

# Neeksplozivni generatori bušotinskog pritiska kao zamena eksplozivnih punjenja

Kričak Lazar, Negovanović Milanka, Mitrović Stojan, Marković Jovan, Milanović Stefan, Simić Nikola

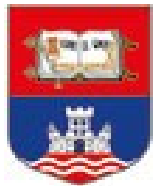


Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Neeksplozivni generatori bušotinskog pritiska kao zamena eksplozivnih punjenja | Kričak Lazar, Negovanović Milanka, Mitrović Stojan, Marković Jovan, Milanović Stefan, Simić Nikola | TR33003 | 2018 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0004118>



**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**  
**РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ**

Ђушина 7, Београд, Република Србија

**ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ – М85**

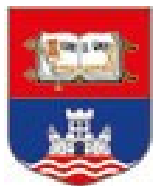
**НЕЕКСПЛОЗИВНИ ГЕНЕРАТОРИ БУШОТИНСКОГ ПРИТИСКА  
КАО ЗАМЕНА ЕКСПЛОЗИВНИХ ПУЊЕЊА**

Назив пројекта:

**„Вишенаменски аутономни систем за даљинско праћење параметара стања у  
рудницама и окружењу”**

**ТР 33003**

*Београд, новембар 2018. године*



**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**  
**РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ**

Ђушина 7, Београд, Република Србија

**ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ – М85**

**НЕЕКСПЛОЗИВНИ ГЕНЕРАТОРИ БУШОТИНСКОГ ПРИТИСКА**  
**КАО ЗАМЕНА ЕКСПЛОЗИВНИХ ПУЊЕЊА**

Назив пројекта:

**„Вишенаменски аутономни систем за даљинско праћење параметара стања у рудницима и окружењу”**

**ТР 33003**

Руководилац пројекта ТР 33003:

---

Проф. др Лазар Кричак

Декан Рударско-геолошког факултета:

---

Проф. др Зоран Глигорић

Техничко решење пријављује:	Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет
Адреса:	Београд, Ђушина бр.7
Телефон:	011/3219-100
Назив техничког решења:	НЕЕКСПЛОЗИВНИ ГЕНЕРАТОРИ БУШОТИНСКОГ ПРИТИСКА КАО ЗАМЕНА ЕКСПЛОЗИВНИХ ПУЊЕЊА
Корисник:	У фази лабораторијских и полигонских испитивања
Аутори техничког решења:	Проф. др Лазар Кричак, дипл.инж. рударства Доц. др Миланка Неговановић, дипл.инж.рударства Др Стојан Митровић, научни сарадник, РББ Бор Јован Марковић, мастер инжењер рударства Стефан Милановић, мастер инжењер рударства Никола Симић, мастер инжењер рударства
Рецензенти:	Др Милорад Гавриловски, виши научни сарадник Иновациони центар , Универзитет у Београду, Технолошко - металуршки факултет др Радоје Пантовић, редовни професор Универзитет у Београду, Технички Факултет Бор

## **1.0 ОБЛАСТ НА КОЈУ СЕ ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ ОДНОСИ**

У погледу примене, техничко решење припада научној области рударство – површинска експлоатација лежишта минералних сировина, као и области грађевинарства, геотехнике и специјалних метода минирања.

## **2.0 ОПИС ПРОБЛЕМА КОЈИ СЕ РЕШАВА**

У оквиру развојних програма Центра за минирање, Рударско-геолошког факултета, Универзитета у Београду израђено је неколико различитих састава неексплозивних горивих смеша - генератора бушотинског притиска. Неексплозивни генератори бушотинског притиска могу бити адекватна замена експлозивних пуњења у случајевима када је примена привредних експлозива ограничена или забрањена.

Приликом изградње одређених грађевинских објеката у урбаним срединама, јавља се потреба за уклањањем веће количине чврсте стенске масе која се не може откопати механизацијом. При мањим количинама, проблем се може решити применом хидрауличних ударних чекића монтираних на багер. Међутим, када су веће количине стенске масе у питању, неопходна је примена експлозива.

У погледу начина разлагања, осим црног барута који се убраја у дефлагрантне експлозиве, сви привредни експлозиви се разлажу детонацијом. Дефлагрантни експлозиви имају релативно ниску брзину разлагања, јер се енергија активирања предаје од слоја до слоја преношењем топлоте. Имају изразито потисно дејство па су се често примењивали за одсецање примарних блокова архитектонско-грађевинског камена.

