

*Pregledni rad*  
*Review paper*  
*UDC: 553.5(497.6 Ljubačevo)*

## ОДРЕЂИВАЊЕ СИГУРНОСНИХ ЗОНА ПРИ БУШЕЊУ И МИНИРАЊУ У ЦИЉУ МАКСИМАЛНО МОГУЋЕ ЗАШТИТЕ ОБЈЕКТА НА ПРИМЈЕРУ КАМЕНОЛОМА „ЉУБАЧЕВО“ КОД БАЊАЛУКЕ

Владимир Малбашић<sup>1</sup>, Миодраг Челебић<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Рударски факултет Приједор Универзитета у Бањој Луци

<sup>2</sup> Рударски институт Приједор

### РЕЗИМЕ

У овом раду је дат примјер изналажења могућности даљње експлоатације на неком руднику у ситуацији када се у центру експлоатационог поља пронађу природна добра која држава жели да заштити. Примјер методологије ријешавања овакве ситуације је дат на каменолому „Љубачево“ код Бањалучке.

Неопходно да се при пројектовању бушачко-минерских радова у даљем раду каменолома изврши анализа досадашњих параметара те, на основу захтјева максимално могуће заштите, дефинишу услови мињања у најужим зонама објекта пећине, индустријских и стамбених објеката због превенције могућих оштећења објеката те врши континуалан мониторинг извођења ових радова.

Анализом резултата мониторинга ефеката мињања - сеизмичких мјерења на каменолому „Љубачево“, бушачко-минерски параметри и дозвољене количине експлозива при једновременом паљењу се дефинишу у односу на све критеријуме - сигурносне зоне у односу на сеизмичке ефекте, зоне у односу на разбацивање летећих комада стијена, зоне у односу на дејство ваздушног удара, зоне у односу на дејство вибрација насталих мињањем на људе.

Кључне ријечи: *бушачко-минерски параметри, сигурносне зоне при мињању, анализа и мониторинг бушења и мињања*

## DETERMINATION OF SAFETY ZONES BY DRILLING AND BLUSTING TO MAXIMAL POSSIBLE STRUCTURE PROTECTION ON QUARRY „LJUBAČEVO“ NEAR BANJA LUKA SAMPLE

### ABSTRACT

In this paper is presented the sample for looking into the possibility for further exploitation on mine in situation where was found the natural well in the centre of exploitation field which state wants to protect. Sample of solving methodology in this situation is presented on the „Ljubačevo“ quarry near Banja Luka.

There is necessary through drilling and blasting parameters designing perform the analysis of parameters used so far. Based on request for maximal possible structure protection should be defined blasting condition within narrowest zones of cave, industrial and housing buildings for prevention of possible structure deflection with continuously monitoring of drilling and blasting activities.

Analysis of blasting effects monitoring and seismic measurements on the „Ljubachevo“ quarry should be serve by determination od drilling and blasting parameters with allowed explosives quantities by simultaneously activation. Determination should be performed according to all criterions- safety zones according to seismic effects, zones according to flying rocks, zones according to air stroke effects, zones according to vibration by blasting effects on people etc.

Key words: *drilling and blasting parameters, safety zones by blasting, analysis and monitoring od drilling and blasting*

## УВОД

На експлоатационом пољу односно површинском копу "Љубачево" експлоатација техничког грађевинског камена - кречњака се обавља од 1975. године.

Почетком 2004. године, изводећи радове на централном дијелу лежишта (етажа 370 *m* до 385 *m*), отворена је пећина која је, према оцјени Комисије Републичког завода за заштиту културно-историјског и природног наслеђа, сврстана у "веома вриједне споменике природе". Пећина је откривена током минирања и дио је већег подземног система који је трајно уништен због рударских радова.

Дужина пећине је 338 метара, док је са сјеверним каналом, до отварања каменолома представљала велики подземни објекат дужине преко 700 метара. Пећину сачињава неколико дворана повезаних каналима који су развијени у једном хоризонту. То су Улазни канал, Висока дворана, Слијепи канал, Дворана сталагмита, Калцитна дворана (сјеверозападни и југоисточни крак), Колапс и Дворана Посљедњи хоризонт. Током спелеолошких истраживања 2004.-2006. године пронађени су изузетно ријетки облици ексцентричног накита (хеликтити) по чему је јединствен подземни објекат у РС и БиХ. Заступљени су и остали облици пећинског накита: велики саливи, сталагмити, сталактити, пећински стубови и бигрене каде.

На основу критеријума Националног савјета за геонаслеђе Републике Српске и Европске асоцијације за конзервацију геолошког наслеђа (ProGEO), Пећина Љубачево сврстана је у природна добра од великог значаја, односно природна добра II категорије

Том приликом дата је препорука да се од стране надлежних институција одреде мјере које би спријечиле могућност њеног даљњег девастирања, те је Министарство привреде, енергетике и развоја, поштујући наведене препоруке ,преко рударско-геолошке инспекције обуставило извођење свих рударских радова у зони новооткривене пећине, односно у појасу на удаљености 100 метара од улаза у пећину. Наређено је да се уради прорачун и анализа преосталих резерви, те прорачун резерви које остају у заштитном појасу пећине.

Имајући у виду наведене чињенице, предузеће које врши експлоатацију и које има концесионо право на том лежишту, је додатним детаљним геолошким истраживањима утврдило "нови" правац развијања рударских радова на овом каменолому са истовременим проширењем сировинске основе лежишта. Уз то је било неопходно израдити и елаборат којим се дефинишу сигурносне зоне, односно зоне утицаја бушачко-минерских радова на радну и животну средину а посебно на пронађену пећину и околне објекте са приједлогом мјера на праћењу и мониторингу бушачко-минерских радова.

## ОСНОВНИ ПОДАЦИ О ЛЕЖИШТУ «ЉУБАЧЕВО» СА ОСНОВНИМ ПРИКАЗОМ СИСТЕМА ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ

Лежиште кречњака "Љубачево" налази се на територији СО Бања Лука, 15 *km* јужно од самог града. Од асфалтног пута Бања Лука - Карановац - Кнежево је удаљено око 150 *m* а са тим путем га повезује сеоски пут који води према Љубачеву. Од магистралног пута Бања Лука - Јајце лежиште је удаљено око 4 *km*. Подручје око лежишта је слабо насељено.

