



**МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ  
„СВ. ИВАН РИЛСКИ” –СОФИЯ  
МИННОТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ  
КАТЕДРА „РАЗРАБОТВАНЕ НА ПОЛЕЗНИ ИЗКОПАЕМИ“**

**маг. инж. Надежда Красимилова Стойчева**

**Избор на ефективни технологии за открит добив на скално-  
облицовъчни материали от магмени скали  
(на примера на кариери „Казаните-1” и „Казаните-2”)**

## **АВТОРЕФЕРАТ**

**на дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен  
„ДОКТОР“**

<b>Научна специалност:</b>	“Открит и подводен добив на полезни изкопаеми”
<b>Професионално направление:</b>	5.8 “Проучване, добив и обработка на полезни ископаеми”

**Научни консултанти: проф. д-р инж. Ивайло Копрев  
доц. д-р Петър Шишков**

**София, 2023г.**

Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита, съгласно заповед № Р-276 от 30.03.2023 г., на разширен катедрен съвет на катедра „Разработване на полезни изкопаеми“, състоял се на 05.04.2023 г., с протокол № 5. Публичната защита ще се състои на 21.06.2023 г. от 11:00 ч в зала № 220 на Миннотехнологичен факултет в Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София съгласно ректорска заповед №.Р-314 от 18.04.2023г.

Материалите за предстоящата защита са на разположение на заинтересуваните лица в каб. 215, катедра “Разработване на полезни изкопаеми“ на МГУ „Св. Иван Рилски”, ет. 2.

Утвърденото Научно жури е в състав:

1. проф. д.н. Валери Митков, МГУ „Св. Иван Рилски“;
2. доц. д-р Благовеста Владкова, МГУ „Св. Иван Рилски“;
3. проф. д-р Станчо Петков, БАН;
4. проф. д.т.н. Георги Бахчеванов, НБУ;
5. доц. д-р Валентина Николова, БАН.

Резервни членове:

2. доц. д-р Борислава Гълъбова, МГУ „Св. Иван Рилски“;
3. проф. д-р инж. Славейко Господинов, УАСГ.

#### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

1. проф. д.т.н. Георги Бахчеванов
2. проф. д.н. Валери Митков

#### **Структура и обем на дисертационния труд**

Дисертационният труд е в обем от **193** страници, като включва списък на фигурите и таблиците, увод, **4** глави, заключение, основни изводи, списък на основните научно-приложни приноси, списък на публикациите и използвана литература. Цитирани са общо **138** литературни източници, като **92** са на латиница и **43** на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо **98** фигури и **12** таблици. Номерата на фигурите, таблиците и формулите в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Разработване на полезни изкопаеми“ на Минно-технологичен факултет.

**Автор:** маг. инж. Надежда Красиминова Стойчева

**Заглавие:** ИЗБОР НА ЕФЕКТИВНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ОТКРИТ ДОБИВ НА СКАЛНО-ОБЛИЦОВЪЧНИ МАТЕРИАЛИ ОТ МАГМЕНИ СКАЛИ (НА ПРИМЕРА НА КАРИЕРИ „КАЗАНИТЕ-1” И „КАЗАНИТЕ-2”)

**Тираж:** 20 броя

Отпечатано в Издателска къща „Св. Иван Рилски” на МГУ „Св. Иван Рилски”, София.

# I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

## УВОД

Настоящият дисертационен труд е посветен на изследвания на ефективността на видовете добив на скално-облицовъчни материали от магмени скали. Трудът се състои от увод, четири глави, заключения, изводи, приноси и библиография.

На територията на Република България има богато разнообразие от залежи на различни скално-облицовъчни материали. Основната част от тях са мраморите, варовиците и гранитоидите, а по-малка част са конгломератите, пясъчниците, габрото и други. Магмените скали са сред най-разпространените суровини за добив на скално-облицовъчни материали. Те намират широко приложение както в пътното строителство като добавъчен материал за бетони, смеси и други, така и за облицовъчни, строителни и монументални изделия.

Изборът на технология за добив на магмени скали за обработка и получаване на скални изделия зависи от желаната конструктивна форма и размери. Най-прилагани са технологиите с използване на диамантено-въжени резачки, каменорезни машини и по-рядко пробивно-взривни работи (ПВР).

Представители на магмените скали са и риолитите. И до ден днешен се намират доказателства за тяхното използване още в древността във вид на ломен, цепен и дялан камък за изграждане на зидове и външни стени на сгради, подпорни стени, мостове и други съоръжения. През средата на 19-ти век в България нараства употребата на риолита като строителен материал. През петдесетте години на миналия век търсенето на риолита като конструктивно-строителен материал и архитектурно-декоративен елемент допринася за ръста в производството на кариерите в районите на гр. Пещера и гр. Брацигово.