Детонација је процес разлагања експлозива, где се енергија потребна за активирање молекула експлозива преноси од слоја до слоја путем ударног таласа, који се кроз експлозивну материју креће надзвучном брзином. Проучавања су показала да постоји директна веза између напрезања изазваних проласком ударног таласа и обима разарања. Брзина, притисак и енергија ударног таласа брзо се мењају са растојањем од минског пуњења. Већ на растојању од 10-15 пречника минског пуњења ударни талас се креће брзином звука, а у чврстим стенама прелази у талас напрезања који се распростире на даљину до 100 пречника минског пуњења. Зона спрашивања, која се налази непосредно око експлозивног пуњења (5-8)R (R - пречник минског пуњења). Ова зона је изложена најснажнијем дејству, под чијим утицајем долази до збијања пластичних стена и спрашивања чврстих стена. Зона дробљења јавља се као наставак

зоне спрашивања на растојању већем од (5-8) R у којој је напрезање знатно ослабљено, али још увек довољно снажно да изазове стварање прсила и пукотина. Зона потреса јавља се на још већој удаљености где су напонски таласи толико ослабили да су у стању да изврше само померање честица стенског материјала у домену еластичних деформација – потрес.

При детонацији експлозива долази до наглог ослобађања енергије, која се делом троши на дробљење стенске масе, на разбацавање издробљене масе, загревање непосредне околине и на друге некорисне облике рада као што је стварање сеизмичких таласа. Енергија сеизмичких таласа манифестује се у виду осциловања тла односно потреса.

Применом класичних привредних експлозива јављају се додатни проблеми, а то су негативни ефекти који прате сваки процес детонације. У негативне ефекте минирања убрајају се поред потреса тла и ваздушни удари, отровни гасови и разлетање комада одминираниог материјала. Из тог разлога је неопходно да се при планирању минирања у урбаним срединама, строго дефинишу сигурносне зоне од сеизмичких потреса, ваздушних удара, разлетања комада и отровних гасова од минирања.

У случајевима, када постоје врло осетљиви објекти, објекти проглашени за споменике културе, индустријски и други објекти који су врло осетљиви на потресе тла, минирање применом класичних експлозива може бити забрањено. Упркос томе потреба за уклањањем одређене чврсте стенске масе још увек постоји.

Приликом рушења објеката у урбаним срединама применом експлозива, минирају се одређени делови конструкција који су најчешће бетонски или армирано бетонски. У том случају проблем негативних ефеката минирања је још израженији, па је процедура и прорачун још комплекснији.

При експлоатацији блокова архитектонско-грађевинског камена примена експлозива је ограничена. Методе контурног минирања применом експлозивних пуњења малог пречника или детонирајућег штапина примењују се најчешће за одсецање примарних блокова гранита. Параметри контурног минирања се при експлоатацији гранитних блокова морају строго дефинисати због проблема ударног таласа који прати сваки процес разлагања експлозива и који може створити прлине и пукотине у блоку или преосталој стенској маси. Оштећење примарног блока ствара проблем при прекрајању блока на блокове комерцијалних димензија, као и при накнадном процесу обраде блока, јер се квалитет искоришћења блока смањује. Оштећење преостале стенске масе узрокује смањење искоришћења наредног примарног

блока. Из тог разлога се минирање све више замењује технологијом резања применом секачица.

При производном минирању на површинским коповима, у изминираној маси се у зависности од квалитета минирања налази мањи или већи проценат крупних - негабаритних комада стенске масе који се морају накнадно уситњавати. Високи проценат негабаритних комада погоршава техничко-економске показатеље рада на површинском копу, смањује учинак утоварно-транспортне механизације и повећава цену коштања јединице производа. При секундарном минирању негабарита јавља се велики проблем разлетања комада. Примена налепних мина које су се раније примењивале законом су забрањене управо из безбедоносних разлога у циљу спречавања великог разлетања комада. Налепне мине су замењене минирањем негабарита бушењем мањих пречника минских бушотина и пуњењем експлозивним пуњењима малог пречника. Проблем разлетања је присутан и код ове методе. Из тог разлога, за секундарно уситњавање негабарита, данас се најчешће користе хидраулични ударни чекићи. Проблем примене хидрауличних ударних чекића настаје у случајевима када има велики проценат негабарита.

У наведеним случајевима, као и многим другим, неексплозивне гориве смеше се могу применити као замена класичних привредних експлозива. Неексплозивне смеше не детонирају и самим тим нема ударних таласа. При томе се може постићи ломљење стенске масе или бетонских конструкција (у зависности од примене), а да се при томе избегну негативни ефекти који прате примену привредних експлозива.

