



## СЪВРЕМЕННИ ПОДХОДИ ПРИ ПРОБИВНО-ВЗРИВНИТЕ РАБОТИ ЗА ДОБИВ НА ОРАЗМЕРЕНИ КАМЕННИ БЛОКОВЕ ОТ МАГМЕНИ СКАЛИ ЗА СКАЛНО-ОБЛИЦОВЪЧНАТА ПРОМИШЛЕНОСТ

Надежда Стойчева, Петър Шишков

### MODERN APPROACHES IN DRILLING AND BLASTING WORKS FOR EXTRACTION OF DIMENSION STONE BLOCKS FROM IGNEOUS ROCKS FOR ROCK-CLADDING INDUSTRY

Nadezhda Stoycheva<sup>1</sup>, Petar Shishkov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: n.stoycheva@mgu.bg

<sup>2</sup>University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: peter.shishkov@mgu.bg

#### ABSTRACT

*Studies of foreign and local experience in the extraction of magmatic rocks for decorative and cladding purposes show a continuing trend for the use of high-speed explosives in the primary separation of the rock block from the massif. The belief, that this is the cheapest way for primary extraction, makes quarry owners to put up with the losses from unwanted cracking of high-quality material. The main reason for harmful effects is the speed of the explosive chemical decomposition. The authors have focused their researches on a variety of fast-combusting high-energetic compositions, that can fully replace detonating explosives in the extraction and secondary processing of large stone blocks.*

**Key words:** low-explosives, stone splitting, smooth blasting, ornamental stone extraction

#### 1. Въведение.

„Скалнооблицовъчни материали“ е обобщен термин за различни естествени камъни, използвани за конструктивни или декоративни цели в строителството и направата на монументи. За разлика от други минерални суровини, които имат стойност главно заради техните физични свойства, при естествения камък физичните свойства са едва първоначалния признак за определяне дали той е годен за използване като облицовъчен материал. Някои автори предпочитат термина „декоративни камъни“, като подчертават орнаменталния аспект на тяхното използване. В действителност, скалнооблицовъчните материали се определят като „естествен скален материал, изрязан, оформен или подбран за употреба в блокове, плочи, фаши или други строителни единици със специфични форми и размери“. Ето защо оразмерения каменен блок има стойност, дължаща се на неговите параметри и външен вид, подчертан от набор от минимални физични свойства (сред тях са различни параметри на якост, обработваемост, податливост на полиране, както и устойчивост на физически, химически и атмосферни влияния).

Употребата на взривни вещества в кариери за скално-облицовъчни материали като цяло е доста деликатен въпрос. При извличането на оразмерени каменни блокове, дейностите по пробиване и взривяване се прилагат както за отстраняване на слоевете на почвата и скалите с лошо качество (разкривка), така и за първично отделяне на ламелите от скалното тяло и тяхното разделяне в по-малки „търговски“ блокове, подходящи за транспорт и последваща обработка до готови продукти.

По време на премахването на откритката, обичайните промишлени взривни вещества се използват за раздробяване и отхвърляне на ненужните скални и почвени слоеве. С доближаването до същинския залеж на висококачествен материал, взривните работи трябва да се провеждат все по-предпазливо и да гарантират защита срещу увреждане на скъпоструващия камък.

Съвременната техника и технологични схеми при добива на скално-облицовъчни материали имат за цел високопроизводителен и ефективен добив с минимални загуби на ценна суровина. Затова, от