### Опис лежишта

Лежиште кречњака "Љубачево" представља само један мали дио кречњачког масива који изграђује у континуитету простор од преко 18 *km*<sup>2</sup>. Корисну супстанцу - на овом лежишту - чини стијенска маса веома добро усложених наслага кречњака, горњојурске старости. Генерално гледано, од сјевероистока према југозападу, дебљина масе наслага кречњака се постепено повећава да би на крајњем југозападном дјелу износила преко 100 *m*. Стијенска маса је веома добро откривена рударским радовима. Кречњак је свијетло до тамно сиве боје, релативно хомогеног минералног састава и веома уједначеног квалитета. Дуж тектонских зона и у површинском дијелу интезивне распаднутости и испуцалости стијенске масе те инфилтрацијом глиновите компоненте и *Fe* - оксида, поједине партије кречњака обојене су у свијетложуто и свијетлоцрвено.

У морфолошком погледу, шире подручје лежишта представља брдовито-планински терен. Терен је веома разуђен, карактеришу га стрми одсјечи који су условљени геолошким саставом, тектоником и интезивном ерозијом. Лежиште техничког грађевинског камена - кречњака "Љубачево" са својом ближом и широм околином припада планинској и карстној средини. Карстна област шире околине лежишта је карактеристична по читавом низу карстних појава и процеса насталих у одређеним условима средине.

У практичном погледу најинтересантнији подземни морфолошки облик на лежишту је пећина откривена рударским радовима у току 2004 године на централном дијелу лежишта (етажа 370 *m* до 385 *m*). Лежиште карактерише процес карстификације који се огледа у формирању вртача на површини и формирању подземних крашких облика у првом реду пећине и бројних каверни (утврђене истражним бушењем). На улазу у пећину осматран је расјед којег прати више пукотина. Осматране су отворене пукотине дуж којих се обавља циркулација воде и пукотине запуњене калцитом и глином. Расјед пада према истоку са правцем пружања сјевер - југ, што се поклапа са правцем пружања пећине. На основу описа датог у наведеном извјештају и података прикупљених приликом обиласка терена може се закључити да је у питању сува пећина, откривена рударским радовима (честа појава кад се радови изводе у кречњацима). Карактеристика ове суве пећине је да се јавља одвојена од површине стијеном мале дебљине (више десетина метара), што је било пресудно за појаву богатог пећинског накита.

Хидрографска мрежа ширег подручја лежишта је добро развијена. Основну хидролошку карактеристику ширем подручју даје ријека Врбас са бројним притокама. Ријека Свракава сакупља падавине са ширег подручја. Висинска разлика између ријеке Врбаса и најниже тачке на лежишту (345 *m*NV) износи 157 *m*, односно 127 *m* између лежишта и ријеке Свракава.

### Систем експлоатације

На каменолому "Љубачево" се примјењује класична дисконтинуална технологија експлоатације, при чему се стијенски материјал припрема за откопавање и утовар бушачко-минерским радовима. Након припреме материјала за утовар исти се откопава и утовара у камионе и превози до постројења за припрему-дробљење и класирање. У процесу експлоатације и припреме кречњака ради 43 радника.

ДЕФИНИСАЊЕ РАДНЕ СРЕДИНЕ И ПРИКАЗ БУШАЧКО-МИНЕРСКИХ РАДОВА КОЈИ СЕ ИЗВОДЕ У ПРОЦЕСУ ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ

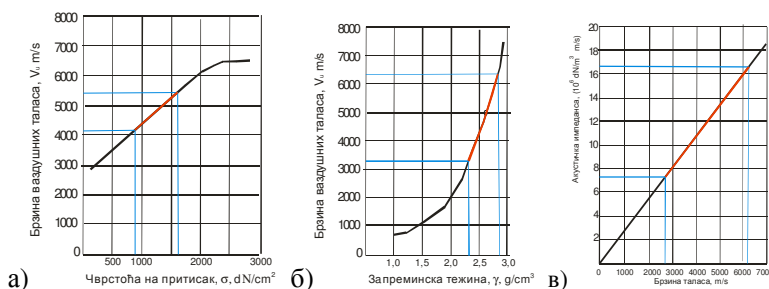
Приликом дефинисања услова за извођење бушачко-минерских радова и њихових параметара неопходно је било упознати и дефинисати физичко-механичке и структурне особине стијенске масе која се минира. Пошто се на П.К. "Љубачево" ради о кречњацима, овдје дајемо преглед карактеристика кречњака које су испитиване, табела 1, а оне карактеристике које нису испитиване, усвајају се на основу литературних података. Према литературним подацима остале структурне и физичко-механичке особине кречњака су :

- Порозност, %,.....1,5-15,0
- Брзина простирања уздужних таласа, m/s,.....  $V_u = 2.500-5.500$
- Акустична импеданса,  $\gamma \times V_u$ , N/m<sup>2</sup>s.....7.350 – 16.500
- Чврстоћа на истезање, N/cm<sup>2</sup>.....  $\sigma_z = 10-15$
- Модул по Јунг-у, N/ cm<sup>2</sup>.....  $E=40000-75000$
- Поасонов коефицијент,.....0,2 -0,35

Табела 1. Физичко механичке карактеристике кречњака Љубачево  
Табле 1 Physical mechanical properties of limestone Ljubačevo

Испитивана карактеристика	Јединица мјере	Средња вриједност	
Притисак на чврстоћу	- у сувом стању	MPa	127,45
	- водозасићено стање	MPa	113,55
	- после смрзавања	MPa	103,20
Упијање воде	%	0,27	
Отпорност према хабању брушењем	cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>3</sup>	19,74	
Постојаност на дејство мраза	%	0,033	
Запреминска маса	kg/m <sup>3</sup>	2739	
Специфична маса	kg/m <sup>3</sup>	2717	
Степен густоће	%	99,60	
Постојаност на дејство Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	%	2,02	
Садржај SO <sub>3</sub>	%	-	
Угао унутрашњег трења	0	45	
Средња чврстоћа на притисак	MPa	126,75	

Статистичком обрадом великом броја узорака и мјерења ефеката минирања установљена је зависност између брзине уздужних таласа и осталих карактеристика стијена, што је у случају кречњака приказано на следећим сликама-графиконима:



Слика 1: Брзина ваздушних таласа зависно од:  
 а) чврстоће на притисак, б) запреминске тежине, в) акустичне импедансе стијене  
 Фигуре 1 Speed air waves depending on:  
 а) compressive strength, б) gravity, в) acoustic impedance of the rock

За изабрани тип бушилице и пречника бушења усвојена је употреба бушаћих гарнитура са ротационо-ударним режимом бушења и пречник бушења 80 -90 mm.