Брзина разлагања неексплозивних горивих смеша се креће од 180 – 300 m/s, што значи да је брзина сагоревања мања у односу на сагоревање барута и конвенционалних горива. Код неексплозивних горивих смеша пренос енергије на стенски масив врши се порастом притиска ослобођених гасова уз одсуство ударног таласа. За само неколико десетина милисекунди, гасни притисак превазилази чврстоћу стене на затезање и врши њено откидање. Напрезање нагло опада по одвајању блока од масива што је од изузетног значаја за смањење: потреса, разлетања и евентуалних оштећења блока.

### **3.0 СТАЊЕ РЕШЕНОСТИ У СВЕТУ**

Тенденција у свету данас је проналажење нових решења која ће моћи да се примењују у циљу ломљења чврстих стенских маса, а која ће бити адекватна замена класичним привредним експлозивима у осетљивим подручјима. Разлог томе је проблематика која се односи на минирања у урбаним срединама, минирања у циљу

рушења објеката која се налазе у насељеним местима, експлоатација блокова архитектонско грађевинског камена применом експлозива, уситњавање негабарита код производног минирања, минирања у нестабилним стенским срединама, стабилизацији косина, изради канала и сл.

У свим наведеним случајевима постоји проблем уклањања чврсте стенске масе или бетонских конструкција на ефикасан начин, а да се при том заштити околина. При минирању веће количине чврсте стенске масе и даље се прибегава одређеним методама минирања, јер је то и даље најбржи и један од јефтинијих начина. Проблем негативних ефеката минирања је увек присутан. Експлозиви се разлажу детонацијом коју прати ударни талас. При том, свако минирање прате одређени негативни ефекти као што су потреси тла, ваздушни удари, разлетање комада одминераног материјала, отровни гасови и прекомерно дробљење стенске масе.

Негативни ефекти који прате свако минирање, навели су истраживаче да раде на усавршавању нових средстава који би могли бити адекватна замена експлозивима. Углавном су то различити састави или средства која развијају одређене бушотинске притиске без процеса детонације и која се смештају у претходно избушени низ бушотина (ако се врши одсецање стенског блока као што је то случај у експлоатацији архитектонско-грађевинског камена или при прекрајању примарних блокова у комерцијалне блокове, као и при одсецању стенског масива при стабилизацији косина као замена методама контурног минирања) или по неком претходно прорачунатом распореду бушотина (при рушењу објеката, уситњавању негабарита, минирању канала и сл.). Када напрезања савладају чврстоћу стене на затезање, долази до појаве пукотина по предиспонираном правцу избушених бушотина.

За одсецање блокова архитектонско - грађевинског камена од давнина се примењивало мануелно цепање камена у низу бушотина познато као статичко цепање троделним клиновима. Уређај за цепање је челични клин и два бочна елемента - лептира. Клине се умеће између лептира. Кад се поставе у бушотину клинови се забијају ручно мацолом по одређеном следу удараца, док не савладају отпор стене и учине да се стена усмерено поцепа по правцу избушених бушотина услед великог напрезања. Ова техника је једноставна, нема оштећења стенске масе и мали су трошкови. Примењује се и данас на коповима архитектонско - грађевинског камена где је низак ниво технологије експлоатације, где није присутна ефикаснија технологија цепања и где се стена може лако цепати услед врло добре особине цепљивости. Посебно је заступљена при прекрајању примарних блокова у блокове комерцијалних димензија.



Хидраулички клинови су механизована верзија троделних клинова. Уређаји за хидрауличко цепање стена састоје се од хидрауличне централе коју покреће електрични мотор и клинова (цилиндара) за цепање стене. Постављени у бушотину клинови врше притисак на зидове док се стена не поцепа дуж равни предиспониране избушеним низом бушотина. Цепање стенске масе хидрауличним клиновима се врши без потреса, вибрација, нечујно. Примена хидрауличних клинова је ограничена дужином клина, тако да се при великим етажама не могу применити. На тржишту постоји више хидрауличних клинова, а најпознатији је фабричког назива DARDA [1]

Једно од средстава које се примењује као замена експлозива за формирање притиска у бушотинама јесу и експанзивне смеше. Експанзивне смеше не детонирају, што је карактеристика привредних експлозива. Иако има више познатих произвођача експанзивних смеша углавном су то хемијска средства сличних карактеристика без обзира на произвођача. Експанзивни прах се меша са водом приближно у одређеном односу, по препоруци произвођача. Када се добије смеша, без грумуљица, сипа се у бушотину. Експанзивне смеше у бушотинама се шире развијајући силу притиска у дијапазону 7-8 kN/cm<sup>2</sup>, што је много више од потребне силе за цепање стенске масе. Брзина експанзије директно зависи од температуре стенске масе, односно спољне температуре ваздуха и она је сразмерна температури. На тржишту постоје експанзивне смеше са спором и брзом реакцијом. Обзиром да су смеше алкалног састава, потребно је све операције радити рукавицама и користити наочаре.