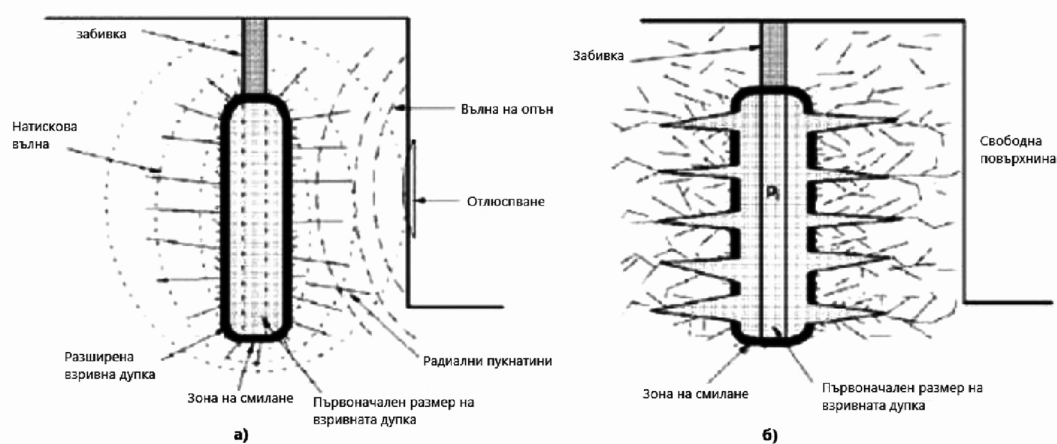


възново значение е да бъде подбран най-рационалният начин на разкриване на залежите, както и да бъде приложена подходяща технология за добив при конкретните условия със съответна механизация. Използването на съвременни технологии и тяхното бързо развитие което се наблюдава през последните 50 години, е ясен признак за актуалността на разглежданата тема.

Кариерния стадий на производството има следните фази: подготовка на стъпалото, отделяне на първичния ламел (чийто размер може да варира от четири до сто куб. метра) и накрая събаряне на скалния ламел на работната площадка на кариерата, за да бъде нарязан на по-малки блокове с търговски размери.

## 2. Действие на взрива в скална среда и механизъм на пукнатинообразуване

Скоростта на химическото превръщане на експлозивите (горене, взривно горене или детонация) оказва пряко влияние върху бризантността на взривното вещество, респективно върху фрактурироването в третираната скала. Това я прави определящ параметър за избора на експлозив и на подходяща взривна технология при работа със скално-облицовъчни материали. Колкото е по-висока тази скорост, толкова по-голяма е силата на раздробяващия ефект на експлозива. Високоскоростните взривни вещества са подходящи за взривяване на твърди скали, а тези с по-ниска скорост на превръщане се прилагат за раздробяване на меки скали. Вторите отделят газообразните си продукти за по-дълго време и следователно упражняват по-силно метателно (фугасно) действие.



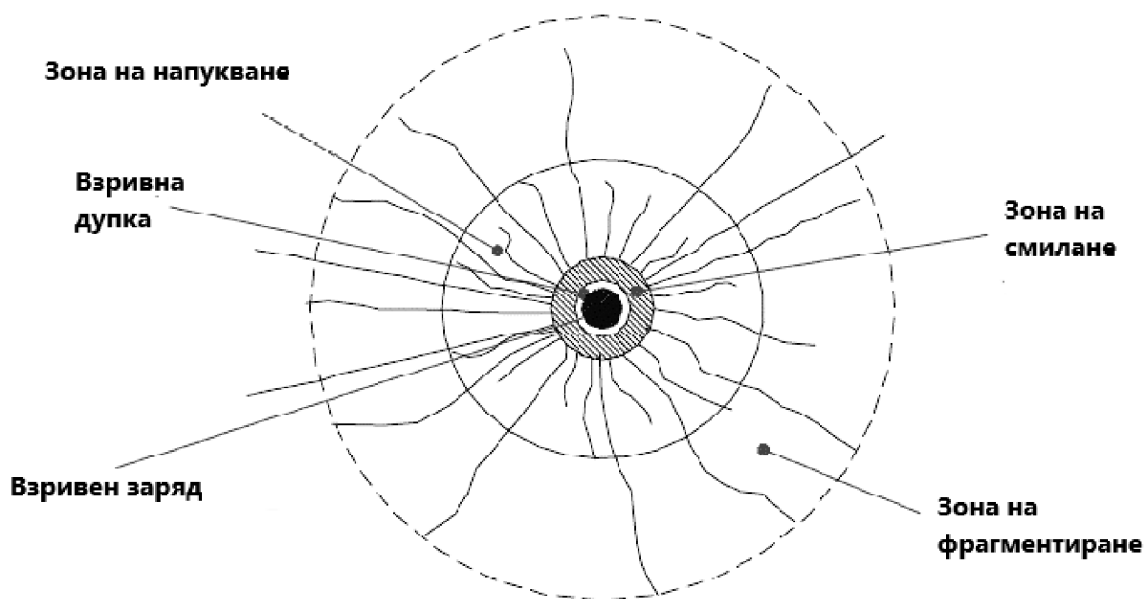
Фиг. 1. Действие на бризантното взривно вещество в твърда среда; а.) разпространение на ударната вълна, б.) разширяващо действие на газообразните продукти.