Код избора врсте експлозива утврђена су и нека правила зависности између појединих карактеристика стијена: повећањем запреминска масе расте и брзина уздужних таласа, повећањем чврстоће на притисак расте и брзина простирања уздужних таласа  $V_u$ . Подјела стијена према специфичној акустичној импеданси, према којој кречњак са лежишта "Љубачево" спада у средње чврсте до чврсте стијене, је:

Меке	$Z_s \leq 4.500$
Средње чврсте	$3000 \leq Z_s \leq 15.000$
Чврсте	$Z_s \geq 8.000$

Према томе експлозиви који се користе при мињавању кречњака требају да имају детонационе брзине од 4.000-6.000 m/s, што претпоставља комбинацију амонијум нитратних прашкастих експлозива и амонијум нитратних пластичних експлозива са и без бризантне компоненте.

Табела 2 : Звучна (акустична) импеданца експлозива, кречњака и однос импеданци  
Табле 2 Sound (acoustic) impedance of explosives, limestone and impedance ratio

Амонијум нитратни експлозиви	Брзина детонације m/s	Густина експлозива $kg/dm^3$	Звучна имеданса експлозива $mkg/sdm^3$	Звучна импеданса кречњака, $mkg/sdm^3$	Однос импеданси $I_{stjen} : I_{expl}$
Прашкасти експлозиви	4.000	1,05	4.200	7.350 – 16.500	0,57 – 0,25
љни експлозиви анфо	3.800	0,82	3100	7.350 – 16.500	0,42 – 0,19
Пластични са бризантном компонентом	6.000	1.54	9.240	7.350 – 16.500	1,26 – 0,56
Пластични без бризантне компоненте (емулзије)	5.300	1.15	6.095	7.350 – 16.500	0,83 – 0,37

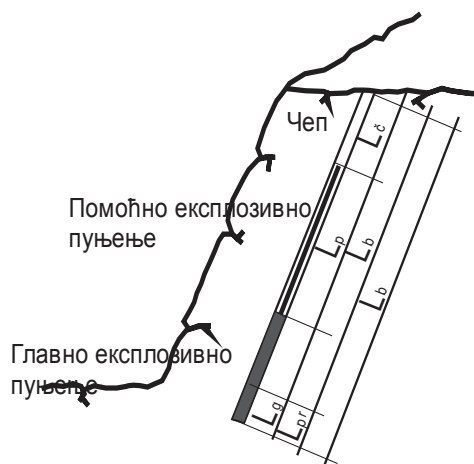
При одређивању бушачко-минерских параметара и прорачунању ових параметара се користе формуле из више извора:

- за линију најмањег отпора се користе формуле: Ingvar Berqvist , »Rock Blasting» Nitro Nobel АВ,Шведска , Г.П.Демидјук и С,А Давидову,
- за прорачун главног пуњења : ULF Langefors i Bjorn Kihlstrom, «The modern Technique of ROCK BLASTING, Halsted Press.
- остале формуле: Stig Olofsson (“Applied explosives technology for coinstruction and mining “)

Резултати прорачуна ових параметара се дају у табели 3. уз приказ основне конструкције пуњења минске бушотине.

Tabela 3: Приказ прорачунатих бушачко-минерских параметара  
Табле 3 Showing the calculated drilling-blasting parameters

	Јед.мјера	Минирање са пречником минских бушотина од 89 mm, висина етаже 15,0 m	
Главно пуњење	kg	АНФО	пластични са бриз.комп.
Помоћно пуњење	kg	прашкasti	прашкasti
W	m	3,0-3,50	3,0-3,50
a	m	3,30-3,85	3,30-3,85
b	m	2,50-3,0	2,5-3,0
m		1,1	1,1
$L_{bušorine}$	m	16,90	16,90
$L_{probušenja}$	m	0,95	0,95
$L_{gl.punjenje}$	m	2,84-4,51	1,74-2,77
$L_{pom.punjenje}$	m	8,89-11,06	10,58-12,16
$L_{čera}$	m	3,0-3,5	3,0-3,5
$Q_{gl.}$	kg	13,2-20,95	11,4-18,1
$Q_{pom.}$	Kg	29,3-34,5	34,9-40,1
$Q_{ukuono}$	kg	42,53 – 57,45	46,32 – 58,26
Usporenje	ms	11	17
Količina	m <sup>3</sup>	167,3	227,7
q	kg/t	0,186 - 0,252	0,20 - 0,256



Слика 2. Конструкција пуњењаминске бушотине  
Figure 2 Construction of filling boreholes

## ОДРЕЂИВАЊЕ СИГУРНОСНИХ РАСТОЈАЊА ПО СВИМ ДЕЈСТВИМА

Врсте експлозива које су раније примјењиване (прије грађанског рата у БиХ) нису више у употреби на ПК Љубачево и сада се користе друге врсте, за које је, поред конкретне ситуације и ограничења на терену услјед постојање пећине и других потенцијално угрожених објеката, неопходно утврдити сигурне зоне при минирању. Сигурносне зоне при минирању су дефинисане као простор у којем потреси (удари таласа), летећи материјал или гасови експлозије могу узроковати повреду лица или објеката. При дефинисању зона сагледавају се следећи фактори:

- геолошка грађа терена који се минира
- начин минирања
- тежина бушења, дубина, пречник и угао бушотина
- искуства на минирању на руднику
- систем успорења, фактор експлозива и количина по интервалима паљења
- тип и количина експлозивног материјала
- тип и количина зачепљења

## Критеријуми сеизмичке сигурности

Као што је већ раније речено приликом минирања долази до, ослобађања енергије и стварања таласа а тим и стварања осцилација тла и детонације у виду ваздушног удара. Осцилације се радијално шире од мјеста експлозије и пригушују са повећањем удаљености, што се дешава услјед апсорпције енергије у тлу кроз које се простиру сеизмички таласи. Због тога се се ефекти минирања у различитим срединама различито манифестују.