Експанзивне смеше имају следеће предности: процес цепања стенске масе се одвија без детонације и експлозија. Цепање стене се врши без буке, дима, прашине и отровних гасова. Експанзивне смеше не узрокују потресе тла, разлетање комада стене и превелика оштећења стенске масе. Апсолутно су чист еколошки производ и веома прихватљив са еколошког аспекта. Складиштење и транспорт нису опасни по околину.

Једна од познатих експанзивних смеша на тржишту је DEXPAN [2]. Екпанзивна смеша DEXPAN се примењује при контролисаним рушењима објеката нарочито у урбаним срединама, мањим грађевинским радовима, као што је израда канала и експлоатацији блокова архитектонско-грађевинског камена: гранита, мермера, кречњака и оникса. DEXPAN [2] је смеша прашкасте конзистенције која ширењем унутар бушотина развија притисак од 1241 бар, омогућавајући одсецање блокова архитектонско-грађевинског камена безбедно, без буке, вибрација и прашине. Као и за друге врсте експанзивних смеша, за руковање смешом DEXPAN нису потребне посебне дозволе и сертификати, као што је то случај код експлозива, није потребно

запошљавање посебно обученог руковоаца, као ни посебни прописи за сигурносно складиштење, транспорт и одржавање, јер се не категоришу као експлозивни. Основни недостатак експанзивних смеша је ограничена примена у условима хладне и континенталне климе, јер се при температури испод  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  не могу применити.

Cardox [3] недетонирајући експанзивни систем је још једна од алтернатива класичним експлозивима. Cardox систем [3] има низ различитих цеви за специфичне примене. Цеву су напуњене течним угљен диоксидом (потпуно исто као и апарат за гашење пожара). Након активације хемијског грејача малим електричним наелектрисањем, врши се претварање течног угљен-диоксид у гас. Ова конверзија проширује запремину  $\text{CO}_2$  и повећава притисак унутар цеви док не изазове пуцање диска на крају цеви. Тада настаје ослобађање  $\text{CO}_2$  - сада 660 пута веће од првобитне запремине - кроз специјалну млазницу за пражњење при чему се формира сила, при притисцима до 3000 bar. Цео процес се одвија у милисекундама.

Обзиром да не детонира, Cardox систем је погодан за употребу у осетљивим подручјима, за контролисано рушење армираног бетона, израду рударских објеката у тврдим стенским масама, изради тунела, окана и подводног рушења. Не ствара ваздушни удар, вибрације, прашину или штетне гасове, па је погодан за употребу у урбаним срединама и у насељеним подручјима где је забрањено минирање конвенционалним методама. Cardox систем се такође користи у великој мери за експлоатацију руде, као и блокова архитектонско - грађевинског камена [4].

Истраживања у проналажењу адекватне замене класичним експлозивима при ломљењу стенског материјала или бетона у осетљивим подручјима, односе се на проналажење одговарајућих пуњења која би након припале ослобађала велике количине гасова у краћем временском периоду без детонације. Пуњења представљају одређене пиротехничке саставе, при чијем разлагању долази до ослобађања велике количине гасова. Гасови повећавају бушотински притисак и изазивају напрезања у стени која треба да превазиђу чврстоћу стене на затезање и изврше кидање стенског материјала. Истраживања се крећу ка проналажењу адекватних брзина разлагања горивих смеша, постизању оптималних бушотинских притисака уз одсуство детонације, контролисању потреса, отровних гасова, разлетања комада стенског материјала и др. Посебан проблем је прецизност иницирања горивих смеша која је потребна на пример при одсецању стенског материјала.

#### **4.0 СУШТИНА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА**

Неексплозивне гориве смеше не детонирају (нема стварања ударних таласа који претходе детонацији), што је карактеристика привредних експлозива. Привредни експлозивни детонирају брзином од 2000-6000 m/s, док се разлагање неексплозивних смеша креће 180 – 300 m/s. Брзина сагоревања је мања у односу на сагоревање барута и конвенционалних горива.

Ломљење материјала применом неексплозивних горивих смеша се јавља као последица прогресивног пораста притиска, па су одвојени комади много већих димензија и правилнијих облика.

Потреси су вишеструко умањени у односу на потресе које изазивају класични привредни експлозивни, а зона сигурности на разлетање комада не прелази 30-35 м. Ваздушни притисак је 6-10 пута нижи него код минирања помоћу експлозива. Крајњи притисак насталих гасова, рапидно пада чим се стенска маса уситни и покрене, па се на тај начин избегава прекомерно разбацавање.