На фиг. 1 е илюстрирано действието на взрива в условията на твърда среда, каквато е скалата. При бризантните експлозиви има комбинирано въздействие. Първоначалният „удар“ върху скалата е от разпространението на фронта на вълната на свръх-налягане, предизвикана от химическото разпадане на молекулите на експлозива по детонационен способ (фиг. 1, схема „а“). Началната зона на движението на тази ударна вълна е цялата повърхност на заряда. От там, тя се разпространява със свръхзвукова скорост като сферична или елипсоидна вълна във всички посоки през обема на скалата. Въздействието ѝ предизвиква образуването на радиални микро- и макрупукнатини и различна степен на разрушаване на материала в зависимост от отстоянието от зоната на взрива. Когато ударната вълна достигне открита повърхност, тя се отразява и се връща обратно като полусферична вълна на опън, което допълнително напуква скалата. Всичко това се описва като бризантно действие на взрива. Вторичното въздействие на взрива на бризантните експлозиви е вследствие на разширяването на големия обем газообразни продукти на химичното им превръщане. Благодарение на високото налягане, горещите газове проникват в образуваните радиални пукнатини и ги разширяват, като



изтласкват фрагментираната скална маса. Това е част от описанието в литературата на фугасното действие на взрива (фиг. 1, схема „б“).

Друг проблем (разгледан на фиг. 2) при техниките на цепене с високоскоростни взривни вещества, който е свързан с бризантното въздействие върху твърдата среда е зоната на компресионна повреда или т.нар. „Зона на смилане“. Енергията на удара при детонацията е толкова голяма, че буквално пулверизира скалата непосредствено около заряда. Тази зона, пък е заобиколена от зона на неустойчивост на опън или т.нар. „Зона на радиално напукване“, където вълната на натиск остава достатъчно силна, за да предизвика сила на опън, надхвърляща якостта на опън на скалата. Тези пукнатини след това се удължават от генерираните газови налягания. Интензитетът на ударната вълна намалява с изминатото разстояние. „Зоната на сеизмично въздействие“ започва там, откъдето породените от вълната на натиск напрежения не могат да преодолеят якостта на опън на материала. Затова в тази зона няма напукване, а само вибрации.



Фиг. 2. Зони на въздействие на бризантния заряд в скална среда

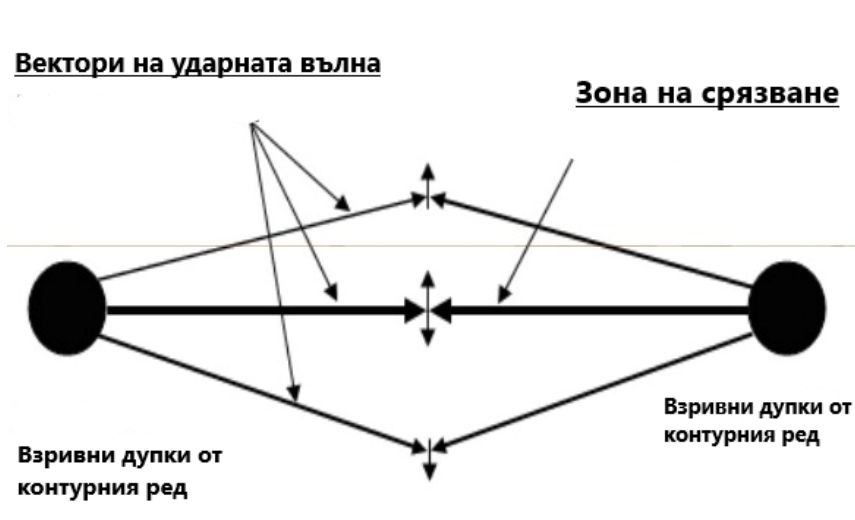
Тези ефекти са частично преодолені чрез използването на заряди с много по-малък диаметър от отвора на взривната дупка, позволяващ въздуха или водата между заряда и стените на отвора да поемат част от енергията на удара. За скално-облицовъчната индустрия са разработени специализирани експлозиви с по-ниска енергия, които осигуряват допълнително компенсиране на тези ефекти.