У домаћој пракси не постоје домаћи стандарди за дефинисање сигурносних зона према овом критеријуму те анализу података добијених мјерењем потреса приликом минирања. Зато се приликом обраде резултата и дефинисања бушачко-минерских параметара могу користити

доље наведени стандарди, са напоменом да сви имају табеларни приказ граничних вриједности и прорачунавања истих, с тим што се у овом раду дају графиконски прикази :

а) **руски стандард ГОСТ 6249-52**- Сеизмичка скала за оцјену потреса услјед минирања-Институт физике Земље Совјетске академије наука - ГОСТ 6249-52. По воом стандарду је усвојена дозвољена брзина осциловања тла за објекте и пећину и то – „*Потрес осјећа врло мали број људи или само они који га очекују, запажа се мало клађење висећих предмета –III степен сеизмичког интензитета*“ .По овом стандарду дозвољена брзина осциловања тла износи 0,4-0,8 cm/s . Уз дефинисане удаљености од објеката који су угрожени или код којих је вршено мјерење можемо израчунати максимално дозвољену количину експлозива за једновремено минирање.

б) при обради резултата и дефинисању сигурносних зона према овом критеријуму могуће је користити и **швајцарски стандард SN 640312**, који је приказан графиконом граничних вриједности а иначе садржи табеларни приказ дозвољених брзина осциловања. За објекте и пећину је у овом случају дозвољена брзина осциловања тла која,по овом стандарду, износи 0,3-0,4 cm/s ( АБ и челичне конструкције, потпорни зидови, мостови, стубови, неукопани цјевоводи, подземне просторије ( каверне,пећине, тунели, ровови са или без бетонске облоге) . Ова дозвољена брзина осциловања тла важи та I тип објекта и за извор пролазне или ударне вибрације у које свакако спадају бушачко-минерски радови.

в) **Њемачки стандард DIN 4150 III** - категорише грађевинске објекте по стању градње и затеченим оштећењима.С обзиром на дозвољене брзине осцилација за поједине категорије објеката је најригорознији и због тога је сигуран за оцјену сеизмичке угрожености објеката. Стандард одређује три категорије објеката, односно три дозвољена нивоа осцилација, зависно од фреквенције, код којих се не очекују никаква оштећења.

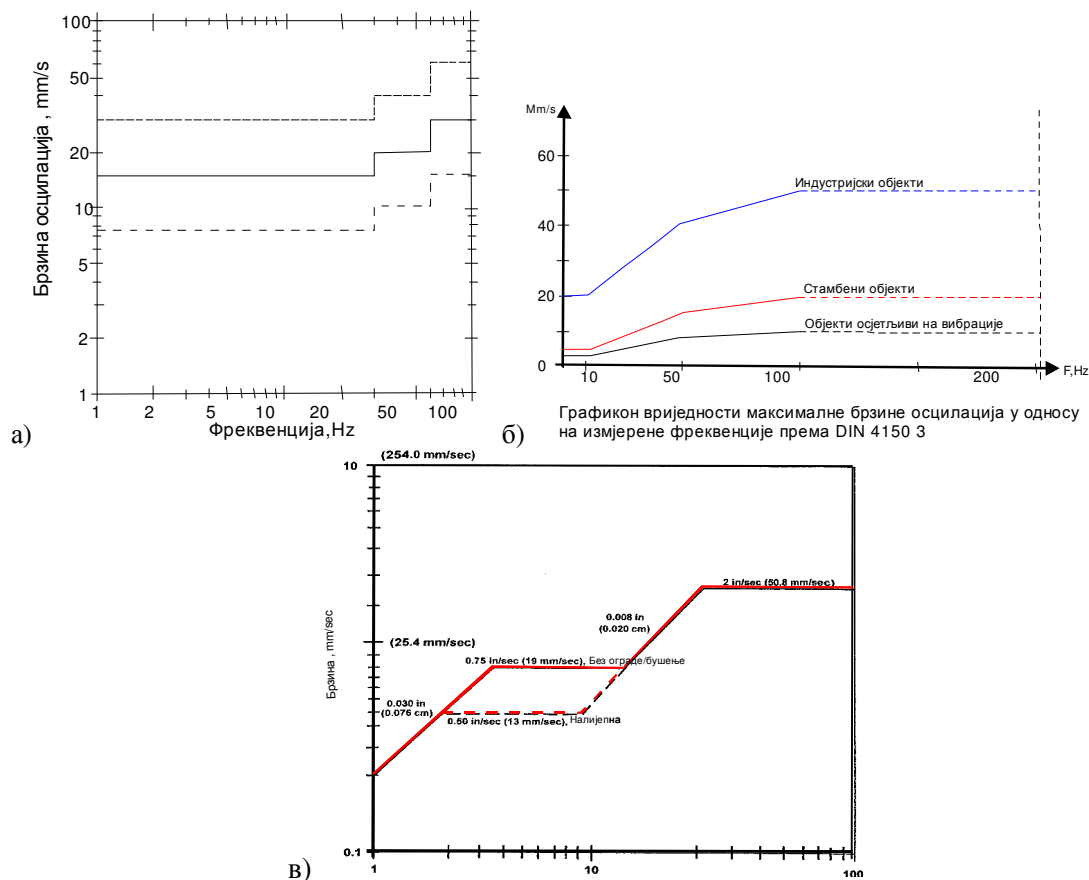
Овај стандард је коришћен при дефинисању зона минирања и дозвољених количина експлозива према грађевинским објектима који се налазе на површинском копу - сепарација и стамбених најближих стамбених објеката.На основу дозвољене брзине осциловања тла која,по овом стандарду, које износе 40-50 mm/s и за стамбене објекте и 15-20 mm/s за пећину, те уз дефинисане удаљености од објеката који су угрожени или код којих је вршено мјерење, можемо израчунати максимално дозвољену количину експлозива за једновремено минирање.