#### **5.0 ДЕТАЉАН ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА**

##### **5.1 Полазна основа**

Полазна основа за техничко решење је била теоријска поставка да одређена хемијска смеша при сагоревању ослобађа велику количину гасова. Ако се ти гасови нађу у затвореном простору долази до пораста притиска на зидове коморе у којој се одвија сагоревање.

Ако је тај простор добро зачепљена минска бушотина, нарасли притисак треба да буде довољан да изврши ломљење материјала у којем се налази бушотина.

##### **5.2 Неексплозивна горива смеша за генерисање бушотинског притиска**

Неексплозивна горива смеша за генерисање бушотинског притиска је пиротехнички састав чији је енергетски потенцијал нижи од црног барута. Поред тога што је црни барут дефлагрантна смеша у одређеним условима може имати експлозивно разлагање, поготово ако се ради о обложеном пуњењу као што је минска бушотина.

Пошло се од идеје да састави треба да имају карактеристике „умртвљеног“ црног барута и да у условима обложеног пуњења задржавају брзину разлагања путем дефлаграције.

Ови генератори представљају широку лепезу смеша састављених од оксиданата и горива са садржајем модификатора за подешавање брзине сагоревања и температуре паљења.

Састави при активирању сагоревају на отвореном брзинама од 2-5 cm/s, док у затвореном имамо значајно убрзање сагоревања, али још увек испод експлозивног. При томе долази до наглог скока притиска што доводи до повећања брзине сагоревања тако да имамо најмање две брзине разлагања до коначне разградње смеше. Притисак гаса нараста експоненцијално за неколико десетина милисекунди док не превазиђе чврстоћу стене на кидање која је 10-20 % од притисне чврстоће стене.

### **5.3 Карактеристике неексплозивних горивих смеша**

Сви састави су прашкасте конзистенције са насипном густином патронирања од 0.85 до 1.1 kg/dm<sup>3</sup>. У зависности од састава смеше могуће је при почетној брзини разлагања остварити бушотинске притиске од 34, 68, 102 и 136 МРа када долази до скока брзине сагоревања у ф-ји LnP, што даје нови скок притиска пре коначне разградње смеше. Тако смеша остварује најмање две брзине у процесу сагоревања.

Притисак гасова код прашкастих редокс смеша усмерен је првенствено на доњи део бушотине. Прашкасти редокс састави за ову намену по припали сагоревају подзвучном брзином, чак и на повишеном притиску до 276 bar.

Могуће је контролисати брзине разлагања и притиске ослобођених гасова у бушотини како би напрезања у стенском масиву била нешто већа од чврстоће стене на кидање а оштећења одвојеног блока – минимална.

### **5.4 Модификатори**

Контролисање брзине разлагања и притисака ослобођених гасова у бушотини могуће је постићи модификацијом основног редокс састава.

У модификаторе спадају катализатори горења, као што су метални оксиди и органометална једињења. Једињења која потпомажу брзину реакције и количину ослобођених гасова су такође у примени, јер и сама учествују у стварању гасовитих продуката и тако увећавају гасну запремину реагујуће смеше.

Осим неведених једињења, могу се користити материје које доприносе ослобађању топлоте иако саме не ослобађају гасовите производе. У ту сврху се могу користити метални прахови: Al, Mg, FeSi, при чему посебну пажњу треба обратити на безбедност у раду.

## 5.5 Предности неексплозивних горивих смеша

Код неексплозивних горивих смеша пренос енергије на стенски масив врши се порастом притиска ослобођених гасова уз одсуство ударног таласа. За само неколико десетина милисекунди гасни притисак превазилази тензиону јачину стене и врши њено откидање.

Талас напрезања нагло опада по одвајању блока од масива што је од изузетног значаја за смањење: потреса, разлетања и евентуалних оштећења блока.

Потреси су вишеструко умањени у односу на потресе које изазивају класични привредни експлозиви, а зона сигурности на разлетање комада не прелази 30-35 m. Ваздушни надпритисак је 6-10 пута нижи него код минирања применом експлозива. Крајњи притисак насталих гасова, рапидно пада чим се стенска маса уситни и покрене, па се на тај начин избегава прекомерно разбацавање.

## 5.6 Недостаци неексплозивних горивих смеша

У бушотинама са израженим пукотинским системима постоје два разлога која умањују учинак неексплозивних горивих смеша и то:

- истицање продуката разлагања кроз пукотински систем и немогућност усмеравања ослобођене енергије;
- немогућност стварања оптималног притиска и силе неопходне за раздвајање блока од масива због услова у којима се одвија сама реакција.