Според теорията на пукнатинообразуването, промишлените взривни вещества работят с помощта на тяхната шокова енергия, за да предизвикат ефект на разцепване в скалата (фиг. 3). Това се използва при контурното „гладко“ взривяване, чрез пробиване на серия от взривни дупки в зададена равнина, които се зареждат и детонират едновременно. Получените ударни вълни се наслагват по протежение на линията между сондажите, увеличавайки силите на натиск, генерирани в тази равнина. Силите на натиск предизвикват сили на опън в скалата, които действат в перпендикулярно направление на посоката на натиска.

По този начин се извършва разцепване по линията между отворите в резултат на превишаването на якостта на опън на скалата. Тайната на успешното пропукване с високоскоростни експлозиви се крие в достигането на оптималния баланс на разстоянието между отворите и специфичния разход на взривното вещество (powder factor). Якостта на опън на скалата се превишава само там, където има натрупване на ударни вълни, т.е. на линията между дупките. Разцепването с бризантни експлозиви не



е лесна задача. При твърде голям специфичен разход на експлозива се появява пукнатини в много случайни посоки освен по желаната линия на разделяне. При по-нисък специфичен разход разцепването не се получава перфектно, а голяма част от енергията на газообразните продукти се разсейва в околната скала, отново под формата на пукнатини.



Фиг. 3. Механизъм на взривно формиране на секуща повърхнина (процепване) в твърдите материали

Поради факта, че при метателните експлозиви химическото превръщане е взривно горене (а не детонация), не се генерира ударна вълна, която да премине през обема на скалата със свръх-звукова скорост и да предизвика зони на смилане и разрушения с радиални микро- и макрупукнатини. При тези взривни вещества има характерно фугасно действие, а пропукването на скалата е само под въздействието на разширяващите се горещи газове, които си проправят път към откритата повърхност. Точно това ги прави най-подходящи за добива на скално-облицовъчни материали, защото при правилно разполагане и дозиране на зарядите, скалата се спуква и оттласква само в една равнина по съществуваща жила или по повърхнината на отлагане).

### 3. Видове взривни вещества, използвани традиционно за добив на СОМ.

#### 3.1. Каменарски барут

Димният барут е метателен експлозив, а не бризантно взривно вещество. Ефектът на експлозията му върху окръжаващата среда е в резултат на налягането, генерирано от задържането на газовите продукти от неговото изгаряне. На практика, това се постига при възпламеняване на барута в подходящо перфорирана и добре затапена взривна дупка или сондаж. Взривната енергия, генерирана от нагнетените горещи газове води до разцепване на скалата поради превишаване на нейната якост на опън.

В миналото липсата на технология за едновременно запалване на зарядите в дупките е налагало желанието ефект да се постига само с един отвор, пробит така, че да се възползва от естествената посока на разцепване на камъка. Когато поради различни причини не е било възможно да се използва посоката на естественото цепене на камъка, или където такова е липсвало, са използвали линейно пробиване и разцепване с щифтове и пера. С въвеждането на електрическото възпламеняване става възможно да се извърши едновременно активиране на барутните заряди в серия от успоредни дупки, за да се постигне точно разпределяне на енергията на взрива. Това е дало възможност за по-прецизно разделяне на камъка с много по-малка вероятност за пропукването му в нежелани посоки.



### **3.2. Колонкови заряди с диаметър, по-малък от диаметъра на взривната дупка**

В северното полукълбо са разработени редица взривни техники за разцепване на камъка посредством експлозиви с високи скорости на детонацията. В скандинавските страни има практика нитроестерни експлозиви в снаждащи се тръби с малък диаметър (11 мм или 17 мм) да се използват в отвори с диаметър 30-40 мм. По принцип тези взривни изделия са създадени за технологията на гладкото контурно взривяване в тунелното строителство, но са намерили и допълнително приложение в промишления добив на скандинавски гранит. И в този случай, от миналото до наши дни най-много се разчита на използването на естествената посока на разцепване на скалата, което улеснява работата на зарядите. Все по-често се прилагат иновативни взривни техники за едновременно разделяне в две, три и дори в четири направления.