г) **Контрола вибрација и оштећења према америчкој законској регулативи WAC 296-52-67065** - Према америчким стандардима максималне вибрације тла се могу утврдити коришћењем табела са прорачунски формулама и графикона. За одређивање максималних граница вибрација/потреса тла за становништво, јавне грађевине, школе,цркве, индустријске зоне,привремене бране,стубове, пристаништа, подземне грађевине, институције у близини зоне минирања, методе кориштене код мониторинга вибрација и израчунавање фреквенције морају узимати у обзир план и скицу минирања.

Сеизмографи који се користе при вршењу мониторинга минирања и обезбјеђивања придржавања прописа а у циљу прорачунавања растојања у складу са употребљеном количином експлозива. Употребљавају табеларни прорачуни 8 или графикон приказан на слици 3в за прорачунавање растојања .

На слици 3. су дати дијаграми граничних вриједности за поједине стандарде

Одређивање дозвољених количина експлозива и зона према критеријуму сеизмичке сигурности на основу горе наведених стандарда извршен је прорачун и одређивање дозвољених количина експлозива на одређеним растојањима од објеката који су угрожени минирањима. Рекапитулација резултата прорачуна је дата у табели 4.



Слика 3. а) Стандард SN 640312; б) Стандард DIN 4150; в) Контрола вибрација и оштећења према америчкој законској регулативи WAC 296-52-67065  
 Figure 3 Standard SN 640 312, b) Standard DIN 4150, c) Control of vibration and damage to the U.S. legislation WAC 296-52-67065

Одређивање дозвољених количина експлозива и зона према критеријуму сеизмичке сигурности на основу горе наведених стандарда извршен је прорачун и одређивање дозвољених количина експлозива на одређеним растојањима од објеката који су угрожени минирањима. Рекапитулација резултата прорачуна је дата у табели 4.

Табела 4. Rezultati proračuna prema navedenim standardima  
 Table 4 The results of calculations according to the following standards

Стандард	Растојање, m					
	92	150	200	300	600	1524
ГОСТ 6249-52	41,7	180,7	428,4	1445,9	11567	-
SN 640312 пећина	18,16	78,7	186,6	629,7	5037,9	-
SN 640312 објекти	29,7	128,8	305,3	1030,6	8244,9	-
DIN 4150 3 индустрijски објекти	18,16	78,7	186,6	629,7	5037,9	-
DIN 4150 3 стамбени објекти	7,9	34,2	81,2	273,8	2190,4	-
USBM RI8507	16,5	36,3	64,5	145	580,6	2687



Из тога слиједи да су дозвољене количине експлозива при једновременом паљењу у односу на објекте за које се исти дефинишу слједећи, табела 5.

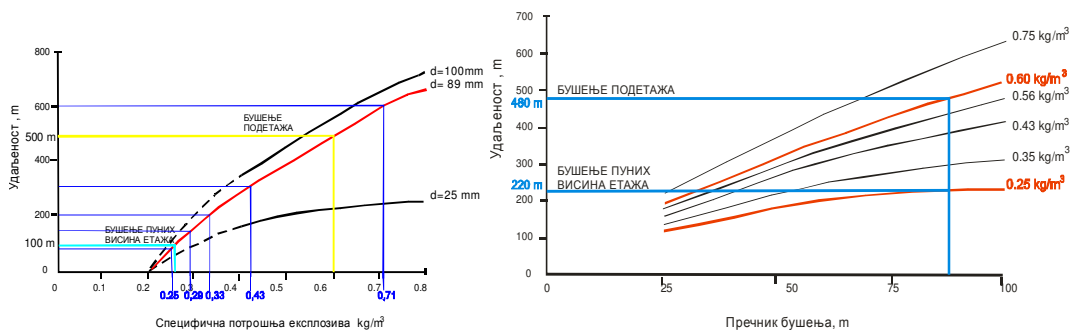
Табела . Дозвољене количине експлозива  
Табле 5 Allowed quantity of explosives

Расстојање, m	92	150	200	300	600	1524
Пећина (kg експлозива)	16,5	36,3	64,5	145	850,6	2687
Стамбени објекти (kg експлозива)	Нема минирања	36,3	64,5	145	580,6	2687
Индустријски објекти (kg експлозива)	16,5	36,3	64,5	145	580,6	2687

### ОДРЕЂИВАЊЕ РАДИЈУСА БЕЗОПАСНЕ ЗОНЕ ПРИ РАЗБАЦИВАЊУ ЛЕТЕЋИХ КОМАДА ПРИ МИНИРАЊУ

У рударству је минирање основни начин уситњавања. Несреће услед летећих комада стијена/материјала су један од основних проблема. Поред тога оне се редовно опажају приликом минирања и поједини дијелови ове технолошке фазе експлоатације су готово редовно проблематичне. Уз то и трошкови прековременог рада, поновног рада, кварова на опреми, оштећења конструкција, лијечења и хоспитализације, трагедија, инвалидности су велики. Зато је веома важно проучавање разлога појаве летећих комада и вршење мјерења. За компликоване механизме летећи комади се утврђују углавном искуствено из праксе. У последње вријеме нека проучавања показују да су основни разлози појаве летећих комада: неадекватно оптерећење – ЛНО, слабо пројектовање минирања- зачепљење, непажљиво бушење, прекомјерна количина експлозива неодговарајући интервали успорења, неповољни геолошки услови (отворени расједи, слаби спојеви, шупљине), немар при раду – нетачно бушењеповрат материјала и губитак материјала на горњим ивицама етажа и др.