Из тих разлога је задржавање ослобођеног гаса у патрони, док се не постигне оптимални притисак, неопходан предуслов за ефикасну примену ових смеша. Еластичност патроне се постиже избором материјала који може да издржи пластичне деформације и то најмање до проширења патроне на зидове бушотине. У случају да је пречник патроне 30-33 mm, пластична патрона у радијалном смеру треба да издржи повећање пречника на 35-38 mm пре распрскавања.

## 5.7 Испитивања

Испитивања у лабораторији и на полигону вршена су у сагласности са испитивањима иностраних компанија које се дужи низ година баве овом проблематиком. Полигонска испитивања су вршена на руднику гранита као архитектонско - грађевинског камена у месту Радаљ, општина Мали Зворник.

У току истраживања коришћене су полиетиленске патроне високе густине, спољашњег пречника 25 mm, унутрашњег 20 mm, дебљине зидова 2.5 mm и дужине 150 mm.



*Слика 1. Исечени сегменти пластичне цеви једнаке дужине*



*Слика 2. Исечени сегменти цеви и специјални пластични чепови*



*Слика 3. Наношење слоја брзовезујућег лепка на исечени пластични сегмент*



*Слика 4. Наношење слоја брзовезујућег лепка на пластични чеп*

У патрони је испитивано више састава прашкасте конзистенције упоређујући времена горења, степен деформисања облоге, користећи различита средства за иницирање која су била на располагању.

Истовремено је прављено и испитивано неколико редокс састава повећане густине, применом природних везива за згушњавање смеша.



*Слика 5. Пуњење пластичне патроне неексплозивном горивом мешом*



*Слика 6. Напуњене патроне неексплозивне гориве смеше*

Зачепљење бушотина вршено је мешаним глиновито – песковитим материјалом уз добро сабијање. Чеп треба да буде минимум 50% већи од линије најмањег отпора и растојања између бушотина.

За утврђивање параметара минирања препоручује се иста количина неексплозивне смеше по  $m^3$  као када се ради са класичним експлозивима  $290-600g/m^3$ .



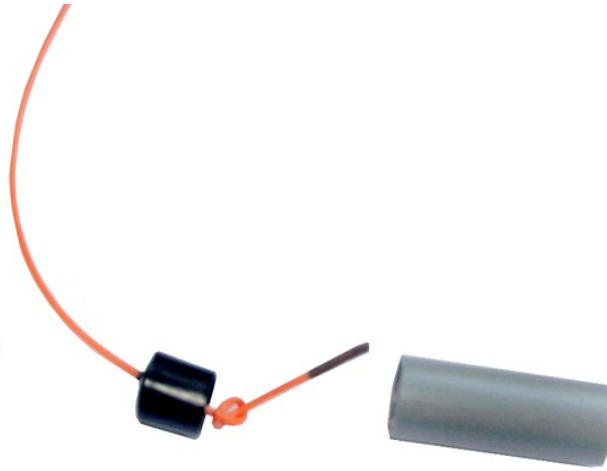
За одређивање геометрије минског поља треба користити редукована растојања за предвиђање вибрација у циљу заштите објеката у окружењу (Табела 1.).

*Табела 1. Редукована растојања за предвиђање вибрација у циљу заштите објеката у окружењу за експлозиве и неексплозивну гориву смешу*

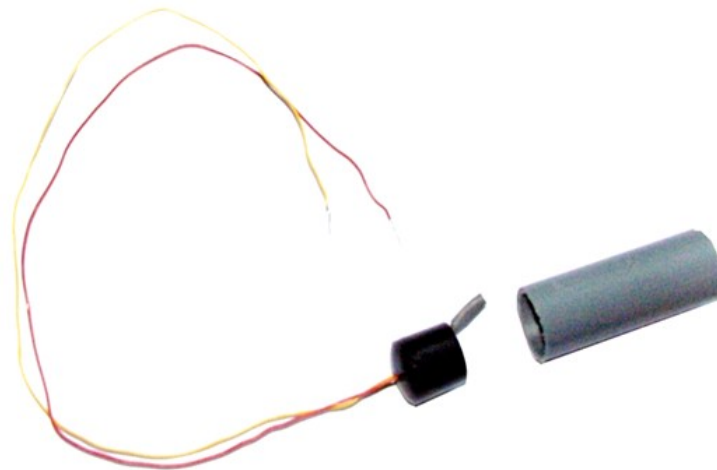
<b>Редуковано растојање</b>	<b>Експлозив V(mm/s)</b>	<b>Неексплозивна горива смеша V(mm/s)</b>
13.5	17.5	1.78
13.06	18.5	1.78
12.6	19.6	2.03
12.16	20.8	2.03
11.8	22.1	2.29
11.26	23.6	2.29
10.81	25.1	2.54
10.36	26.9	2.54
9.91	29.0	2.79
9.46	31.2	3.05
9.00	33.8	3.30
8.56	36.6	3.56
8.11	39.9	3.81
7.66	43.7	4.32
7.21	48.0	4.57
6.76	53.3	5.08
6.31	59.7	5.59
5.86	67.1	6.35
5.41	76.2	7.37
4.95	87.6	8.38
4.50	102.1	9.65
4.05	120.9	11.43

### 5.7.1 Иницирање неексплозивних горивих смеша

Од средстава за иницирање коришћене су електричне запаљиве главице и Нонел цевчице (слика 7 и 8).

