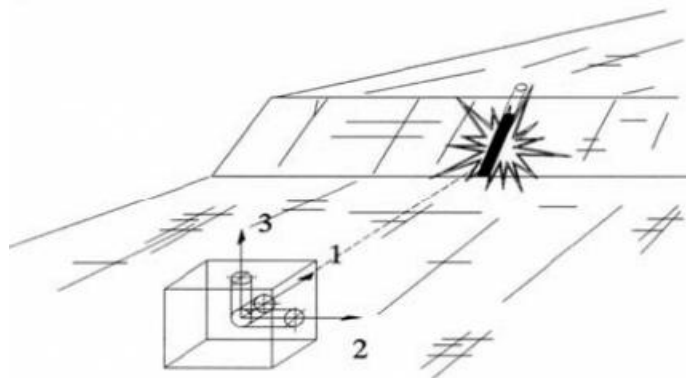




Slika 1. Tlocrtni prikaz lokacija opažanja

Uređaj kojim je obavljeno mjerenje oscilacija tla je pokretni InstanTEL seizmograf s trokomponentnim geofonom. Seizmograf InstanTEL mjeri brzinu, pomak, te pripadajuće frekvencije oscilacija tla i zračni udarni val.

Na mjernim mjestima registrira se brzina osciliranja materijalne čestice u tri međusobno okomite ravnine. Vibracije se registriraju trokomponentnim geofonima koji su spojeni na seizmograf pri čemu svaki od njih bilježi sve tri komponente brzine oscilacija tla na mjestu mjerenja. Trokomponentni geofon se sastoji od tri pojedinačna geofona postavljena u tri prostorne, međusobno okomite osi (Slika 2.).



Slika 2. Princip rada trokomponentnog geofona

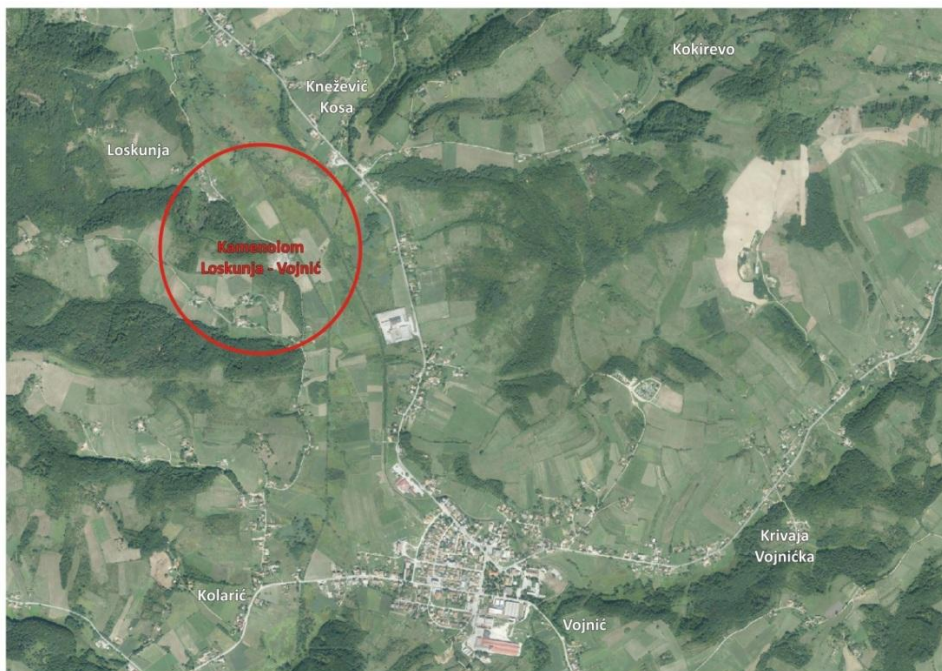
U sljedećim poglavljima ovog rada opisani su osnovni podatci o najvažnijim geološkim, tektonskim i inženjersko-geološkim značajkama predmetnog stijenskog masiva koji su odredili najvažniji projektni parametar proizvodnih miniranja, dozvoljenu količinu eksploziva po stupnju paljenja, a koji je analiziran i interpretiran u ovom radu na osnovi rezultata kontrolnih mjerenja seizmičkih efekata prvog proizvodnog miniranja.

## 2. Opći dio

### 2.1. Zemljopisni položaj

Eksploatacijsko polje "LOSKUNJA-VOJNIĆ" nalazi se u općini Vojnić uz desnu stranu regionalne ceste Tušilović-Vojnić, oko 1 km sjeverozapadno od Vojnića, (Slika 3.), u dolini rijeke Radonje i Kuplenskog potoka. Smješteno je na istočnim padinama Živkovića brda koje predstavlja morfološki dobro razvijen teren jugoistočnog ruba Loskunjske gore. Udaljen je oko 1 km zapadno od trigonometra Apalovo brdo ( 221 m.n.v.). Prema teritorijalno upravnom ustrojstvu Republike Hrvatske eksploatacijsko polje „Loskunja-Vojnić“ nalazi se u Karlovačkoj županiji u općini Vojnić. Privredna djelatnost orijentirana je na šumarstvo, poljoprivredu (kukuruz, žitarice), voćarstvo i stočarstvo, te rudarstvo (keramičke gline). Veći dio općine devastiran je za vrijeme domovinskog rata. U novije doba vratio se dio stanovništva uz intenzivnu obnovu porušenih naselja.

U ovom području prevladava umjereno kontinentalna klima. Ljeta nisu jako vruća i obiluju padalinama. Zime su umjerene s izraženim hladnijim periodima koji uglavnom kratko traju. Povremeno ima snijega u obilnim količinama, koji se samo u višim predjelima dulje zadržava. Proljeća i jeseni su ugodna, a padaline su najobilnije u hladnijoj polovici godine. Srednja godišnja količina padalina iznosi približno 1 500 mm.



Slika 3. Zemljopisni položaj kamenoloma

## 2.2. Opis ležišta

Ležište Loskunja - Vojnić zauzima veliki prostor. Sa sjeverozapadne (zapadne) i jugoistočne (istočne) strane ležišta nalaze se dva kamenoloma na udaljenosti od 400 m (Slika 4.). Istražnim radovima između njih zatvoren je prostor ležišta pružanja sjeverozapad-jugoistok maksimalne dužine 470, širine 160 m. Uzdužno s ležištem, sa sjeverne strane, prolazi odličan makadamski put osposobljen za promet kamiona. Udaljenost od asfaltnog puta Karlovac - Tušilović - Vojnić iznosi oko 800 m. Zapadni kamenolom veličine je oko 100 x 50 m, visine čela od oko 30 m. Istočni kamenolom veličine je 80 x 80 m, visine čela od 15 m. Osnovni plato oba kamenoloma je između 135 i 136 m.n.v. Najveća kota ležišta iznosi 204 m.n.v.



Slika 4. Tlocrtni prikaz kamenoloma Loskunja – Vojnić

## 2.3. Geološke značajke ležišta

Ležište tehničko-građevnog kamena "Loskunja-Vojnić" izgrađeno je u cjelini od dolomita srednjeg do gornjeg trijasa. Dolomiti su kristalični mozaične građe, zdrobljeni, ispresjecani bijelim dolomitnim žilicama, brečificirani, sive do tamnosive boje. Slabo izražena slojevitost markirana je promjenom teksturnog tipa dolomita (svjetlo sivi, tamnije sivi i bijeli varijeteti). U mikroskopskom preparatu determinirani su kao

srednjezranti kristalični dolomiti veličine zrna 0,03 mm do 0,13 mm. Zrna su pretežito nepravilna, rjeđe su romboedarski kristali. Ležište je ispresjecano brojnim različito orjentiranim pukotinama. Debljina humusnog pokrivača je uglavnom mala (maksimalno 1 m). Samo na jednom manjem dijelu (sjeverno od istražnih raskopa) njegova debljina dostiže 3 m [1].

#### 2.4. Hidrogeološke značajke ležišta

Ležište se nalazi uz lijevu obalu Kuplenskog potoka koji utječe u rijeku Radonju. Sve padalinske vode samog kamenoloma i okolnog područja dreniraju se u spomenuti potok. S obzirom na dobar morfološki položaj kamenoloma, ne postoji opasnost od bujičnih tokova. Razina podzemne vode područja je nepoznata, ali je sigurno da je ona niža od osnovnog platoa kamenoloma na koti 136 m.n.v., te se isključuje bilo kakav utjecaj podzemnih voda na ležištu.

U slučajevima jačih oborina, na neravnim dijelovima osnovnog platoa može se zadržavati po nekoliko dana izvjesna količina padalina. To znači da osnovni plato treba uvijek održavati strojnim ravnanjem i padom od 1 % prema jugoistoku u pravcu Kuplenskog potoka, čime se eliminiraju problemi sa povremenim jačim oborinama.

#### 2.5. Inženjersko-geološke značajke ležišta

Inženjersko-geološke značajke dolomitne stijenske mase ležišta određene su izravnim opažanjima na postojećim otkopnim frontama postojećeg sjeverozapadnog i jugoistočnog kamenoloma. (Slike 5. i 6)



Slika 5. Jugoistočni dio kamenoloma



Slika 6. Sjeverozapadni dio kamenoloma

Osim toga, izvedeni su i raskopi u ležištu. Raskopi se obično izgrađuju tamo gdje je pokrivač tanak i rastresit pa je moguće izravno promatranje i mjerenje građe pokrivača i površine osnovne stijene [1]. Stijenska masa predstavljena je dolomitom slabo izražene slojevitosti koja je markirana promjenom njegovog teksturnog tipa (svjetlosivi stromatolitski, tamnije sivi mikritski i bijeli kristalični varijeteti).

Slojevitost je izraženija u zapadnom dijelu ležišta. Razmak između diskontinuiteta koji odgovaraju slojevitosti i međuslojnom klivažu je između 40 i 200 cm, duljine 10-20 m ili preko 20 m, s koeficijentom hrapavosti  $JCR_{10} = 14$  do 18, zijača 1 do 5 mm s ispunom od smjese dezintegrirane stijene i glinovite supstance [2].