### **3.3. Детониращ шнур (ДШ)**

Детониращият шнур (ДШ) е здраво и гъвкаво линейно взривно изделие, което се състои от непрекъснато ядро от взривно вещество с висока бризантност, покрито с пластмасова изолация и подсилено с текстилни оплетки. Използваният експлозив е популярен с наименованието нитропента (PETN) със съдържание от 3,6 до 70 g/m при различните марки и модели шнурове. Когато се инициира, ДШ се взривява по цялата си дължина със скорост между 6,0 и 7,5 км/сек. и с много мощна ударна вълна. Всъщност, ДШ може да бъде разглеждан като вид удължен (колонков) заряд с диаметър, много по-малък от диаметъра на взривната дупка.

В САЩ и някои европейски държави има практика да се използва детониращ шнур в дупки, пълни с вода, която подпомага предаването на ударната вълна, но това нерядко предизвиква нежелани фрактури. За смекчаване на тези вредни последици от бризантното действие, вместо вода може да се използва специално разработен инертен воден гел, напълнен с микроскопични въздушни мехурчета или друга буферна материя (пясък, картон, въздух).

### **3.4. Непрекъснати или разсредоточени заряди от промишлени ВВ**

Те са типични за добива на руди и трошен камък. В скално-облицовъчната индустрия се използват предимно при отстраняването на разкривка. За тази цел намират приложение насипни и пакетирани експлозиви с нормална или понижена мощност от типа на АНФО, емулсионни взривни състави, прахообразни и грубодисперсни ВВ. Предназначението им е да раздробят и да отхвърлят ненужния слой скали с ниско качество. В много редки случаи, разсредоточени с междинна инертна забивка заряди от промишлени ВВ се използват за отгласкване на първичните блокове с големи размери. Препоръчва се зарядите от бризантни експлозиви да се изпълняват с понижена концентрация на експлозив във взривната дупка.

### **3.5. Гирляндни разсредоточени заряди от бризантни ВВ.**

Това са вид разсредоточени заряди, изработени чрез фиксиране на малки количества експлозив по дължината на носещо тяло, които са свързани помежду си посредством надеждна линия от ДШ. Между отделните съставни заряди има въздушни междини. Обичайно, такива заряди се използват в технологиите за екраниращо и контурно взривяване. Те намират приложение и при добива на първични блокове декоративни скали благодарение на:

- предоставяните от тях възможности за прецизен контрол на количеството на експлозива;
- разпределяне на изчисленото количество експлозив по цялата дължина на сондажа (т. нар. понижена концентрация на експлозива);
- шанса за провеждането на по-прецизно взривяване, поради оптимизирано управление на енергията на ударната вълна.



Фиг. 4. Взривни дупки за провеждане на деликатно взривяване  
а.) с разсредоточени заряди от бризантно ВВ, свързани с ДШ и без забивка;  
б.) с разсредоточени заряди от бризантен експлозив с чувствително намален диаметър, разположени в средата по оста на отвора, свързани с ДШ и без забивка;  
в.) с нишка от ДШ и дънен заряд от бризантен експлозив без забивка.

И в трите примера за деликатно взривяване, разгледани на фиг. 4 за пренасяне на инициращия импулс между отделните заряди ВВ се използва ДШ, дънните заряди са усилены и не се прилага забивка. Последното осигурява възможност за разсейване на излишната взривна енергия, но е причина за формирането на силна ударно-въздушна вълна. Въздушните междини между зарядите и стените на сондажа играят ролята на буфер, който смекчава ударния ефект от детонацията.

### 3.6. Ново поколение недетониращи взривни изделия

През последните тридесет години се наблюдава засилено търсене на взривни вещества за работа в затруднени условия на промишлено и гражданско строителство в силно урбанизирани райони и производства с непрекъснат цикъл, които да предизвикват по-слабо сеизмично въздействие, минимални вибрации и незначителен разлет на отломки. Под влияние на това търсене, научно-развойните звена на производителите на експлозиви разработиха рецепти и технологии за състави с по-лесноконтролируемо освобождаване на енергията при взривното превръщане.