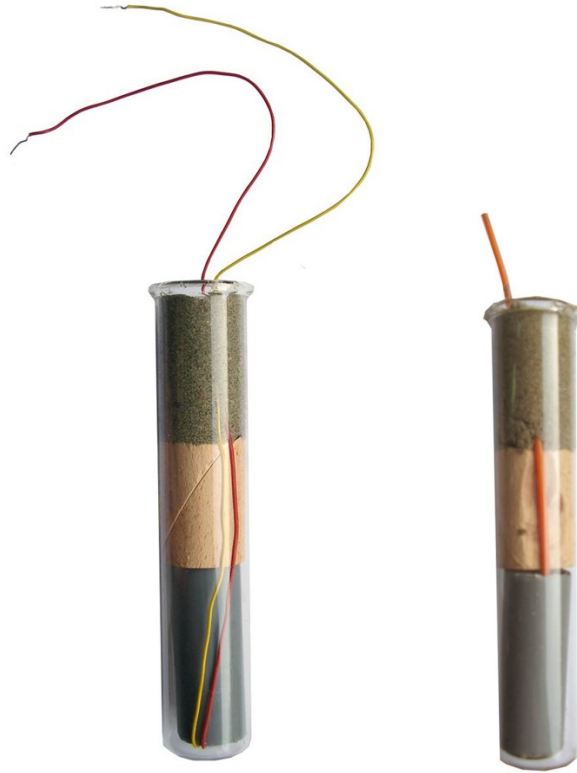


*Слика 7. Наоружавање патроне НОНЕЛ цевчицом*



*Слика 8. Наоружавање патроне електричном запаљивом главицом*

Смеше су биле различите осетљивости на иницијални импулс. Најосетљивије су инициране варницом која настаје у стандардној Нонел цевчици (20 mg/m реактивне смеше), док су мање осетљиве захтевале јачи иницијални импулс.



*Слика 9. Иницирање неексплозивних генератора бушотинског притиска електричном запаљивом главицом (лево) и НОНЕЛ цевчицом (десно)*

### **5.7.2 Резултати полигонских испитивања неексплозивне гориве смеше**

Полигонска испитивања неексплозивне гориве смеше вршена су на руднику гранита као архитектонско - грађевинског камена у месту Радаљ, општина Мали Зворник. Испитивања су се састојала од одсецања гранитног блока применом неексплозивне гориве смеше. У гранитни блок избушена је бушотина пречника 32 mm у коју је постављена патрона неексплозивне гориве смеше - генератора бушотинског притиска, пречника 25 mm. Иницирање патроне неексплозивне гориве смеше вршено је електричном запаљивом главицом.

Резултати испитивања су задовољавајући. Као што је приказано на сликама 10.1 до 10.6, постигнуто је одсецање стенског материјала порастом притиска гасова насталих сагоревањем неексплозивне гориве смеше. Притисак ослобођених гасова у бушотини ствара напрезања у стенском масиву нешто већа од чврстоће стене на кидање и врши њено откидање уз одсуство ударног таласа. Након лома стенског материјала, напрезање опада услед наглог пада притиска насталих гасова, па се на тај начин

избегава прекомерно разбацивање стенских комада. Као што је приказано на сликама 10.2 до 10.6, након лома стенског материјала, гасовити продукти сагоревања неексплозивне гориве смеше излазе кроз новоформиране пукотине, чиме се притисак гасова нагло смањује, а гасна смеша настаља да се разлаже горењем.