Природни (непознати-непредвидиви) услови су чест проблем у пројектима геотехнике је недостатак познавања и посматрања технологије за идентификацију и препознавање специфичних аномалија или слабости стијенске структуре, што доводи проблема летећих комада. Структура стијене и њене карактеристике могу се веома значајно разликовати од мјеста до мјеста на истом копу и мјесту минирања. Дисконтинуитет једноликости и пукотине могу узроковати велике концентracије експлозива у бушотинама. Поред бројних формула могуће је користити и дијаграме за одређивање максималне удаљености при разбацавању комада минирание стијенске масе у зависности од специфичне потрошње експлозива и пречника бушења, што је приказано на слици 4.



Слика 4 : Максимална удаљеност разлијетања комада стијене у односу:  
а) на специфичну потрошњу експлозива; б) на пречник бушења  
Figure 4 The maximum distance razlijetanja piece of rock in relation  
a) the specific consumption of explosives, b) the drill bit diameter

Према растојањима, која су била референтна и у другим критеријумима за одређивање количине експлозива и сигурносних зона при мињању на каменолому "Љубачево", могуће је дефинисати оријентационе специфичне потрошње експлозива по појединим зонама. На основу горе изнесеног слиједи да сигурносно растојање у погледу појаве летећих комада стијене при мињању, зависно од специфичне потрошње експлозива, износи:

$$R= 92 \text{ m} \Rightarrow q = 0,25 \text{ kg/m}^3$$

$$R= 150 \text{ m} \Rightarrow q = 0,29 \text{ kg/m}^3$$

$$R= 200 \text{ m} \Rightarrow q = 0,33 \text{ kg/m}^3$$

$$R= 300 \text{ m} \Rightarrow q = 0,43 \text{ kg/m}^3$$

$$R= 600 \text{ m} \Rightarrow q = 0,71 \text{ kg/m}^3$$

## ОДРЕЂИВАЊЕ СИГУРНОГ РАСТОЈАЊА ОД ДЕЈСТВА ВАЗДУШНОГ УДАРА

Уз сеизмички ефекат при мињању, један од битнијих ефеката јесте и ваздушни удар у виду потисног таласа који се шири од мјеста експлозије. Интензитет таласа зависи од количине експлозива, начина иницирања и удаљености од објеката. Један од основних показатеља од којих зависи величина дејства ваздушног удара је сама технологија мињања тј. начина иницирања експлозива – на површини или у зачепљеној бушотини. Од других фактора ту су још и климатски услови у тренутку детонације (ваздушни притисак, температура ваздуха и смјер вјетра). У нашим условима се користе Прописи из Сл листа СФРЈ 26/88, који одређује максимално дозвољено повећање ваздушног притисак у фронту детонационог таласа (ваздушног удара), измјереног у насељеним мјестима. Дозвољено повећање је зависно од броја детонација и вриједности дозвољеног повећања су приказани у табели 6. Ако је број детонација између наведених у табели узима се нижа вриједност повећања ваздушног притиска. Код мињања код којих се очекује повећање притиска изнад 3 mbara потребно је претходно утврдити стање потенцијално угрожених објеката. За честа мињања (сваки дан више детонација) и велика мињања Правилник одређује обавезну контролу мјерења промјене ваздушног притиска.

Табела 6. Прописане промјене ваздушног притиска у фронту детонационог таласа  
Правилник – Сл лист СФРЈ 26/88

Table 6 Prescribed changes in air pressure in the detonation wave front  
Regulation - Official Gazette of SFRY 26/88

Учесталост мињања	Максимално дозвољено повећање ваздушног Притиска при детонацији		
	mbar	Pa	Db
Сваки дан више детонација	< 1	< 100	<134
Макс. два пута недељно више детонација	< 1	< 100	<134
Макс. две детонације недељно	< 2	< 200	<140
Максимално две детонације мјесечно	< 3	< 300	<144
Максимално две детонације годишње	< 5	< 500	<148

Ако узмемо дефинисана растојања из претходних поглавља: 92, 150, 200, 300 и 600 метара као упоредна, можемо дефинисати укупне количине експлозива по тим зонама које ће бити безбједне у погледу негативних ефеката ваздушног удара:

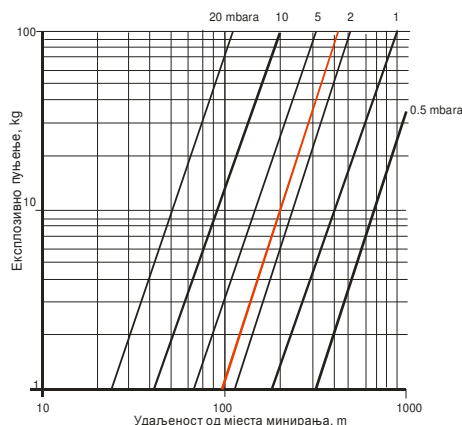
$$- R= 92 \text{ m} \Rightarrow Q = (R/3,0)^2 = (92/3)^2 = 940 \text{ kg}$$

$$- R= 150 \text{ m} \Rightarrow Q = (R/3,0)^2 = (150/3)^2 = 2500 \text{ kg}$$

$$- R= 200 \text{ m} \Rightarrow Q = (R/3,0)^2 = (200/3)^2 = 4444 \text{ kg}$$

$$- R= 300 \text{ m} \Rightarrow Q = (R/3,0)^2 = (300/3)^2 = 10000 \text{ kg}$$

$$- R= 600 \text{ m} \Rightarrow Q = (R/3,0)^2 = (600/3)^2 = 40000 \text{ kg}$$



Слика 5. Промјена ваздушног притиска у фронту детонационог таласа  
Figure 5 Changes in air pressure in the detonation wave front

Максималне границе ваздушног удара према америчком стандарду USBM RI8507 (WAC 296-52-67065) -удар ваздушног таласа не смије прелазити вриједности дате у табели 7, која се користи при одређивању максималне границе до најближе стамбене куће, јавне грађевине, школе, цркве, индустријске зоне, привремене бране, носећих стубова, пристаништа, подземне грађевине.