Фиг. 5. Общ вид на недетониращите взривни изделия.

Така, през последните петнадесет години, на световния пазар се появиха и успяха да се утвърдят нови марки недетониращи експлозиви. Благодарение на специалната опаковка на отделните заряди и подходящата транспортна опаковка, това ново поколение взривни изделия се радва на облекчени условия за съхранение, транспортиране и употреба в съответствие както с международните спогодби, така и с националните законодателства на повечето държави. Това допринася за сериозни косвени финансови облекчения.



Фиг. 6. Гладко разцепване на камък с ниско-скоростен заряд.

В конструктивно и химическо отношение, тези заряди представляват различни по дължина и диаметър капсули от пластмаса или импрегниран водоустойчив картон, съдържащи определена доза пиротехнически състави „пироланти“ или пропеланти (гранули от композиция, наподобяваща модифициран с енергетични добавки бездимен барут). И при двата вида заряди се наблюдава т. нар. „прогресивно горене“ - изгарят бавно на открито, но поставени в тясно затворено пространство ускоряват рязко химичното си превръщане от 300 до 500 пъти до взривно горене. При това, те са проектирани при правилна употреба да не могат никога да преминат към свръхзвукова химична реакция (детонация), която би създала нежелани разрушителни напрежения в третираната материя (скала, бетон, композит и др.).

#### **4. Анализ на предимствата и недостатъците при използването на бризантни експлозиви и недетониращи заряди**

Познаването на предимствата и недостатъците при употребата на разнообразната палитра взривни материали има възлово значение за управлението на взривната енергия и предотвратяване на вредните въздействия от взрива.

Основен недостатък на каменарският барут е неговата хигроскопичност. При овлажняване той губи взривните си свойства. Това налага използването на надеждна хидроизолация на зарядите преди поставянето им във влажни или мокри взривни дупки. Друг недостатък на барутите като цяло, е повишената им чувствителност към външни механични и термични въздействия, която ги прави по-рискови за боравене в сравнение с промишлените експлозиви.

Недостатък при цепенето с барут е, че за да се постигне добро разделяне, третирания камък се препоръчва да бъде с повече от три свободни повърхнини. Използването на каменарски барут за качествено разцепване (постигане на прави пукнатини без увреждане на скалата) е специфична задача, разчитаща в голяма степен на опита и преценката на работниците в кариерата.

Изчисляването на зарядите допълнително се усложнява от влиянието на степента на задържане (потискане) на генерираното налягане. На практика не е желателно да се прилага точково зареждане на каменарски барут, тъй като изключително високите налягания, генерирани от съсредоточения заряд, може да доведат до напукване на скалата около дупката и в нежелани направления.

Основно предимство на бризантните експлозиви е ниската цена. Те лесно предизвикват образуването на пукнатина в скалата благодарение на енергията на ударната вълна на натиск. С малко количество промишлен експлозив могат да бъдат постигнати необходимите цепнатини за отделяне на скалния блок. Недостатък при тях е трудното овладяване на взривната енергия, освободена от детонацията. В много случаи тази енергия предизвиква образуването на паразитни пукнатини, които влошават експлоатационните характеристики на материала и водят до понижаване на рандемана. Предимството



при използването на бризантни експлозиви в сравнение с каменарски барут е в това, че за разцепването не се разчита на генерираното газово налягане, а на добре овладяната енергия на ударната вълна. В допълнение, тези взривни вещества са по-подходящи за едновременно разделяне в повече от една посока и следователно са необходими за ключови разцепвания, когато два перпендикулярни процепа трябва да бъдат изпълнени наведнъж.