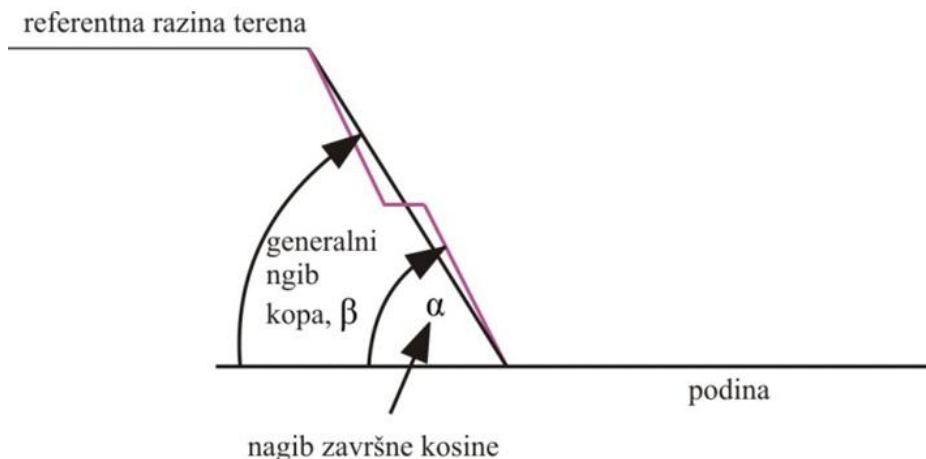
Normalno naprezanje u diskontinuitetu određeno je iz mase bloka iznad diskontinuiteta kod čega je učinjen niz iteracija s variranjem nagiba kosine. Čvrstoća diskontinuiteta određena prema Bartonu definirana je kohezijom od 10 kPa i kutom trenja  $43^\circ$ , za normalno naprezanje od 68 kPa. Faktor sigurnosti za radnu kosinu visine 20 m s nagibom  $70^\circ$ , s kritičnim diskontinuitetom nagiba  $55^\circ$  i vlačnom pukotinom dubine 2 m je 1,011 za ravni i 1,319 za nelinearni slom uz posmično naprezanje od 70 kPa. Završna kosina također visine 20 m, stabilna je po kutom od  $65^\circ$ [2].

Na osnovi gore izloženih inženjersko-geoloških značajki procijenjena je vrijednost geološkog indeksa čvrstoće  $GSI = 40$ .

### 3. Geometrijske veličine projektiranog etažnog sistema

Širina radnih etažnih ravnina iznosi 7 m, čime se postižu zadovoljavajući faktori sigurnosti kosina i omogućava učinkovito prebacivanje stijenskih masa do utovarno transportnog platoa. Širina završnih etažnih ravnina (bermi) iznositi će 12 m. Kut nagiba kosina etaža prema horizontali u radnim konturama će iznositi  $70^\circ$ , a u završnim konturama kamenoloma će iznositi  $65^\circ$ . Generalni kut radne kosine kamenoloma je promjenjiv i mijenjat će se tijekom pojedinih faza eksploatacije ovisno o broju i trenutnoj širini svake pojedine etaže, a generalni kut završne kosine kamenoloma iznositi će maksimalno  $45^\circ$ . Radni, odnosno završni generalni kut nagiba kamenoloma, čine sve etaže a definiran je pravcem povučenim kroz donji rub najniže etaže do gornjeg ruba najviše etaže (Slika 7.). Obzirom da su u geološkom elaboratu bilančne rezerve mineralne sirovine potvrđene do 136 m.n.v. ta se kota uzima za osnovni plato kamenoloma. Najviša kota terena na eksploatacijskom polju „Loskunja – Vojnić“ iznosi 204 m.n.v. Iz tako definirane visinske razlike između najniže i najviše kote ležišta, projektiran je višetažni sustav od ukupno četiri etaže i to:

- osnovni plato kamenoloma na koti k+136 m.n.v
- prva etaža od kote k+136 do kote k+156 m.n.v
- druga etaža od kote k+156 do kote k+176 m.n.v
- treća etaža od kote k+176 do kote k+196 m.n.v
- četvrta etaža od kote k+196 do presjeka s površinom terena



Slika 7. Geometrijske veličine etažnog sistema [3]



Otvaranje kamenoloma započeto na jugoistočnom dijelu prikazano je na slikama 8, 9 i 10.



Slika 8. Jugostočni dio kamenoloma s formiranim etažama



Slika 9. Pogled na osnovni plato s prve etaže

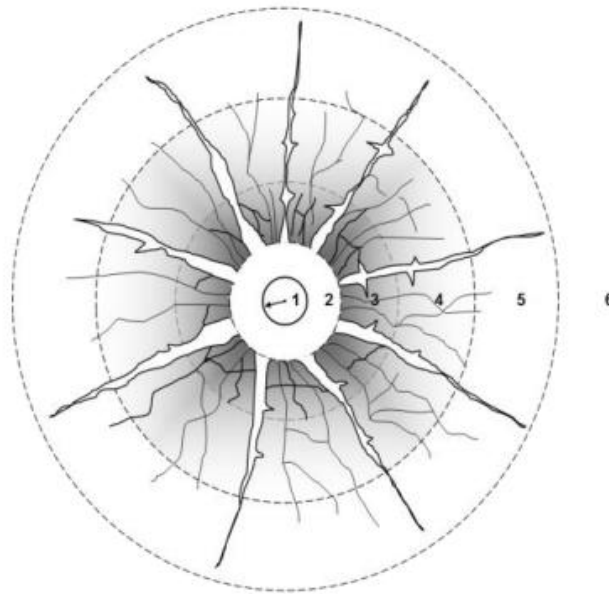


Slika 10. Prikaz daljnjeg širenja jugoistočnog dijela kamenoloma

### 3.1. Utjecaj detonacije eksploziva u neposrednom okruženju minskog polja

Pod detonacijom se podrazumijeva vrlo brza kemijska reakcija kod koje eksplozivna materija prelazi iz čvrstog agregatnog stanja u plinovito. Pritom se oslobađa velika količina potencijalne energije eksploziva koja se najvećim dijelom koristi za razaranje i drobljenje stijena, a manjim se dijelom pretvara u kinetičku energiju seizmičkih i zvučnih valova koji se šire radijalno na sve strane [4]. Zone djelovanja eksplozije u stijeni definiraju se kružno počevši od centra eksplozivnog naboja (Slika 11.).

Nadalje, neposredni okoliš minskog polja također je izložen razbacivanju komada stijene, te zračnom udaru i umjetnom potresu, kao posljedica aktiviranja mina. Navedeni nepoželjni i štetni utjecaji detonacije eksplozivnog naboja na objekte u neposrednom okruženju minskog polja, definiraju se u minerskoj praksi kao nekontrolirani mehanički rad.



Slika 11. Zone djelovanja eksplozije u stijeni

1. Minska bušotina
2. Zona drobljenja
3. Značajno frakturirana zona
4. Umjereno frakturirana zona
5. Malo frakturirana zona
6. Neporemećena stijenska masa

### 3.2. Način otkopavanja u kamenolomu

Otkopavanje mineralne sirovine u kamenolomu Loskunja-Vojnić izvodi se bušenjem i miniranjem dubokih minskih bušotina. Duboke minske bušotine promjera 76 mm i nagiba  $70^\circ$  prema horinzontali buše se udarno-rotacijskom bušilicom, sa vanjskim čekićem, pogonjenom zrakom iz kompresora. Kut nagiba radnih etaža iznosi  $70^\circ$ . Za eksplozivno punjenje minskih bušotina koristi se Elmex – eksploziv tipa ANFO, mješavina granuliranog amonijeva nitrata i mineralnog ulja koji se pakira u vreće od PVC-a po 25 kg, a iniciranje predmetnog minskog polja izvodi se patronom amonala, Nonel sutavom i trenutnim električnim detonatorom.

### 3.2.1. Tehnologija oplemenjivanja

U predmetnom kamenolomu za oplemenjivanje mineralne sirovine koristi se udarna drobilica s dvoetažnim visokoučinkovitim pred-sitom, sekundarnim prosijavanjem i povratnom trakom tip MOBIREX MR 110 Z EVO 2 i mobilno postrojenje za sijanje s troetažnim sitom (triple-deck vibration screen) tip MOBISCREEN MS 16 D, proizvođača KLEEMANN GmbH iz Njemačke (Slika 12.).



Slika 12. Udarna drobilica

#### OSNOVNE TEHNIČKE OSOBINE:

Ulazni materijal:

Kameni krš, lomljeni beton, lomljeni asfalt i prirodni kamen 0-600 mm (pojedinačni dijelovi max širine 900 mm, visine 600 mm i dužine 1000 mm).

Kapacitet ulaza:

Do 350 t/h, ovisno o vrsti i sastavu ulaznog materijala kako i o veličini odnosno količini pred prosijanog agregata i konačne veličine granulata.

Kapacitet drobljenja (Tablica 1.) :

Tablica 1. Kapaciteti drobljenja

|                           | do 250 t/h<br>lomljenog<br>betona                    | do 300 t/h<br>kamenog krša                           | do 250 t/h<br>lomljenog<br>asfalta,                  | do 300 t/h<br>vapnenca                               |
|---------------------------|--|--|--|--|
| Konačna vel.<br>granulata | 0-45 mm sa cca.<br>10-15%<br>prekomjerne<br>veliĉine | 0-45 mm sa cca.<br>10-15%<br>prekomjerne<br>veliĉine | 0-32 mm sa cca.<br>10-15%<br>prekomjerne<br>veliĉine | 0-45 mm sa<br>cca. 10-15%<br>prekomjerne<br>veliĉine |

Uz drobilicu koristi se i postrojenje za sisanje s troetažnim sitom (triple-deck vibration screen) tip KLEEMANN MOBISCREEN MS 16 D (Slika 13.).



Slika 13. Postrojenje za sisanje s troetažnim sitom

Ulazni materijal:

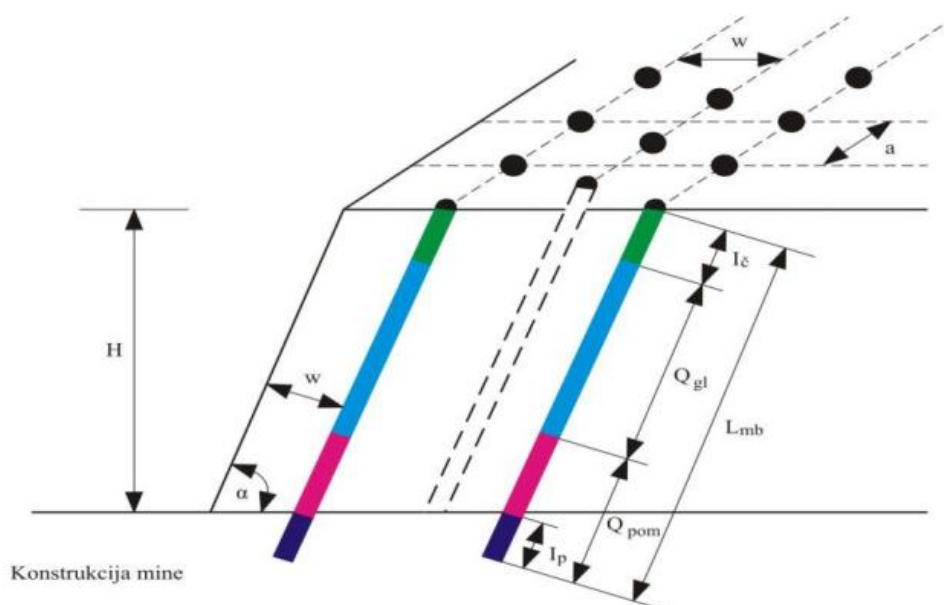
Kameni krš, lomljeni beton, lomljeni asfalt i prirodni kamen do maks. 150 mm.