Понастоящем, риолитът има широко приложение и под формата на архитектурно-строителни изделия с опростени, “облекчени” форми, постигани при съвременната механизирана обработка на материала. Те разнообразяват асортимента на другите, използвани с такова предназначение, магмени скали. Поради тези причини през последните двадесет години нараства използването на риолита, както у нас така и на Балканите, което води до възобновяване на добива и търсене на решения за оптимизиране на технологиите.

В дисертационния труд са представени инженерно-геоложките условия и технологията на работа в единствените експлоатирани в България кариери за добив на риолит „Казаните-1” и „Казаните-2”. За първичния добив от масива се прилага извличане на големи скални късове с помощта на багер, в комбинация с ръчно отцепване посредством клинове. За съжаление, при намесата на земекопната механизация се причиняват загуби на качествен камък. Независимо от невисокия рандеман, количеството материал, извън него е предвидено да бъде използвано за производство на разнообразни каменни изделия - павета, бордюри и други. Затрудненият достъп до обектите и метеорологичните условия в района, определят сезонното използване на кариерите. Отдалечеността от електропреносна и водоснабдителна инфраструктура ограничават възможностите за прилагане на разнообразни технологии за първичен добив. Експлоатационните казуси на обектите „Казаните-1” и „Казаните-2” се оказват идентични с тези при много други находища на магмени скали на територията на страната. Тези проблеми са се превърнали в труднопреодолими пречки и са довели до поэтапното затваряне на другите кариери за добив на риолит като скално-облицовъчен материал в България. Изброеното дотук определя насоките, които са засегнати в дисертационния труд и формулира **основния проблем: Анализиране и повишаване на ефективността при изземане на скално-облицовъчни материали (СОМ) от магмени скали. Гарантиране на безопасната, екологична и икономо-целесъобразна работа при добива на СОМ от магмени скали.**

**Актуалността на проблема** за подобряване на ефективността на първичния добив на СОМ от магмени скали се обуславя от широкото потребление на тези продукти в световен мащаб и от относително ниския рандеман при използването към момента технологии у нас. Важно е да се отбележи, че залежите на скално-облицовъчни материали са невъзобновяеми ресурси, а природната даденост на запасите у нас е такава, че неизбежно се получават значителни количества отпадък. В тази връзка за ефективното и максимално използване на природните суровини е необходимо да бъде избрана подходяща технология за добив на конкретния материал, за да се намалят загубите.

От споменатите факти се дефинира **значимостта на темата** на дисертационната работа и необходимостта от своевременни решения, които да помогнат за увеличаването на годишния добив при подобрена ефективност, което да отговори на засиленото пазарно търсене на изделия от риолит в условията на нарастваща конкуренция от вносни продукти, алтернативни скално-облицовъчни изделия от магмен произход и изкуствени заместители.

## ЦЕЛ И ОСНОВНИ ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

**Цел:** Избор на ефективни технологии за открит добив на скално-облицовъчни материали от магмен произход, в частност на риолит, базиран на обосновани технически и икономически критерии.

### **Задачи:**

1. Теоретични изследвания на най-прилаганите технологии за добив на магмени скали по света - проучване на световния опит, както и на възможностите за експериментални изследвания за добив на риолит в условията на находища „Казаните-1” и „Казаните-2” или на други находища за магмени скали с използване на:

- безвзривна технология с експандиращи смеси;
- нискоскоростни взривни вещества (ВВ);
- гъвкав заряд високоскоростно бризантно ВВ;
- диамантено-въжена резачка (ДВР).

2. Експериментални изследвания и съпоставителен анализ за оптимизиране на добива на скално-облицовъчни материали от магмен произход.

3. Инструментални методи за изследване на нарушеността на масива и определяне на блоковостта - оптимизиране на параметрите на добиваните ламели и блокове.

За решаването на поставените задачи ще бъдат използвани следните **методи**:

- полеви изследвания;
- технико-икономически анализ;
- математическо моделиране (решаване на оптимизационна задача).

## II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

### ПЪРВА ГЛАВА. ПРОИЗХОД, РАЗПРОСТРАНЕНИЕ И ДОБИВ НА МАГМЕНИ СКАЛИ В ЧАСТНОСТ НА РИОЛИТ

В Първа глава е направен литературен обзор на произхода, разпространението и добива на магмени скали в световен мащаб (в частност на риолит). Представени са основните видове магмени скали, които намират приложение в скално-облицовъчната индустрия. Акцентирано е върху разпространението и приложението на риолита на територията на Република България. Представени са всички находища за риолит и прилаганите технологии за добив в тях, както и класификация на най-ефективните параметри, използвани при избора на технологии за добив на блокове в кариери за СОМ.