Табела 7. Границе ваздушног удара према стандарду USBM RI8507 (WAC 296-52-67065)  
Table 7 Border air strikes according to USBM RI8507 (WAC 296-52-67065)

Најнижа фреквенција мјерног система у Hz (3 db + или – наведена вриједност)	Мјерени ниво у Dcb
≤0.1 Hz	једнолична реакција/одзив максимално 134
0,1- 2 Hz	једнолична реакција/одзив максимално 133
2- 6 Hz or Lower	једнолична реакција/одзив максимално 129
C-додано	лагана реакција/одзив максимално 105 dcb

#### ОДРЕЂИВАЊЕ УТИЦАЈА ЕФЕКТА МИНИРАЊА НА ЉУДЕ

Вибрације код људи изазивају неугодан осјећаја посебно вибрације настале минирањем или извором који се не може у првом тренутку дефинисати. Након идентификације узрока вибрација и регистровања извора нестају пратећи учинци код људи (страх, паника и др.). Вибрације на људе дјелују узнемирујуће, посебно ако нема претходних упозорења. Вибрације тла обично настају са другим ефектима (бука, ваздушни удар, прашина) а исти повећавају психолошки учинак минирања на људе, чија је реакција зависна од генетских предиспозиција и искустава. Одређени звук праћен вибрацијама, може дјеловати као природни процес и изазива страх појединаца до идентификације извора, када долази до смиривања страха. Понекад вибрације могу бити посебно ниског интензитета, међутим код неких људи изазивају негативне реакције (страх од оштећења куће, узнемирености других људи у околини услјед изненађења и др.). Код тога је важно осигурати информисаност какве учинке имају вибрације на објекте и људе а то помаже код смањења субјективних процјена о величини узрока вибрација и могућих штетних утицаја.

Критеријуми штетног дјеловања вибрација на људе – врло јаке вибрације могу бити штетне за здравље људи, али до таквих врста вибрација у обичном дневном животу не долази. Примјери појављивања вибрација штетних за здравље људи су ријетки, јер под одређеним условима човјек региструје вибрације величине 1 микрона док амплитуде од 0,05 микрона може осјетити

на врху прста. Основне податке о осјетљивости људског организма на вибрације међу осталим проучавали су и *Reicher-Meistr*, и у њиховим изучавањима је закључено да вертикалне вибрације јаче осјете људе који стоје, док хоризонталне вибрације јаче осјете они који леже.

Интензитет вибрација је зависан од амплитуде и фреквенције осцилација: амплитуда од 100 микрона узрокује сметње на фреквенцији 5Hz, док исте вибрације узрокују болове код 20 Hz. Амплитуде вибрација код 10 микрона и фреквенције 5Hz се тешко региструју док исте вибрације код фреквенције 50 Hz постају неподношљиве. Праг осјетљивости, одређен по брзини осцилација, одговара осцилацијама од 0,3 mm/s, док су вибрације од 2,5 mm/s сметајуће.

Истраживања, која је провео *Dieckman*, одређују зоне једнаких интензитета, којима су приписане вриједности у распону 0,1-100 (K), код чега су учинци следећи:

- K=0,1.....доња граница осјетљивости
- K=1,0.....дозвољено у индустрији за неограничено вријеме
- K=10.....дозвољено за кратко вријеме
- K=100.....горња граница оптерећења човјека

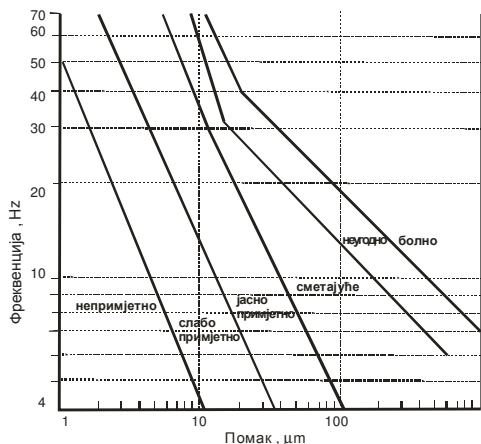
Прорачунавање вриједности K се врши према амплитудама и фреквенцијама по *Dieckman* – у за вертикалне и хоризонталне вибрације .

Изложеност људи вибрацијама и дозвољени критеријуми су одређени:

А) вибрације од поједине активности, мјерене на или у границама било којег другог мјеста животне средине, не смију прекорачити границе приказане у доњој табели.

Б) вибрације од било које активности мјерене на или унутар граница било којег мјеста у животној средини не смију прекорачити најмање два релевантна нивоа из табеле

Табела 7а. Критеријуми за границе излагања вибрацијама људи  
 NZS/ISO 2631-2:1989 и ANSI S3 29-2001  
 Table 7 Criteria for human exposure limits vibration  
 NZS / ISO 2631-2:1989 and ANSI S3 29-2001



Слика 6. Учинци осцилација на људе  
 Figure 6 The effects of vibration on people

Окружење	Континуалне вибрације дефинисане стандардом (путеви, железница, пиле, ударни сјекачи) .	Повремене или импулсне вибрације (нпр минирање)
Зона становања (ноћ)	1,4	1,4
Зона становања (дан)	4	60
Ријетко насељене зоне и обална подручја	4	60
Пословне зоне, град, базен и аеродром	4	90
Пословна зона, индустрија	6	90

Табела 7б. Критеријуми за границе излагања вибрацијама људи NZS/ISO2631-2:1989  
Table 7b Criteria for human exposure limits vibration NZS/ISO2631-2:1989

Категорија грађевине	Максимална брзина вибрација mm/s	Коментар
Зона становања (ноћ)	0,127	
Зона становања (дан)	0,178	
Ријеђе насељене зоне и обална подручја	0,254	Критеријуми важе и за цркве, школе, хотеле и позоришта
Пословне зоне, град, базен и аеродром	0.508	Критеријуми важећи и за економско-привредне зоне
Пословна зона, индустрија	0,762	Критеријуми важе за индустријске зоне

### МОНИТОРИНГ МИНИРАЊА НА КАМЕНОЛОМУ „ЉУБАЧЕВО“

У циљу израде Елабората о сигурносним зонама приликом минирања на каменолому „Љубачево“ вршено је снимање одређеног броја минирања која су послужила за комбиновање различитих врста експлозива при употреби, различитих интервала успорења са различитим растојањима између минских поља - МП и мјерних мјеста - ММ.