Kapacitet ulaza:

Do 350 t/h, ovisno o vrsti i sastavu ulaznog materijala.

### 3.2.2. Geometrija bušenja

Na sljedećoj slici prikazane su osnovne veličine za miniranje s plitkim ili dubokim bušotinama (Slika 14.).



Slika 14. Postrojenje za sijanje s troetažnim sitom

|   |                     |
|---|---------------------|
| razmak minskih bušotina                 | $a$ [m]             |
| linija najmanjeg otpora (izbojnica)     | $w$ [m]             |
| duljina minskih bušotina                | $l_b$ [m]           |
| nagib minskih bušotina                  | $\alpha$ [°]        |
| promjer minskih bušotina                | $D$ [mm]            |
| vrsta eksploziva                        |                     |
| količina glavnog eksplozivnog punjenja  | $Q_{gl}$ [kg]       |
| količina pomoćnog eksplozivnog punjenja | $Q_{pom}$ [kg]      |
| duljina čepa minskih bušotina           | $l_{\check{c}}$ [m] |
| duljina probušenja                      | $l_p$ [m]           |

Prema U. Langeforsu, za visinu etaže 20 m i eksploziv Elmex proračunato je:

Tablica 2. Geometrija bušenja

|                         | Izračunato:             | Usvojeno: |
|-------------------------|-------------------------|-----------|
| Linija najmanjeg otpora | $w = 3,40 \text{ m}$    | 3,50 m    |
| Razmak minskih bušotina | $a = 3,85 \text{ m}$    | 4,00 m    |
| Duljina minske bušotine | $L_b = 22,47 \text{ m}$ | 22,50 m   |

Proračun geometrije bušanja:

Linija najmanjeg otpora, ( w )

$$w = \frac{D}{33} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot E}{s \cdot v \cdot m}} = \frac{76}{33} \cdot \sqrt{\frac{0,82 \cdot 0,987}{0,35 \cdot 0,90 \cdot 1,1}} = 3,4 \text{ m} \quad \text{usvaja se } 3,50 \text{ m}$$

gdje je:

$D = 76 \text{ mm}$  - promjer minske bušotine

$g = 0,82$  - gustoća eksploziva

$E = 0,987$  - specifična energija

$s = 0,35$  - pokazatelj minirljivosti stijene

$v = 0,90$  - koeficijent uklještenosti stijene pri dnu minske rupe, za nagib  $70^\circ$ .

$m = 1,1$  - koeficijent gustoće minskih bušotina o kojem ovisi granulacija minirane mase

Razmak minskih bušotina, ( a )

$$a = 1,1 \cdot w = 1,1 \cdot 3,5 = 3,85 \text{ m} \quad \text{usvaja se } = 4,00 \text{ m}$$

Duljina minske bušotine, ( $L_b$ )

$$L_b = \frac{H}{\sin \alpha} + l_{pr} = \frac{20}{0,94} + 1,2 = 22,47 \text{ m} \quad \text{usvaja se} = 22,5 \text{ m}$$

gdje je:

$H = 20 \text{ m}$  - visina etaže,

$\alpha = 70^\circ$  - nagib minske bušotine,

$l_{pr} = 0,3 \cdot w = 0,3 \cdot 3,5 = 1,05 \text{ m}$  usvaja se 1,0 m, duljina probušenja

### 3.2.3. Konstrukcija eksplozivnog punjenja minske bušotine

Tablica 3. Količina eksploziva u minskoj rupi,  $Q$ , uz uvjet da pri visini etaže od 20 m duljina čepa bude 3,0 m

| Izračunato:            | Usvojeno:           |
|------------------------|---------------------|
| $Q = 76,85 \text{ kg}$ | $Q = 77 \text{ kg}$ |

Tablica 4. Konstrukcija eksplozivnog punjenja

|  | Izračunato:  | Usvojeno:                  |
|--|--|----------------------------|
| Volumen izbijanja minske bušotine                              | $V = 297,87 \text{ m}^3$   | $298 \text{ m}^3$          |
| Specifična potrošnja eksploziva pri punoj visini etaže od 20 m | $q = 0,26 \text{ kg/m}^3$ pri čemu je:<br>Učinak miniranja $U = V/L_b$<br>$= 298/22,5 = 13,24 \text{ m}^3/\text{m}'$ | $13 \text{ m}^3/\text{m}'$ |



Proračun konstrukcije eksplozivnog punjenja minske bušotine:

Količina eksploziva u minskoj rupi, (Q), uz uvjet da pri visini etaže od 20 m duljina čepa bude 3,0 m :

$$Q = \frac{D^2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot g \cdot (L_b - 3,0)}{4} \cdot k = \frac{0,76^2 \cdot 3,14}{4} \cdot 10 \cdot 0,82 \cdot 19,5 \cdot 1,06 = 76,85 \text{ kg}$$

$$\text{usvaja se } = Q = 77 \text{ kg}$$

gdje je:

k = koeficijent zbijanja patrona

$l_{en}$  = duljina eksplozivnog naboja:

$$l_{en} = \frac{Q}{G} = \frac{77}{3,95} = 19,50 \text{ m}$$

$$\text{usvaja se } = l_{en} = 19,5 \text{ m}$$

gdje je:

G = koncentracija eksplozivnog naboja, kg/m.

Duljina čepa:

$$L_c = L_b - l_{en} = 22,5 - 19,5 = 3,00 \text{ m}$$

Volumen izbijanja minske bušotine, V

$$V = \frac{a \cdot w \cdot H}{\sin \alpha} = \frac{4,0 \cdot 3,5 \cdot 20}{0,94} = 297,87 \text{ m}^3$$

$$\text{usvaja se } = 298 \text{ m}^3$$

Specifična potrošnja eksploziva pri punoj visini etaže od 20 m

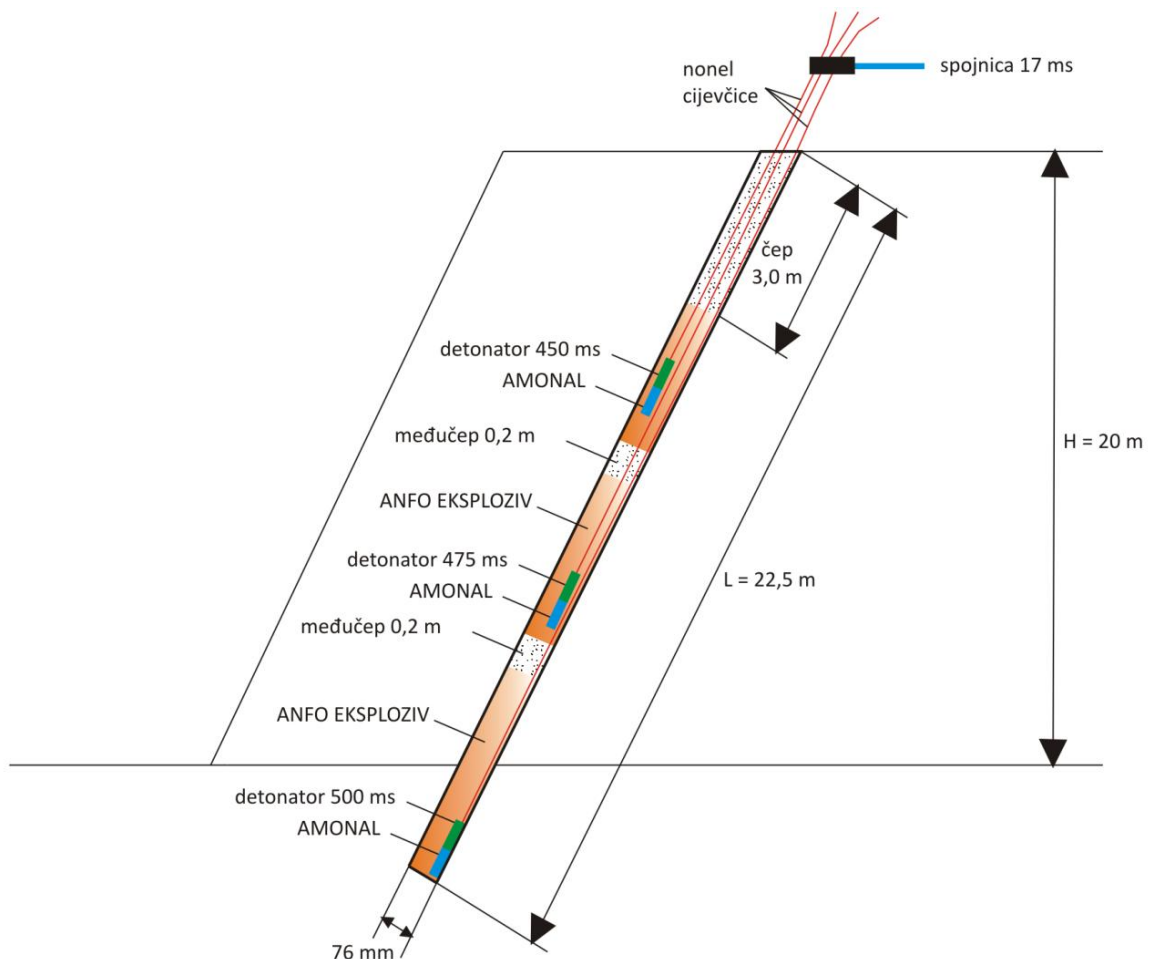
$$q = \frac{Q}{V} = \frac{77}{298} = 0,26 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{usvaja se } = 0,26 \text{ kg/m}^3, \text{ za stijensku liticu}$$

## Učinak miniranja

$$U = \frac{V}{L_b} = \frac{298}{22,5} = 13,24 \approx 13 \text{ m}^3/\text{m}^1$$

Zbog blizine objekata, ukupni eksplozivni naboj po minskoj bušotini od 77 kg, razdijeliti će se detonatorima 500, 475 i 450 ms, (Slika 15.), kako bi seizmički efekt bio u dozvoljenim granicama. Kako bi se to u praksi realiziralo, treba obavezno provoditi predhodna pokusna miniranja.