*Слика 10.1 Резултати полигонских испитивања  
неексплозивне гориве смеше*



*Слика 10.2 Резултати полигонских испитивања  
неексплозивне гориве смеше*



*Слика 10.3 Резултати полигонских испитивања  
неексплозивне гориве смеше*



*Слика 10.4 Резултати полигонских испитивања  
неексплозивне гориве смеше*



*Слика 10.5 Резултати полигонских испитивања  
неексплозивне гориве смеше*



*Слика 10.6 Резултати полигонских испитивања  
неексплозивне гориве смеше*

## 6.0 МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ

Неексплозивне гориве смеше - генератори бушотинског притиска, могу наћи велику примену као замена експлозива када је потребно ломљење стенског материјала или бетонских конструкција, у осетљивим подручјима, као што је:

- експлоатација архитектонско-грађевинског камена за одсецање примарних блокова, као и за прекрајање примарног блока у блок комерцијалних димензија,
- уклањање чврсте стенске масе у веома осетљивим зонама на потресе и разлетање комада одминираниог материјала,
- уситњавање негабарита,
- рушење објеката у урбаним срединама,
- израда канала,
- одсецање стенског материјала при стабилизацији косине пута,
- проширењу постојећих путева,
- нивелисање терена.

## 7.0 ЗАКЉУЧАК

Неексплозивна горива смеша за генерисање бушотинског притиска је пиротехнички састав чији је енергетски потенцијал нижи од црног барута. Генератори бушотинског притиска представљају широку лепезу смеша састављених од оксиданата и горива са садржајем модификатора за подешавање брзине сагоревања и температуре паљења.

Притисак гасова код прашкастих редокс смеша усмерен је првенствено на доњи део бушотине. Прашкасти редокс састави за ову намену по припали сагоревају подзвучном брзином, чак и на повишеном притиску до 276 bar. Могуће је контролисати брзине разлагања и притиске ослобођених гасова у бушотини како би напрезања у стенском масиву била нешто већа од чврстоће стене на кидање.

Код неексплозивних горивих смеша пренос енергије на стенски масив врши се порастом притиска ослобођених гасова уз одсуство ударног таласа. За само неколико десетина милисекунди гасни притисак превазилази чврстоћу стене на затезање и врши њено откидање.

Потреси су вишеструко умањени у односу на потресе које изазивају класични привредни експлозиви, а зона сигурности на разлетање комада не прелази 30-35 m. Ваздушни притисак је 6-10 пута нижи него код минирања помоћу експлозива. Крајњи

притисак насталих гасова, рапидно пада чим се стенска маса уситни и покрене, па се на тај начин избегава прекомерно разбацивање.

Неексплозивне гориве смеше - генератори бушотинског притиска, могу наћи велику примену као замена експлозива у оним сегментима где је потребно ломљење стенског материјала или бетонских конструкција без штетног дејства детонације, а то су: експлоатација архитектонско-грађевинског камена за одсецање примарних блокова, прекрајање примарног блока у блок комерцијалних димензија, уклањање чврсте стенске масе у веома осетљивим зонама на потресе и разлетање комада одминираниог материјала, уситњавање негабарита, рушење објеката у урбаним срединама, израда канала, одсецање стенског материјала при стабилизацији косине пута или проширењу постојећих путева и нивелисању терена.

Најбољи резултати примене неексплозивних генератора бушотинског притиска се постижу у хомогеним, компактним стенама без израженог пукотинског система. У бушотинама са израженим пукотинским системима учинак неексплозивних генератора бушотинског притиска се знатно смањује због наглог пада бушотинског притиска.

## 8.0 ЗАХВАЛНОСТ

Аутори техничког решења изражавају посебну захвалност преминулом проф. др Драгану Петровићу, дипл. инж. технологије, који је дао велики допринос у развоју нове врсте неексплозивне гориве смеше.

## 9.0 ЛИТЕРАТУРА

1. DARDA, <http://www.darda.de/en/products/splitters.html>
2. DEXPAN, <http://www.dexpan.com/dexpan-non-explosive-controlled-demolition-agent-silent-cracking-breaking.aspx>
3. CARDOX, <http://www.cardox.co.uk/how.htm>
4. FORCEVECTORINC, <https://www.forcevectorinc.com/cardox-vs-explosives-comparison.html>
5. *Models of combustion of solid composite propellants*. 1986. Belgrade, VTI Belgrade, PR material.
6. Пургић, Н., 1996. *Бушење и минирање*, Рударско геолошки факултет, Београд.
7. Gavrilović, M., 2004. *Cartridge and method for small charge breaking*. Denver, Colorado, US: US Patent 6,679,175 B2.



8. Кричак Л., 2006. Сеизмика минирања. Београд: Центар за минирање, Рударско геолошки факултет.
9. Hale, T., 2008. New Orleans, LA, USA, *Pirotechnics for Breaking Rock and Concrete in Sensitive Environments*. Proceedings of the thirty fourth annual conference on explosives and blasting technique, ISEE. Advanced Energetic, Nonex, LLC.
10. Иновациони Пројекат: *Неексплозивни генератори бушотинског притиска као замена експлозивних пуњења*, Министарство за науку и технолошки развој Републике Србије, Руководилац Пројекта Проф. др Драган Петровић, 2009/2010.