Резултати овог мониторинга су послужили као верификација прорачунатих бушачко минерских параметара у Елаборату. Количине експлозива које су коришћене при минирањима која су снимана у периоду мониторинга су: МП 1 - 4650 kg, МП 2-1136 kg, МП 3- 1700 kg, МП 4-670 kg и МП 5-568 kg. На слици 9 су приказане локације минских поља и мјерних мјеста мониторинга. Анализом резултата мониторинга ефеката минирања - сеизмичких мјерења на каменолому „Љубачево“, бушачко-минерски параметри коришћени приликом 5 минирања су послужили за верификацију прорачунатих параметара и дозвољених количина експлозива при једновременом паљењу у односу на све критеријуме - сигурносне зоне у односу на сеизмичке ефекте, зоне у односу на разбацивање летећих комада стијена, зоне у односу на дејство ваздушног удара, зоне у односу на дејство вибрација насталих минирањем на људе. На крају се даје преглед основних параметара који су битни приликом дефинисања услова и начина извођења бушачко-минерских радова на каменолому „Љубачево“:

Према свему изнесеном експлозиву који се користе при минирању кречњака на каменолому „Љубачево“ требају да имају детонационе брзине од 4.000-6.000 m/s, што претпоставља комбинацију амонијум нитратних прашкастих експлозива и амонијум нитратних пластичних експлозива са и без бризантне компоненте.

Бушачко-минерски параметри приликом минирања су дати за пуну висину етажне 15 метара на стр 6 рада а овдје се презентују параметри за бушење и минирање непуних висина/подетажа 5 метара:

- укупна дужина минске бушотине: $L_b = L + L_{pr} = 5,3 + 0,9 = 6,2 \text{ m}$	- дужина зачепљења $L_c = 1,0 \times W = 2,0 \text{ m}$
- линија најмањег отпора $W = 2,0 \text{ m}$	- растојање између бушотина у реду $a = 2,0 \text{ m}$
- Специфична потрошња експлозива Анфо/емулзиони $q = Q / Q_b = 14,88 : 24,8 = 0,6 \text{ kg/m}^3$	Бризантни/пластични $q = Q / Q_b = 15,05 : 24,8 = 0,625 \text{ kg/m}^3$
Прашкасти $q = Q / Q_b = 13,86 : 24,8 = 0,56 \text{ kg/m}^3$	Оптимални интервал успорења $T = 8,5 \text{ ms}$

## ПРЕПОРУКЕ ЗА ДАЉЊЕ АКТИВНОСТИ

Напредовањем динамике откопавања на каменолому „Љубачево“ долазиће до приближавања фронтних радова стамбеним објектима и дијелом удаљавања од објекта пећине и индустријских објеката на копу. Лежиште је истраживано источно од постојећих контура површинског копа и дефинисане су и овјерене додатне количине резерви техничко грађевинског камена-кречњака на овом лежишту. Неопходно да се при пројектовању бушачко-минерских радова у даљем раду каменолома узму у обзир резултати досадашњих анализа односно услови за обављање тих радова дефинисаних урађеним Елаборатом. Поред тога би било веома сврсисходно вршити мониторинг извођења бушачко-минерских радова и то посебно у ситуацијама отварања нових етажа на копу, вршења мињања у најужим зонама објекта пећине и стамбених објеката због превенције могућих оштећења објеката те промјене врсте експлозива, успоривача, геометрије бушења и др. бушачко-минерских параметара,

Да би се остварио континуитет мониторинга и праћења ефеката мињања, неопходно је сачинити Програм праћења ефеката мињања на каменолому "Љубачево" којим би било обухваћено:

- Коришћење досадашњих резултата анализа и снимања ефеката мињања и усаглашавање бушачко-минерских параметара будућих мињања са истим,
- Извршити снимање стања стамбених грађевинских објеката, пећине и индустријских објеката на копу, како би се могле пратити евентуалне промјене на тим објектима,
- Пратити сеизмичке ефекте мињања у непосредној близини најближих стамбених објеката и пећине,
- Мјерења у склопу мониторинга вршити при мињањима са већом количином експлозива, плански,
- Иницирање експлозивних пуњења вршити само са дна бушотине,
- Након сваког снимања мињања регистровати следеће податке: датум мињања, локацију минског поља (етажу), број успоривача, количина експлозива, употребљена вртса експлозива (за главно и помоћно пуњење, растојање минског поља-МП и мјерног мјеста-ММ, интервал успорења, дефинисано редуковано растојање, брзина осцилација и напомене примједбе уочених евентуалних промјена.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бабић М.: Елаборат о класификацији, категоризацији и прорачуну резерви техничко грађевинског камена-кречњака на лежишту "Љубачево" код Бањалуке са стањем 31.12.2007., "Рудпром", Приједор, 2007.
2. Berqvist I.: Rock Blasting. Nitro Nobel AB, Шведска, 1996.
3. Dieckman D.: Ein mechanisches Model fur das schwingungserregte Hand-Arm-System des Menschen. Int. Z. Angew. Physiol. Einschl. Arbeitsphysiol. 17, 1958.
4. Langefors У., Kihlstrom Б.: The modern Technique of ROCK BLASTING, Halsted Press, John Wiley & Sons Inc; 3rd edition 1978.
5. Olofsson С.: Applied explosives technology for construction and mining", Applex, Arla Шведска, 1990.
6. Остојић Ђ.: Извјештај о сеизмичким мјерењима на каменолому "Љубачево", Рудекс, Сарајево, 2007.
7. Пуртић Н.: Бушење и мињање, Београд. 1992.
8. DIN 4150 III, Немачка.
9. ГОСТ 6249-52: Сеизмичка скала за оцјену потреса ,услијед мињања-Институт физике Земље Совјетске академије наука.
10. SN 640312 Швајцарска.