Slika 15. Konstrukcija proizvodne mine

#### 4. DIN standard i dijagram za preliminarno utvrđivanje dopuštene količine eksploziva po stupnju paljenja

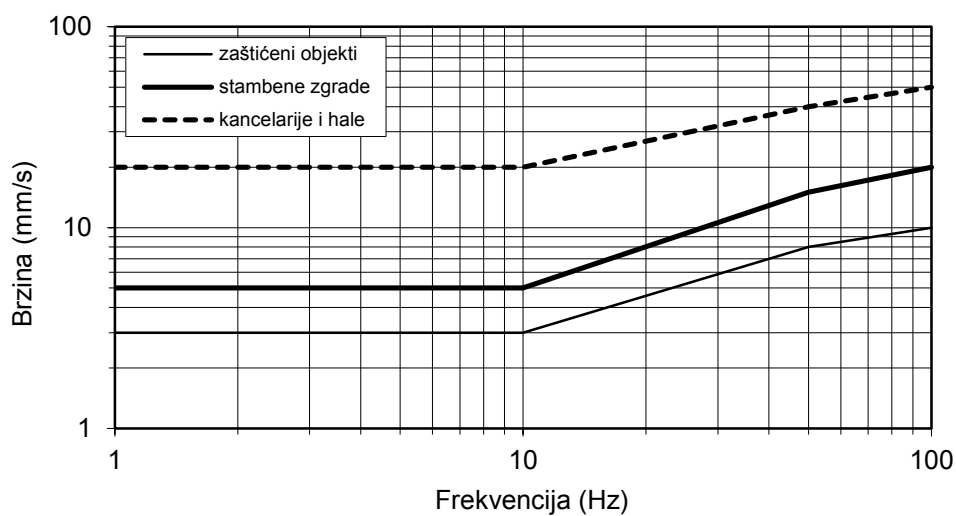
Odziv lokalnog tla ili stijena na detonaciju eksploziva prilikom miniranja temeljni je kriterij za ocjenu ugroženosti objekata uslijed seizmičkog djelovanja. Odziv lokalnog tla na detonaciju eksploziva ovisi o količini eksplozivnog punjenja u minskoj bušotini koji detonira u pojedinom intervalu paljenja, o udaljenosti mjesta opažanja i minskog polja i na kraju o samim inženjersko-geološkim i fizičko mehaničkim svojstvima tla ili stijena. Dozvoljenje oscilacije tla ili stijene nisu normirane u hrvatskim propisima tako da se u većini slučajeva koristi njemačka DIN norma. U normi DIN 4150 klasificirani su objekti po kategorijama i za njih pripadajuće dopuštene brzine oscilacija čestica tla ili stijena u ovisnosti o frekvenciji oscilacija.

Dopuštene granične brzine oscilacija tla prilikom miniranja na kamenolomu Loskunja-Vojnić definirane su prema njemačkom standardu (DIN 4150). Kako se u blizini minskih polja nalaze stambene zgrade kao granična brzina oscilacija tla usvojena je vrijednost druge kategorije objekata, koja vrijedi za stambene zgrade, a prema rezultatima izmjerenih frekvencija oscilacija prilikom probnih miniranja maksimalna dopuštena brzina oscilacije tla iznosi  $v = 5$  do  $15$  mm/s, (Tablica 5.).

Tablica 5. Granične oscilacije tla po DIN standardu 4150

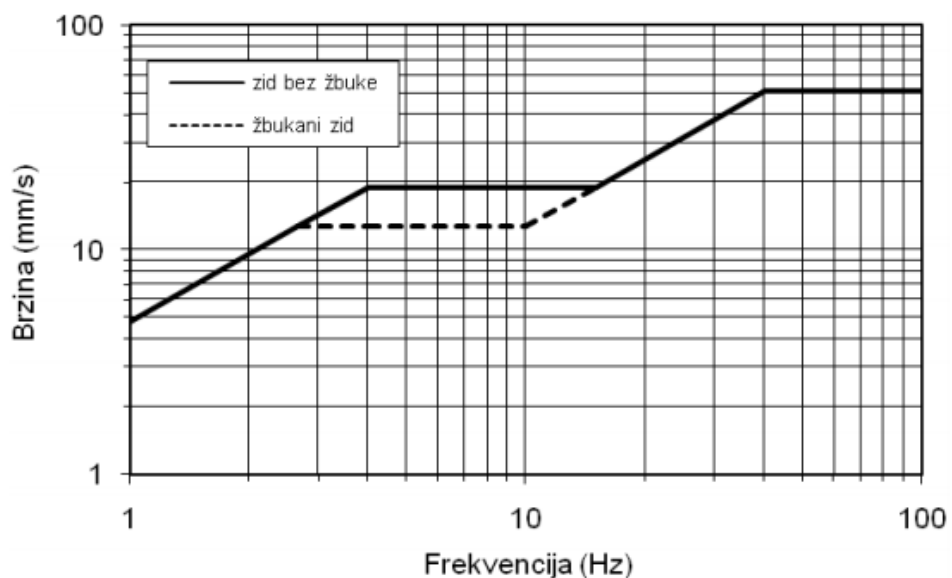
| Frekvencija oscilacija   | < 10 Hz                                       | 10 - 50 Hz    | 50 - 100 Hz |
|--|---|---------------|-------------|
| Kategorija objekta   | Granične vrijednosti brzina oscilacija [mm/s] |               |             |
| 1. Kancelarije i tvorničke zgrade  | 20  | 20 - 40       | 40 - 50     |
| <b>2. Stambene zgrade</b>  | 5   | <b>5 - 15</b> | 15 - 20     |
| 3. Povijesni i drugi zaštićeni objekti                                   | 3   | 3 - 8         | 8 - 10      |
| Za frekvencije > 100 Hz mogu se uzeti veće vrijednosti brzina oscilacija |   |               |             |

Isti prikaz graničnih brzina oscilacija po DIN 4150 standardu prikazan je grafički na slici 16.



Slika 16. Granične brzine oscilacija tla u funkciji frekvencije po DIN 4150

U SAD – u je kriterij štete utvrđen preko odnosa brzina i frekvencija oscilacija [4]. Grafički prikaz graničnih brzina oscilacija tla za građevine koje propisuje United States Bureau of Mines prikazan je na slici 17.



Slika 17. Granične brzine oscilacija tla u funkciji frekvencije po USBM

Zbog boljeg razumijevanja karakteristika potresa često je u uporabi i skala S.V. Medvedeva koja određuje stupanj potresa na osnovi izmjerenih brzina oscilacija (Tablica 6.). Klasifikacija potresa po kriteriju S. V. Medvedeva usvojena je 1963.god. u San Franciscu, a temelji se na količini i vrsti oštećenja na objektima prema pripadajućim vrijednostima rezultantne brzine oscilacija tla. Ona se podudara s međunarodnom konvencionalnom skalom za procjenu učinka potresa MCS (Mercalli-Cancani, Sieberg).

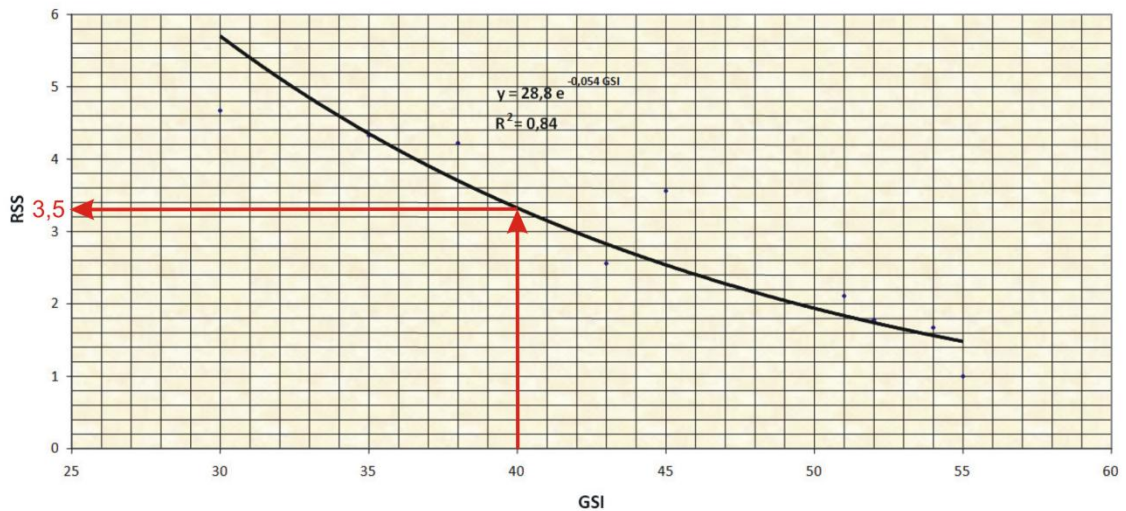
*Tablica 6. Prikaz određivanja intenziteta stupnja potresa na osnovu izračunatih rezultantnih brzina (cm/s) na mjestima opažanja po skali S.V. Medvedeva*

| Stupanj potresa | Brzina oscilacija [cm/s] | Karakteristike potresa  |
|-----------------|--------------------------|---|
| 1.              | < 0.2                    | Oscilacije mogu registrirati samo instrumenti   |
| 2.              | 0.2 - 0.4                | Oscilacije se mogu osjetiti samo u potpunoj tišini  |
| <b>3.</b>       | <b>0.4 - 0.8</b>         | <b>Oscilacije mogu osjetiti osobe koje su obaviještene o miniranju</b>  |
| <b>4.</b>       | <b>0.8 - 1.5</b>         | <b>Oscilacije osjećaju mnogi ljudi i pojavljuje se zveckanje</b>  |
| 5.              | 1.5 - 3.0                | Počinje osipanje žbuke; nastaju oštećenja na starijim zgradama  |
| 6.              | 3.0 - 6.0                | Pojavljaju se veće pukotine u žbuci, oštećenja zgrada su lako uočljiva  |
| 7.              | 6.0 – 12.0               | Pojavljaju se oštećenja na solidnijim zgradama; otpadaju komadi žbuke; nastaju tanke pukotine u zidovima i dimnjacima; počinje klizanje vodom zasićenog pjeskovitog tla; otpadanje nestabilnih blokova na strmim nagibima |
| 8.              | 12 -24                   | Nastaju znatna oštećenja zgrada; pojavljaju se velike pukotine u zidovima i konstrukcijama; dimnjaci se ruše; odvaljuje se žbuka; počinje obrušavanje kosina uz rub tektonskih pukotina;                                  |
| 9.              | 24 - 48                  | Zgrade se ruše; pojavljaju se velike pukotine u zidovima i stijenama; odronjavanje čvrstih kosina;  |
| 10.             | 48 - 96                  | Nastaju velika razaranja i rušenja zgrada; pojavljaju se pukotine u čvrstim stijenama; zarušavanje rubnih dijelova u slabovezanim srednje čvrstim stijenama; zarušavanje jamskih hodnika                                  |
| 11. - 12.       | > 96                     | Znatna obrušavanja kosina u čvrstim stijenama   |

Uporabom DIN 4150 standarda i empirijskih dijagrama dobivenih na osnovi niza mjerenja seizmičkih oscilacija prilikom pokusnih i proizvodnih miniranja u sedimentnim stijenskim masama, za kamenolom Loskunja-Vojnić preliminarno je utvrđena minimalna udaljenost ugroženih stambenih objekata od minskog polja prema proračunatoj maksimalnoj količini eksploziva od 25 kg po stupnju paljenja [6].

Prema spomenutoj metodologiji, najprije se iz inženjersko-geoloških značajki stijenskog masiva koje reprezentira geološki indeks čvrstoće (GSI), utvrđuje relativna seizmička osjetljivost predmetne stijene RSS (RSO).