Съвременните недетониращи експлозиви съчетават метателните свойства на каменарския барут с предимства като: водоустойчивост, подобрена енергетика, понижена емисия на вредни газове и твърди частици. Хидроизолиращите и ударозащитни свойства на корпуса осигуряват най-високо ниво на безопасност при работа дори в най-неблагоприятни условия и оводнени взривни дупки. Важно предимство на тези заряди е тяхното по-неагресивно въздействие за разцепване на скалата. То се получава благодарение на по-бавната химична реакция. Резултатът е гладко процепване в зададеното направление, без излишно напукване на материала. Друго предимство на готовите недетониращи взривни патрони е техният нисък клас на опасност в съответствие с международните спогодби и с националните законодателства на повечето държави. По-лекият режим за придобиване, транспортиране, съхранение и употреба допринася за намаляване на разходите. Използването им е съпроводено с отсъствие на ударно-въздушна вълна, нищожен разлет на скални късове и липса на сеизмични вибрации. По тези причини, кариерите за декоративни скални материали в развитите държави, постепенно въвеждат в експлоатация новото поколение фугасни взривни изделия. Тези заряди са „спасително решение“ спрямо пораженията върху добива от традиционните промишлени взривни вещества. Същевременно са и по-добрия заместител на каменарския барут.

Недостатък при работа с недетониращи заряди е сравнително по-високата цена на изделията спрямо традиционните взривни материали. Друг негатив е относително по-високият разход на експлозив за формиране на един квадратен метър откосна повърхнина. Като недостатък, също може да се отбележи и необходимостта от надеждна забивка, която да гарантира задържането на отделените газове за постигане на оптимален взривен ефект.

## 5. Заключение

Свойствата на различните скали оказват значително влияние върху избора на използвания експлозив и успеха на разцепването с минимално предизвикано от взрива разрушаване. Практиката показва, че всеки вид скала проявява различна чувствителност към разните видове взривяване. Така даден метод, който се използва успешно за един материал, може да не е подходящ при друг. Кариерите за скално-облицовъчни материали в развитите държави оставят в употреба бризантните взривни вещества предимно за някои по-мощни отстранявания на разкривки. За фината работа по оттласкване на първичния ламел и процепващите операции за разделянето му до блокове и фаши в търговски размери, те разчитат на механично прорязване и на нискоскоростните взривни патрони, които намаляват драстично загубите от напукан външен слой на скъпоструващи скални материали с първокласни декоративни характеристики.

Съществува възможност при експлоатацията на същото находище, след използването на бризантни взривни вещества, в следствие на разпространението на ударната вълна да се освободят натрупани напрежения в по-дълбоки зони от обема на скалния масив (отдалечени от взривното поле). Това предизвиква образуване на нежелани пукнатини на по-късен етап.

## 6. Използвана литература

1. Копрев, И., 2012. *Открит добив на скални блокове*, монография, издателство Авангард Прима, ISBN 978 – 954 – 323 – 951 – 1.
2. Копрев, И., 2016. *Технология на добива на скално-облицовъчни материали*, издателство Авангард Прима, ISBN 978-619-160-597-2.
3. Митков, В., 2007. *Производство на експлозиви за граждански цели*, ISBN 978-954-353-049-6.
4. Митков В., *Взривна техника и технология.*, ИК “Св.Иван Рилски” МГУ, 2020.





5. Ashmole, I, "Dimension Stone: The Small Scale Mining Potential in South Africa", Paper presented at Small Scale Mining 2004, Johannesburg, 9 September 2004.
6. Boychev Y., Asenov S., 2020. *Neletalni sredstva s multisetivno vuzdeistvie*, Publishing complex of National Military University "Vasil Levski", V. Turnovo, Bulgaria.
7. Boychev Y., Asenov S., 2020. *Pyrotechnic compositions for non-lethal noise flash devices*, in proceedings of Technics, technologies, education, safety, vol. III, ISSN:2535-0315 (Print), pp. 178-180.
8. Carvalho, J.F., Henriques, P., Fale, P., Luis, G., "Decision criteria for the exploration of ornamental-stone deposits: Application to the marbles of the Portuguese Estremoz Anticline", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* (2008), doi:10.1016/j.ijrmms.2008.01.005.
9. Mancini, R., Fornaro, M., Cardu, M., Gaj, F., "Production methods in Italian dimension stone quarries", *Proceedings of the 1996 International Symposium on Mining Science and Technology*, pp. 125-130, Balkema, Rotterdam, 1996.
10. Mollova Z., 2019. New insights into the impact of blast wave on the human body, *Journal of Mining and Geological Sciences*, Volume 2, 75-81, ISSN 2682-9525 (in English).