Relativna seizmička osjetljivost predmetne stijene RSO (RSS) je parametar koji pokazuje koliki intenzitet oscilacija može podnijeti određeni inženjersko-geološki tip stijene (definiran geološkim indeksom čvrstoće GSI) prilikom detonacije određene količine eksplozivnog naboja. Znanstvenim istraživanjima je dokazano da je u slabijim stijenama, dakle onima sa manjim GSI vrijednostima intenzitet seizmičkih oscilacija mjeren na mjestu opažanja prilikom detonacije identične količine eksplozivnog naboja, puno veći nego kod čvršćih i homogenijih stijena (sa većim GSI vrijednostima). To nadalje znači, da su i objekti građeni na slabijim podlogama prilikom miniranja više ugroženi. Iz priloženog dijagrama, (Slika 18.), te korištenjem ulaznih podataka (lokalni uvjeti), izlazi da je relativna seizmička osjetljivost (RSS) za predmetno radilište Loskunja-Vojnić = 3,5.

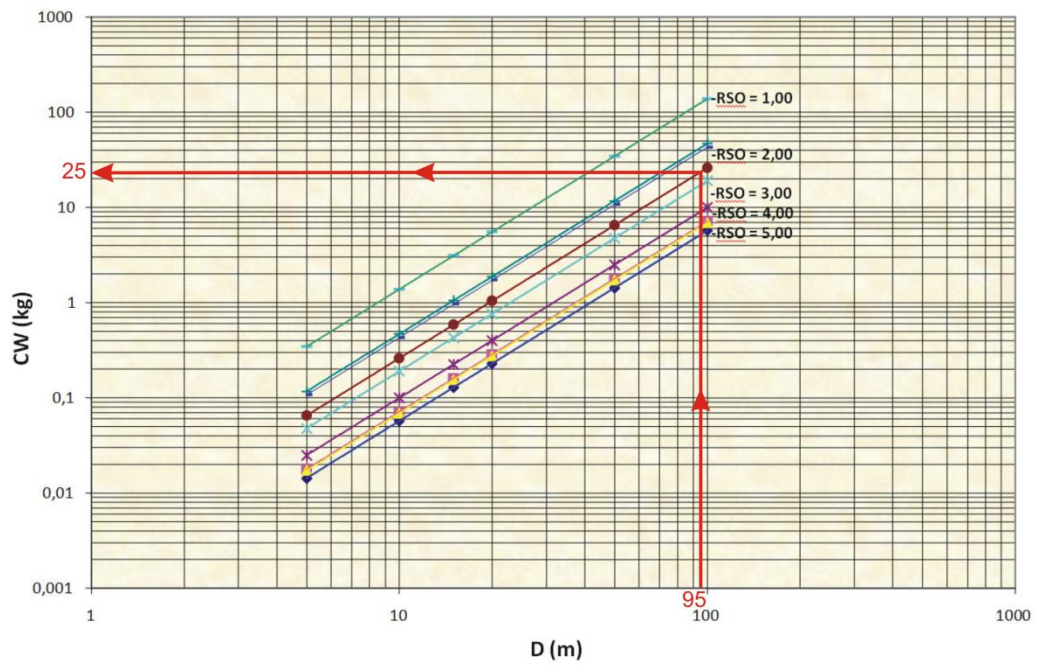


Slika 18. Dijagram utvrđivanja relativne seizmičke osjetljivosti stijene (RSS) za određeni geološki indeks čvrstoće (GSI)

Nakon toga je za utvrđenu vrijednost relativne seizmičke osjetljivosti  $RSS = 3,5$  iz dolje priloženog empirijskog D-CW (R-Q) dijagrama [6] za projektno proračunatu maksimalno dozvoljenu količinu eksploziva po stupnju paljenja CW ( $Q$ ) = 25 kg preliminarno određena minimalna sigurna udaljenost minskog polja D [m] = 95 metara od postojećih objekata koje treba štititi u neposrednoj blizini (Slika 19.).

U ovom proračunu uzima se da su stambene zgrade koje treba štititi u okolici kamenoloma Loskunja-Vojnić u drugoj kategoriji prema priloženom DIN 4150 standardu, i za koje brzina oscilacija tla prilikom miniranja ne smije prekoračiti 5 do 15 mm/s.

Kako je najbliža stambena zgrada (drvena obiteljska kuća) u okolici mjesta opažanja MO4 sa sjeverozapadnog čela kamenoloma upravo na udaljenosti od 95 metara od buduće završne kosine, buduća završna miniranja na sjeverozapadnoj strani kamenoloma trebati će se izvoditi sa maksimalno 25 kg eksplozivnog naboja po stupnju paljenja.



Slika 19. Dijagram za preliminarno utvrđivanje dopuštene količine eksploziva



## 5. Prvo proizvodno minsko polje, geometrijske i minersko tehničke značajke

Prvo proizvodno miniranje izvedeno je 13. kolovoza 2015. godine u jugoistočnom čelu kamenoloma, a najbliži stambeni objekti na kojima su se promatrali seizmički efekti mjesta opažanja 1, 2 i 3 (MO1, MO2 i MO3) nalazili su se na udaljenostima od 185 metara pa sve do 285 metara od prvog proizvodnog minskog polja (MP), tako da je izvođač radova kod miniranja koristio maksimalno 90,07 kg eksploziva po stupnju paljenja. Prvo proizvodno miniranje aktivirano je u tri kratka odvojena vremenska razmaka prema slijedećem rasporedu otpucavanja (Slika 20.)

**I minsko polje (MP1)** – pragovi, ukupno 39 minskih rupa, maksimalna količina eksploziva po stupnju paljenja  $Q_{\max} = 22,27 \text{ kg}$

**II minsko polje (MP2)** – vertikalne bušotine + podbušivanje, ukupno 34 minske rupe, maksimalna količina eksploziva po stupnju paljenja  $Q_{\max} = 90,07 \text{ kg}$

**III minsko polje (MP3)** – vrh, ukupno 29 minskih rupa, maksimalna količina eksploziva po stupnju paljenja  $Q_{\max} = 58,07 \text{ kg}$

Ukupni volumen litice koji se obuhvatio prvim proizvodnim miniranjem iznosio je 16 188 m<sup>3</sup> pri čemu je potrošeno 4 508 kg eksploziva. Prema tomu, specifična potrošnja eksploziva iznosila je 0,28 kg/m<sup>3</sup>.



Slika 20. Jugoistočni dio kamenoloma prije prvog proizvodnog miniranja

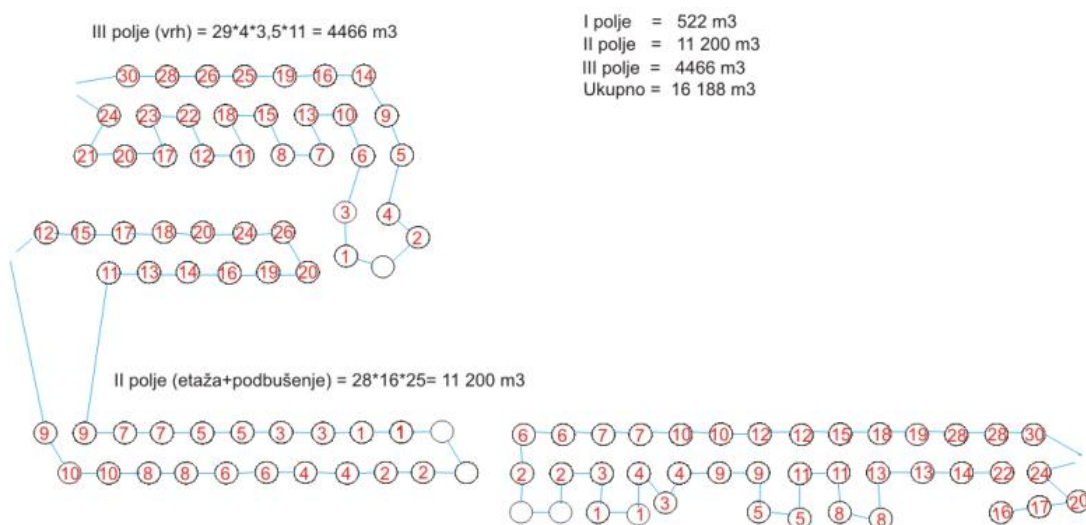


Slika 21. Minsko polje tijekom prvog proizvodnog miniranja



Slika 22. Izgled jugoistočnog dijela kamenoloma nakon prvog proizvodnog miniranja

Prvo proizvodno miniranje izvedeno je stručno i profesionalno, kao što se može i vidjeti iz slike 22, odminirana masa je ostala neposredno uz čelo etaže, a granulacija stijenske mase je povoljna. Nakon prvog proizvodnog miniranja nije bilo štetnih utjecaja na okoliš.



Slika 23. Raspored minskih bušotina

## 6. Rezultati mjerenja seizmičkih oscilacija prilikom prvog proizvodnog miniranja

Kako je uvodno već naznačeno, u svrhu mjerenja intenziteta seizmičkih oscilacija izvan granica eksploatacijskog polja postavljeni su seizmografi na lokacijama čije su koordinate određene u novom službenom referentnom koordinatnom sustavu HTRS96, odnosno iste su prikazane u novoj kartografskoj HTRS96/TM projekciji

- mjesto opažanja MO-1, obiteljska kuća, nadmorska visina 149 m, koordinate:  
E 5553957  
N 5021683
- mjesto opažanja MO-2, obiteljska kuća, nadmorska visina 181 m, koordinate:  
E 5553841  
N 5021423
- mjesto opažanja MO-3, cca 25 metara ispred obiteljske kuće, nadmorska visina 169 m, koordinate (Slika 24.):  
E 5553947  
N 5021503
- mjesto opažanja MO-4, obiteljska kuća, nadmorska visina 136 m, koordinate:  
E 5553652  
N 502206



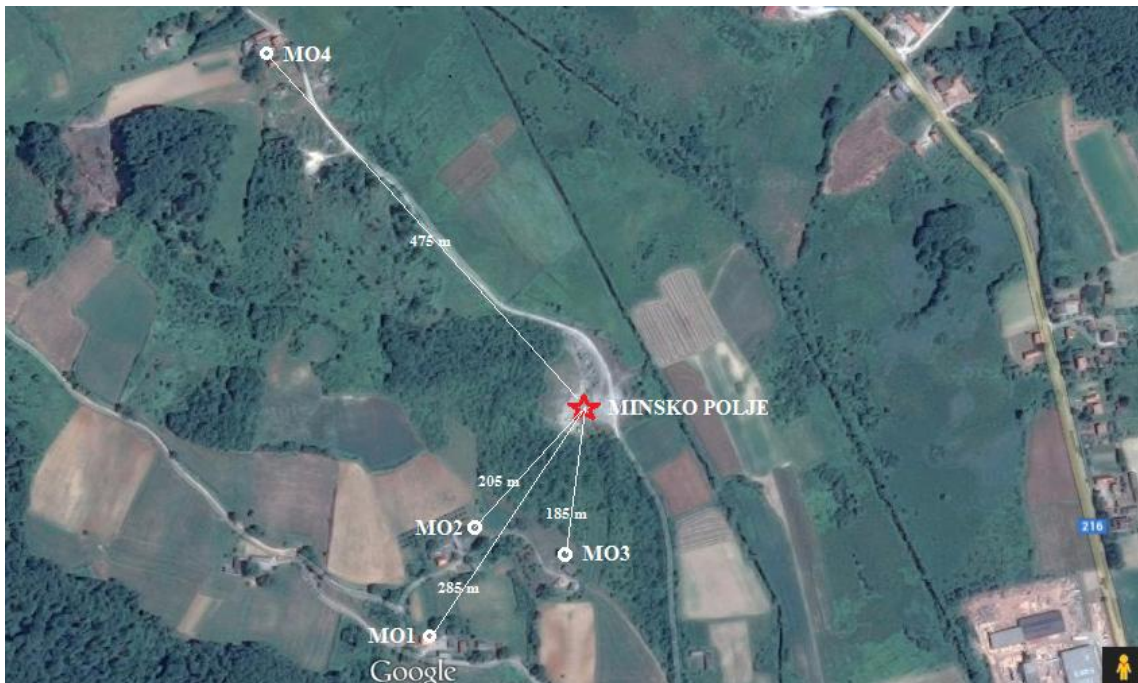
Slika 24. Instantel na mjestu opažanja MO3

Minsko polje (MP) na kojem su izvedeni radovi otvaranja kamenoloma s početnim formiranjem platoa na koti 156 metara imalo je slijedeće relevantne koordinate:

- E 5553957
- N 5021683

Osnovni plato nalazi se na koti 136 m.n.v.

Lokacije mjesta opažanja određene su GPS uređajem GARMIN, a vidljive su na slici 25.



Slika 25. Raspored mjesta opažanja u odnosu na minske polje

**I minske polje (MP1)** – pragovi, ukupno 39 minskih rupa, maksimalna količina eksploziva po stupnju paljenja  $Q_{\max} = 22,27 \text{ kg}$

**II minske polje (MP2)** – vertikalne bušotine + podbušivanje, ukupno 34 minske rupe, maksimalna količina eksploziva po stupnju paljenja  $Q_{\max} = 90,07 \text{ kg}$

**III minske polje (MP3)** – vrh, ukupno 29 minskih rupa, maksimalna količina eksploziva po stupnju paljenja  $Q_{\max} = 58,07 \text{ kg}$

Brzina oscilacije čestica tla ili stijena,  $v$  [mm/s] izazvanih detonacijama eksploziva u minskoj bušotini ključni je kriterij temeljem kojeg se ocjenjuje ugroženost pojedinog objekta od seizmičkog djelovanja. U znanstvenim i stručnim krugovima koji se bave ovim područjem prihvaćeno je da se brzina oscilacija tla izazvanih miniranjem dovodi u vezu s količinom eksplozivnog punjenja koji detonira u pojedinom intervalu paljenja, udaljenošću mjesta opažanja od minskog polja, te značajkama osnovnog tektonskog sklopa, ili općenito inženjersko-geološkim i fizičko-mehaničkim karakteristikama stijenskih masa.

Prvim proizvodnim miniranjima i seizmičkim mjerenjima na kamenolomu Loskunja na osnovi tri uzastopna otpucavanja minskog polja utvrđena je ovisnost brzine oscilacija o reduciranoj količini eksploziva prema izrazu 1:

$$v = K \left( \frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-n} = K q_{red}^{-n} \quad (1)$$

gdje je:

$q_{red}$  - reducirana količina eksploziva

$K$  - koeficijent svojstava stijene i uvjeta opažanja

$n$  - koeficijent oscilacija stijenskog masiva

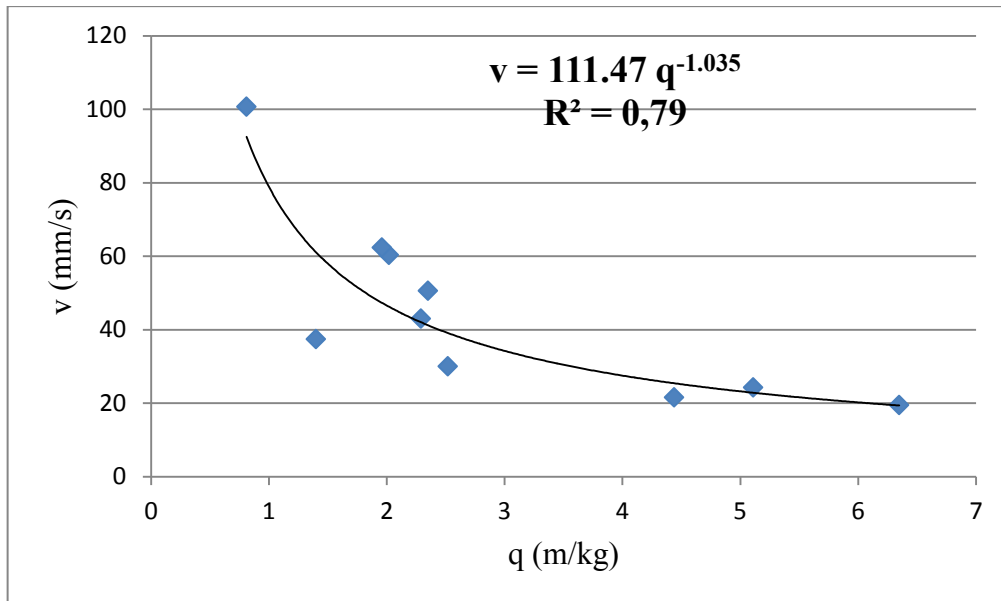
Za koeficijente „ $K$ “ i „ $n$ “ daje se gornje objašnjenje, koje je proizašlo iz rezultata seizmičkih opažanja na raznim lokalitetima. Naime, „ $n$ “ nije moguće jednoznačno nazvati prigušenjem oscilacija stijenskog masiva, već ga treba kod računanja brzina oscilacija analizirati zajedno sa koeficijentom „ $K$ “. Mjerenjima je dokazano da „ $K$ “ ne zavisi o načinu miniranja, već ponajprije o udaljenosti mjesta opažanja (MO) od minskog polja (MP). Kada je ta udaljenost veća, obično je i „ $K$ “ veći. Osim toga, za stijenske mase slabije kvalitete, koje su „seizmički osjetljivije“, i „ $K$ “ je veći. [6]

Iz te ovisnosti je korištenjem standarda DIN 4150, određena je dozvoljena količina eksploziva po stupnju paljenja na minskom polju za različite udaljenosti minskih polja od ugroženih objekata. Pregled rezultata mjerenja i izračun skalirane (reducirane) udaljenosti prikazan je u tablici 7.

Tablica 7. Rezultati mjerenja i izračun skalirane (reducirane) udaljenosti

| Minsko polje   | Mjesto opažanja, MO | Maksimalna vrijednost izmjerene brzine oscilacija v (mm/s) | Udaljenost MO od MP, R(m) | Maksimalna količina eksploziva po stupnju paljenja, Q(kg) | Skalirana udaljenost, $q_{red}$ (m/kg <sup>2</sup> ) | Frekvencija oscilacija, f(Hz) |
|--|---------------------|--|---------------------------|---|--|-------------------------------|
| Kolovoz 2015 –Probno miniranje (104 bušotine, max.dubina bušotine=25,0 m, promjer bbušotine = 89 mm) |                     |  |                           |   |  |                               |
| MP-1   | MO-1                | -  | 325                       | 22,27   | -  |                               |
|  | MO-2                | -  | 223                       | 22,27   | -  |                               |
|  | MO-3                | 2,29   | 203                       | 22,27   | 43,02  | 17,7                          |
|  | MO-4                | 0,81   | 475                       | 22,27   | 100,65   | 19,7                          |
| MP-2   | MO-1                | 2,52   | 285                       | 90,07   | 30,03  | 16,5                          |
|  | MO-2                | 4,44   | 205                       | 90,07   | 21,53  | 9,8                           |
|  | MO-3                | 6,35   | 185                       | 90,07   | 19,49  | 10,7                          |
|  | MO-4                | 2,35   | 480                       | 90,07   | 50,58  | 19,7                          |
| MP-3   | MO-1                | 2,02   | 285                       | 58,07   | 60,37  | 14,9                          |
|  | MO-2                | 1,40   | 205                       | 58,07   | 37,42  | 22,0                          |
|  | MO-3                | 5,11   | 185                       | 58,07   | 24,27  | 11,6                          |
|  | MO-4                | 1,96   | 475                       | 58,07   | 62,33  | 20,1                          |

Pomoću podataka iz prethodne tablice nacrtan je dijagram iz kojeg vidimo ovisnost oscilacija tla i skalirane udaljenosti (Slika 26.).



Slika 26. Ovisnost oscilacija tla i skalirane udaljenosti



## 7. Analiza i interpretacija dobivenih rezultata

Na osnovi dobivenih rezultata mjerenja intenziteta oscilacija tla prilikom prvog proizvodnog ali i pokusnog miniranja moguće je orijentacijski utvrditi režim budućih proizvodnih miniranja na kamenolomu Loskunja.

Brzina oscilacija prikazana je izrazom 2:

$$v = K \left( \frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-n} \quad (\text{mm/s}) \quad (2)$$

mjerenjima je utvrđen egzaktni algoritam (3):

$$v = 111,47 \cdot q^{-1,035} \quad (\text{mm/s}) \quad (3)$$

Iz prethodnog izraza moguće je približno odrediti orijentacijski režim budućih miniranja koji definira dozvoljene količine eksploziva pri različitim udaljenostima minskog polja od stambenih objekata. Proračun za dozvoljenu količinu eksploziva računa se prema izrazu 4.

$$Q = \left[ \left( \frac{v}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot R \right]^2 \quad (\text{kg}) \quad (4)$$

Konkretno za kamenolom Loskunja prema izrazu 5:

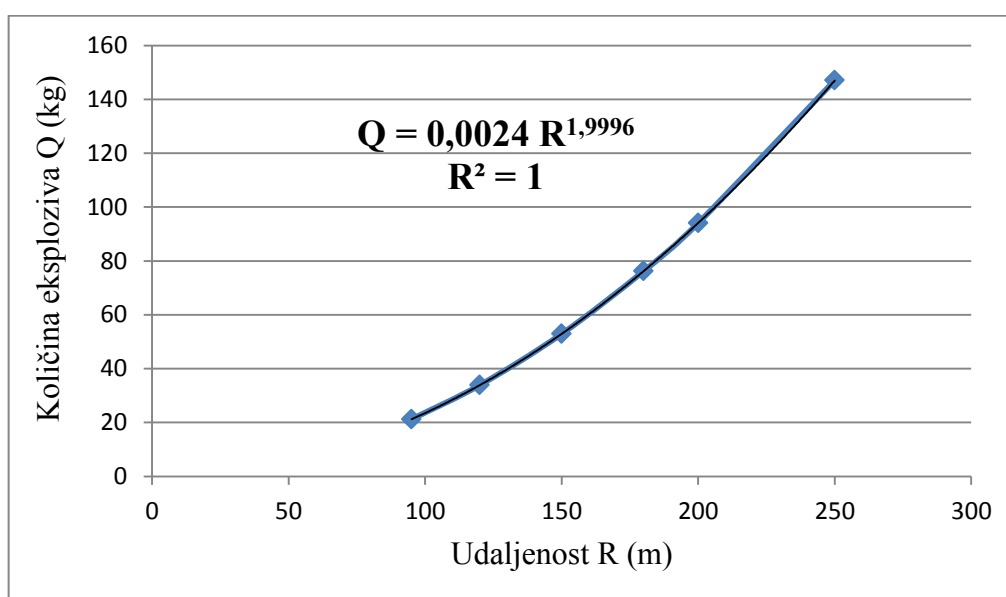
$$Q = \left[ \left( \frac{5}{111,47} \right)^{\frac{1}{1,035}} \cdot R \right]^2 = \left[ 0,0498 \cdot R \right]^2 \quad (\text{kg}) \quad (5)$$

U sljedećoj tablici prikazane su dozvoljene količine eksploziva sukladno udaljenosti minskih polja od ugroženih objekata (Tablica 8.). Za odabir dozvoljene količine eksploziva koristimo već spomenutu njemačku DIN 4150 normu, za drugu kategoriju objekata, odnosno za stambene zgrade za koje vrijedi da brzina oscilacija ne smije prijeći 5 mm/s.

Tablica 8. Dozvoljene količine eksploziva  $Q$  (kg) za različite udaljenosti ( $R$ ) ugroženih objekata od minskih polja

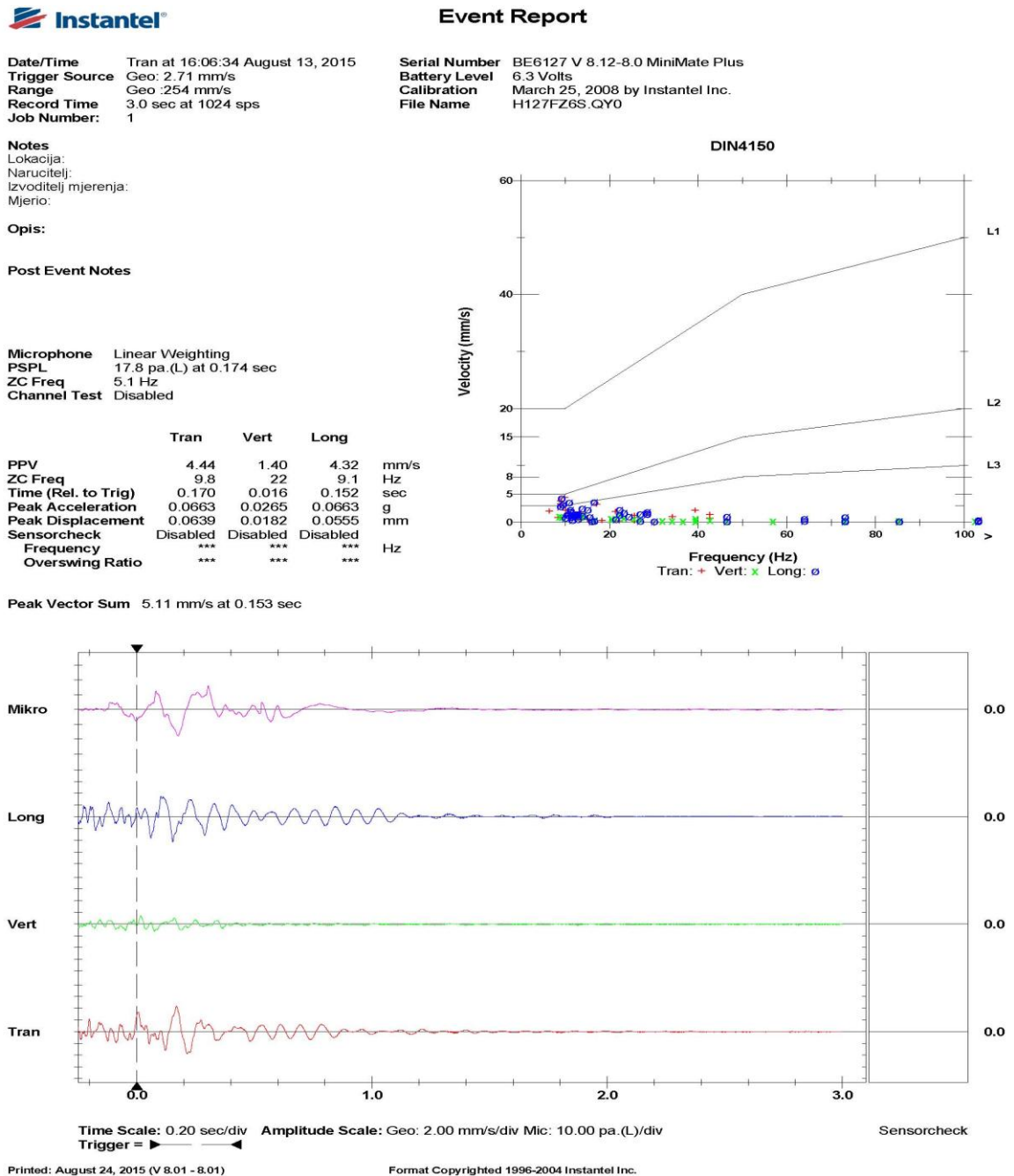
| Udaljenost objekata od minskog polja<br>$R$ (m) | Dozvoljena količina eksploziva<br>$Q$ (kg) |
|---|--|
| 95  | 22,50                                      |
| 120   | 35,70                                      |
| 150   | 55,80                                      |
| 180   | 80,40                                      |
| 200   | 99,20                                      |
| 250   | 155,00                                     |

Iz prethodnih podataka iscertan je dijagram s pripadajućim količinama eksploziva  $Q$  (kg) i udaljenostima ugroženih objekata  $R$  (m) (Slika 27.).



Slika 27. Dijagram ovisnosti  $Q$  (kg) /  $R$  (m)

U nastavku je prikazan primjer izvješća o seizmičkom mjerenju oscilacija tla kod aktiviranja II minskog polja za mjesto opažanja MO4 koje je bilo locirano uz obiteljsku kuću (Slika 29.). Kao što je ranije navedeno mjerenje oscilacija tla izvršeno je prijenosnim seizmografom. U izvješću se vidi kako se frekvencije kreću oko vrjednosti od 20 Hz, a brzine oko 2,5 mm/s što je daleko manje od propisanih brzina za stambene zgrade prema normi DIN 4150.



Slika 28. Izvješće o seizmičkom mjerenju oscilacija tla

## 8. Mjere sigurnosti i zaštite

### 8.1. Radovi na otkrivanju ležišta

Osnovne tehničke mjere pri radu na otkrivanju ležišta obuhvaćaju:

- Siguran rad buldozera i
- Sigurnost radnika.

Siguran rad buldozera postiže se pažljivim radom, jasnim pokazivanjem pravca napredovanja radova na otkrivanju, te pravovremenim upozorenjima radnika. Na početku svake smjene, strojar se mora uvjeriti u osnovnu ispravnost stroja vizualnim pregledom, a sva nužna zapažanja treba unijeti u dnevnik rada stroja.

Kod otkrivanja ležišta osnovne tehničke mjere zaštite na radu podrazumjevaju slijedeće:

- Rukovati strojem može samo kvalificirani radnik zadužen za stroj, odnosno radnik koji je upućen u rukovanje i održavanje stroja, te na način rada i sigurnosne mjere pri radu
- Stroj se stavlja u pogon tek nakon osnovne provjere ispravnosti i provjere da u djelokrugu rada strojeva nema ljudi, alata ili materijala
- Kabina stroja mora biti čista i uredna
- Prije napuštanja stroja treba ugastiti motor i izvući kontrolni ključ
- Kod zaustavljanja stroja na dulje vrijeme, stroj parkirati na ravnom i čvrstom terenu
- Za vrijeme rada stroja zabranjeno je podmazivanje, punjenje gorivom, pritezanje pojedinih dijelova, te pristup djelokrugu rada
- Rukovoditelj stroja mora pretpostavljene izvijestiti o svim uočenim nedostacima na stroju koji mogu utjecati na siguran rad
- Otklanjanje većih kvarova vrši stručna osoba
- Rukovoditelj stroja mora biti trijezan i odmoran, a za vrijeme rada ne smije konzumirati alkohol
- Uputstva proizvođača o radu sa strojem treba primjenjivati uredno i na vrijeme

## 8.2. Bušačko-minerski radovi

Tijekom izvođenja bušačko-minerskih radova na kamenolomu, moguće su pojave opasnosti:

- Opasnost od klasičnih povreda pri radu u rukovanju s alatom
- Opasnost od pada niz kosine etaža
- Opasnost od požara na rudarskoj mehanizaciji i zapaljivim materijalima, gorivu i mazivu
- Opasnost izazivanja požara od strane zaposlenika
- Opasnost od eksplozije eksploziva i eksplozivnih sredstava pri manipulaciji i rukovanju
- Opasnost od seizmičkog djelovanja, razbacivanja stijene prilikom izvođenja prethodnih miniranja.

Bušači radovi ne smiju se obavljati za vrijeme atmosferskih pražnjenja. Miniranja se ne smiju izvoditi u sumrak i noću, pri smanjenoj i slaboj vidljivosti kao i za vrijeme atmosferskih pražnjenja.

Prilikom minerskih radova treba osigurati sljedeću zaštitu:

- Zaštita od nekontroliranog aktiviranja eksploziva i eksplozivnih sredstava
- Zaštita od razbacivanja stijenskih komada
- Zaštita od seizmičkog djelovanja
- Zaštita prilikom uništavanja zatajenih mina i nedetoniranog eksploziva i eksplozivnih sredstava

Zaštita od nekontroliranog aktiviranja eksploziva i eksplozivnih sredstava tijekom skladištenja, manipulacije, transporta, punjenja minskih bušotina i nakon izvedenog paljenja minskog polja zahtjeva:

- Pažljivo rukovanje eksplozivom i eksplozivnim sredstvima
- Zabranu prilaza otvorenim plamenom i pušenje
- Prilikom punjenja minskih bušotina patrone eksploziva ne smiju se gnječiti i silom uguravati u bušotine
- Nabijanje eksploziva i čepa minske bušotine izvoditi pažljivo drvenim zaobljenim letvama
- Bušaću garnituru i ostalu opremu, te radnike koji nisu zaposleni na miniranju udaljiti s minskog polja na sigurnu udaljenost
- Ne izvoditi i obustaviti minerske radove pri atmosferskim pražnjenjima
- Nakon miniranja palitelj mina obavlja pregled (najranije 20 minuta po otpucavanju) odminirane stijenske mase. Kada se palitelj uvjeri da nema nedetoniranog eksploziva u odminiranoj masi, obavještava tehničkog rukovoditelja kopa koji potom može dopustiti pristup zaposlenima na minsko polje

Zaštita od razbacivanja stijenskih komada prilikom miniranja provodi se:

- Izvođenjem bušaćih radova po skici bušenja minskog polja
- Izvođenjem konstrukcije eksplozivnog punjenja po projektu
- Izvesti čep minske bušotine u projektiranoj dubini od propisanog materijala – zemlje, gline ili ispušnog materijala preostalog nakon izrade minske bušotine. U čep se ne smiju stavljati krupniji komadi stijene
- Sklanjanjem zaposlenih i pokretne opreme na sigurnu udaljenost i sigurne zaklone
- Nepokretnu opremu i objekte koji se nalaze u zoni razbacivanja zaštititi daskama i ostalim provizornim materijalom, posebice lako lomljive i vitalne dijelove
- Prije paljenja minskog polja zabraniti pristup i prolaz te osigurati pristupne putove na radilište postavljanjem straža radi spriječavanja nekontroliranog ulaska ljudi, životinja i materijalnih sredstava u ugroženu zonu

#### Zaštita od seizmičkog djelovanja:

- Izvođenje punjenja minskih bušotina prema projektiranim veličinama
- Po potrebi izvoditi kontrolna mjerenja brzina oscilacija tla na potencijalno ugroženim objektima

#### Zaštita od zatajenih mina i nedetoniranog eksploziva i eksplozivnih sredstava:

- Uočene nedetonirane mine treba vidljivo označiti i zabraniti radove i pristup u ugroženu zonu dok se mine ne unište
- Ukoliko je do zatajenja mina došlo uslijed prekida neelektričnog upaljača ili konektora ako se on koristi, mina se može uništiti iniciranjem pomoću sporogorećeg štapina i rudarske kapisle br.8, dajući propisane zvučne signale i provodeći mjere osiguranja i zabrane pristupa u ugroženu zonu kao i prilikom masovnog ili sekundarnog miniranja. U slučaju da prilikom aktiviranja zatajene mine dođe do razbacivanja materijala, nedetoniranu minu treba uništiti novom minom postavljenom u minsku bušotinu paralelno zatajenoj mini
- Udaljenost paralelne minske bušotine za uništenje zatajene mine ne smije biti manja od 1,0 m, za bušotine dubine do 10 m, odnosno 3,0 m za bušotine dublje od 10 m. Nova minska bušotina ne smije sijeći pravac zatajene mine
- Eksplozivna sredstva uništavaju se u skladu s odrednicom članka 18. 'Pravilnika o tehničkim normativima pri rukovanju eksplozivnim sredstvima i miniranjima u rudarstvu'. Eksplozivna sredstva mogu uništavati samo stručno osposobljene osobe, u skladu sa uputstvom o rukovanju. Pojedine vrste eksplozivnih sredstava moraju se zasebno uništiti. Za svako uništeno eksplozivno sredstvo mora se sastaviti zaseban zapisnik, koji sadrži podatke o vrsti i količini eksplozivnog sredstva, te načinu, vremenu, mjestu i razlogu uništavanja

## 9. Zaključak

U kamenolomu tehničko-građevnog kamena "Loskunja-Vojnić" koji je izgrađen u pretežito od dolomita, a nalazi se u općini Vojnić uz desnu stranu regionalne ceste Tušilović – Vojnić, oko 1 km sjeverozapadno od Vojnića, u dolini rijeke Radonje i Kuplenskog polja, izvedena su pokusna proizvodna miniranja kako bi se utvrdili seizmički efekti miniranja na okolne stambene objekte. Seizmički efekti, odnosno brzine oscilacija tla mjerile su se prijenosnim seizmografom INSTANTEL. Prijenosni seizmografi bili su postavljeni u blizini svih ugroženih stambenih objekata. Neposredni okoliš minskog polja izložen je i razbacivanju komada stijena, te zračnom udaru kao posljedica aktiviranja mina. Navedeni nepoželjni i štetni utjecaji detonacije eksplozivnog naboja na objekte u neposrednom okruženju minskog polja, definiraju se u minerskoj praksi kao nekontrolirani mehanički rad.

Odziv lokalnog tla ili stijena na detonaciju eksploziva prilikom miniranja temeljni je kriterij za ocjenu ugroženosti objekata uslijed seizmičkog djelovanja. Dozvoljene oscilacije tla ili stijene nisu normirane u hrvatskim propisima tako da se u većini slučajeva koristi njemačka DIN norma. U normi DIN 4150 klasificirani su objekti po kategorijama i za njih pripadajuće dopuštene brzine oscilacija čestica tla ili stijena u ovisnosti o frekvenciji oscilacija.

Za određivanje količine eksploziva po stupnju paljenja a da oscilacije tla variraju u rasponu danom DIN normom, najprije se iz inženjersko-geoloških značajki stijenskog masiva koje reprezentira geološki indeks čvrstoće, utvrđuje relativna seizmička osjetljivost predmetne stijene. Nakon toga je za utvrđenu vrijednost relativne seizmičke osjetljivosti iz empirijskog D-CW (R-Q) dijagrama za projektno proračunatu maksimalno dozvoljenu količinu eksploziva po stupnju paljenja CW (Q) = 25 kg preliminarno određena minimalna sigurna udaljenost minskog polja  $D [m] = 95$  metara od postojećih objekata koje treba štititi u neposrednoj blizini.



Na osnovi dobivenih rezultata mjerenja intenziteta oscilacija tla prilikom prvog proizvodnog, ali i pokusnog miniranja moguće je orijentacijski utvrditi režim budućih proizvodnih miniranja na kamenolomu Loskunja prema izrazu 5.

$$Q = \left[ \left( \frac{5}{111,47} \right)^{\frac{1}{1,035}} \cdot R \right]^2 = 0,0498 \cdot R^2 \quad (\text{kg})$$

Cijeli postupak dobivanja mineralne sirovine u kamenolomu Loskunja – Vojnić mora se odvijati prema mjerama sigurnosti i zaštite.

## Literatura:

1. Mesec J. Mineralne sirovine, vrste i načini dobivanja. Zagreb; 2009
2. Mesec J. Težak D. Bosilj D. Seizmički efekti miniranja u kamenolomu Loskunja-Vojnić. 2015
3. Mesec J. Eksploatacija mineralnih sirovina. Dostupno na:  
<http://moodle.srce.hr/2015-2016/course/view.php?id=10329>. Datum pristupa 10.05.2016
4. Krsnik J. Miniranje. Zagreb; 1989. str. 7-8
5. (Siskind.D.E.Stagg.M.S.Kopp.J.W.Dowding.C.H. Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting. 1980)
6. Mesec J. Ovisnost brzina oscilacija tla izazvanih miniranjem o inženjerskogeološkim značajkama karbonatnih stijenskih masa. Doktorska dizertacija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet. 2005

## Popis slika:

|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Tlocrtni prikaz lokacija opažanja .....  | 7  |
| Slika 2. Princip rada trokomponentnog geofona .....   | 7  |
| Slika 3. Zemljopisni položaj kamenoloma .....   | 9  |
| Slika 4. Tlocrtni prikaz kamenoloma Loskunja – Vojnić .....   | 10 |
| Slika 5. Jugoistočni dio kamenoloma .....   | 12 |
| Slika 6. Sjeverozapadni dio kamenoloma .....  | 12 |
| Slika 7. Geometrijske veličine etažnog sistema .....  | 14 |
| Slika 8. Jugoistočni dio kamenoloma s formiranim etažama .....  | 15 |
| Slika 9. Pogled na osnovni plato s prve etaže .....   | 15 |
| Slika 10. Prikaz daljnjeg širenja jugoistočnog dijela kamenoloma .....  | 16 |
| Slika 11. Zone djelovanja eksplozije u stijeni .....  | 17 |
| Slika 12. Udarne drobilica .....  | 18 |
| Slika 13. Postrojenje za sijanje s troetažnim sitom .....   | 19 |
| Slika 14. Postrojenje za sijanje s troetažnim sitom .....   | 20 |
| Slika 15. Konstrukcija proizvodne mine .....  | 24 |
| Slika 16. Granične brzine oscilacija tla u funkciji frekvencije po DIN 4150 .....   | 26 |
| Slika 17. Granične brzine oscilacija tla u funkciji frekvencije po USBM .....   | 26 |
| Slika 18. Dijagram utvrđivanja relativne seizmičke osjetljivosti stijene (RSS) za određeni geološki indeks čvrstoće (GSI) ..... | 29 |
| Slika 19. Dijagram za preliminarno utvrđivanje dopuštene količine eksploziva .....  | 30 |
| Slika 20. Jugoistočni dio kamenoloma prije prvog proizvodnog miniranja .....  | 32 |
| Slika 21. Minsko polje tijekom prvog proizvodnog miniranja .....  | 32 |
| Slika 22. Izgled jugoistočnog dijela kamenoloma nakon prvog proizvodnog miniranja .....   | 33 |
| Slika 23. Raspored minskih bušotina .....   | 33 |
| Slika 24. Instantel na mjestu opažanja MO3 .....  | 34 |
| Slika 25. Raspored mjesta opažanja u odnosu na minsko polje .....   | 35 |
| Slika 26. Ovisnost oscilacija tla i skalirane udaljenosti .....   | 38 |
| Slika 27. Dijagram ovisnosti $Q$ (kg) / $R$ (m) .....   | 40 |
| Slika 28. Izvješće o seizmičkom mjerenju oscilacija tla .....   | 41 |

## Popis tablica:

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1. Kapaciteti drobljenja.....  | 19 |
| Tablica 2. Geometrija bušenja .....  | 21 |
| Tablica 3. Količina eksploziva u minskoj rupi, Q, uz uvjet da pri visini etaže od 20 m duljina čepa bude 3,0 m .....   | 22 |
| Tablica 4. Konstrukcija eksplozivnog punjenja.....   | 22 |
| Tablica 5. Granične oscilacije tla po DIN standardu 4150 .....   | 25 |
| Tablica 6. Prikaz određivanja intenziteta stupnja potresa na osnovu izračunatih rezultatnih brzina (cm/s) na mjestima opažanja po skali S.V. Medvedeva ..... | 27 |
| Tablica 7. Rezultati mjerenja i izračun skalirane (reducirane) udaljenosti.....  | 37 |
| Tablica 8. Dozvoljene količine eksploziva Q (kg) za različite udaljenosti (R) ugroženih objekata od minskih polja .....                                      | 40 |

## Grafički prilozi:

1. Prvi korak otkopavanja u kamenolomu Loskunja – Vojnić
2. Završne kosine u kamenolomu Loskunja - Vojnić