#### Изводи от Първа глава:

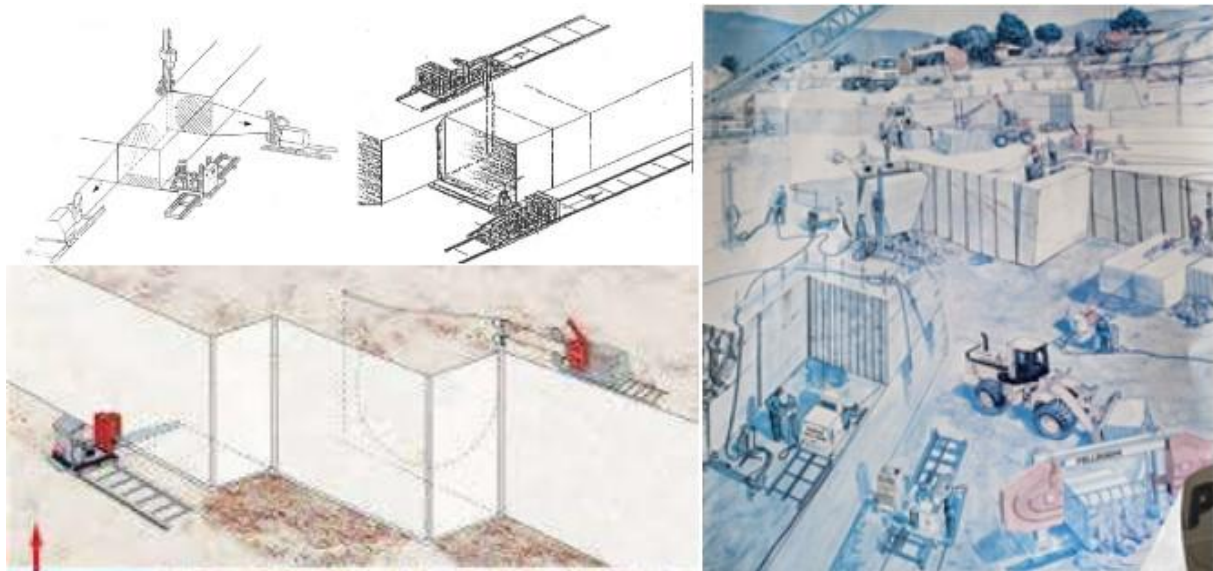
На база на селектираната информация от литературните източници, разгледана в Първа глава могат да се формират следните изводи:

1. Въз основа на анализите се установява, че не са достатъчно добре изучени технологиите за добив на риолит в българските находища.
2. В повечето случаи приетите технологии са резултат от интуитивния или дългогодишния опит на работния персонал в кариерите. Този подход не е конструктивно обоснован по отношение на геометричните параметри на добиваните скални блокове.
3. Няма данни за прилагане на съвременни методи за проучване прекъснатостта на риолитните масиви в българските находища.
4. Не се подхожда рационално към възможностите за използване на технологии с каменорезни машини или на безвзривни експандиращи композиции.
5. От друга страна, прегледа на литературата показва, че към настоящия момент у нас са извършени редица изследвания в областта на икономическата рентабилност от използването на дадена технология за добив на блокове за скално-облицовъчни материали, насочени главно към добива на мрамори и варовици. На практика информация за изследвания върху икономическата рентабилност при различните технологии за добив на риолитните СОМ липсва.

Направените изводи потвърждават още веднъж **актуалността** на разглеждания проблем и дават основание да се формулират **целта и задачите** на настоящия дисертационен труд.

## ВТОРА ГЛАВА. ТЕОРЕТИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА НАЙ-ПРИЛАГАНИТЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ДОБИВ НА МАГМЕНИ СКАЛИ ПО СВЕТА

Във **Втора глава** са представени в детайли най-прилаганите в световен мащаб технологии за добив на магмени скали като са разделени на две групи – безвзривни и взривни. Анализът на литературните източници показва, че отделянето на блокове от масива е най-времеемкият процес при разработването на находища за естествен камък. В цената на блоковете делът на разходите за операции по отделяне на ламелата от масива може да достигне 80%. В тази връзка, следва да бъде обърнато най-голямо внимание именно на този конкретен етап от добива на скални блокове.



**Фиг. 1.14. Принцилна схема на открита карьера за добив на скално-облицовъчни материали**

### **2.1. Безвзривни технологии за отцепване от масива на скални блокове от магмен произход**

Ограниченията за провеждане на взривни работи стават все по-строги и изискват все повече разрешителни. В гъсто населени или по друг начин защитени райони взривяването може да бъде напълно забранено поради опасения относно вибрации, разлет на скални късове или други аспекти на безопасността. Това са само една част от предпоставките за развоя на безвзривните технологии за добив. Разгледаните технологии за добив на блокове от магмени скали са:

**2.1.1. Технологии за отделяне от масива на скални блокове от магмен произход с помощта на каменорезни машини**

**2.1.2. Технологии за отделяне от масива на скални блокове от магмен произход с помощта на диамантено-въжени резачки**

**2.1.3. Технология за отделяне на блокове от масива с обемно-експандиращи химически композиции**

**2.1.4. Технология за отделяне от масива на скални блокове от магмен произход с помощта на хидравлични устройства (отбивачи)**

**2.2. Взривни технологии за отцепване от масива на скални блокове от магмен произход**

Първоначално, средствата за извличане на скални блокове в кариерите са били механични. Те имат неоспорими предимства - съхраняване на материала по време на добив и относителна безопасност. Но, фактори като ниска производителност, повишени якостни характеристики на някои скали, климатичните условия, затруднена работа в напукани масиви, усложнения при монтажа на оборудването, ограничават силно приложимостта на тези методи в една или друга степен. При добива на СОМ пробивно-взривните работи се прилагат, както за отстраняване на слоевете почва и скали с лошо качество (разкривка), така и за първично отделяне на скалния блок от масива и неговото процепване на по-малки блокове, подходящи за транспортиране и последваща обработка до готови продукти. Разгледани са следните взривни технологии:

**2.2.1. Технологии с използване на заряди от високо-скоростни бризантни взривни вещества.**

**2.2.2. Технологии с използване на заряди от ниско-скоростни (дефлагиращи) взривни вещества.**

**2.3. Анализи и изводи по Втора глава:**

Анализът на различните литературни източници показва, че технологията на добив с използване на диамантено въже дава по-високи приходи и възвръщаемост в сравнение с техниките с експандиращ агент и взривно процепване. Количеството на отпадъците при добив с тази технология е минимално. Така се редуцират проблемите с обработката на отпадъците, спестяват се природни ресурси и се увеличава стойността на блоковете. Осигуряват се блокове с точни размери за износ и вътрешен пазар. Недостатъкът на технологията с използване на диамантено-въжени резачки са високите капиталови



разходи и скъпата поддръжка на оборудването. Недостатъкът на технологиите с експандиращ агент и взривно процепване са образуването на микро, макро и големи пукнатини, поради което качеството, възвръщаемостта и приходите са значително занижени в сравнение с тези постигнати чрез ДВР.

От извършените теоретични изследвания могат да се направят следните изводи:

1. От гледна точка на **по-ниска себестойност и по-висока производителност** масовата практика в световен мащаб за първичен добив на едрогабаритни късове от магмени скали е посредством използване на пробивно-взривни работи. При тази технология загубите на качествен материал обикновено са най-високи в сравнение с останалите методи за добив.
2. От гледна точка на **намаляване на загубите на суровина и модернизиране на методите за добив**, направената литературна справка показва, че през последните години диамантено-въжената технология за изрязване от масива става все по-разпространена, въпреки необходимите високи капиталовложения в оборудване и обучение на персонал.
3. От гледна точка на **лесноприложима технология на обекти със специфични условия**, литературният обзор насочва към иновативния метод за добив чрез използване на обемно-експандиращи химически композиции.
4. Литературната справка насочва към прилагане на **комбинирани методи** за оптимизация на добива на магмени скали.

**Критериите** за избор на рационална технология за добив на риолит са:

- рандеман;
- производителност на технологията и нейната приложимост в конкретните условия;
- разходи за добив;
- потенциална печалба на продукцията.

За определяне на посочените критерии е необходимо да се анализират данни от полеви тестове, проведени на различни находища (различни условия на разработка и изземване на магмени скали). Проведените експериментални изследвания, описани в Трета глава на настоящия дисертационен труд са избрани въз основа на направените проучвания на публикации, отразяващи чуждестранния опит за добив на магмени скали, както и гореописаните изводи и критерии за избор на технология.

## ТРЕТА ГЛАВА. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И СЪПОСТАВИТЕЛЕН АНАЛИЗ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА ДОБИВА НА СКАЛНО-ОБЛИЦОВЪЧНИ БЛОКОВЕ ОТ МАГМЕН ПРОИЗХОД

В Трета глава са представени серия от експериментални изследвания за оптимизиране на добива на скални блокове. Направен е технико-икономически анализ на използваните технологии за добив.

### 3.1. Експериментални изследвания с използване на обемно-експандиращи химически композиции

Поради високата твърдост и добрата цепителност на риолита на кариера „Казаните-1“, за нуждите на настоящия дисертационен труд бяха проведени серия от експерименти за добив и по-нататъшно разделяне на ламелите в блокове с подходящи размери за натоварването им с наличната механизация.

Бяха направени три опита (фиг. 3.2: а) б) в). За всеки отделен експеримент бяха използвани незатиснати скални образци с подобни размери. Избраните повърхности на цепене бяха с дължина около 1.5 m при дебелина на камъка около 1.0 m. Така постигнахме почти еднакви размери на отрезните площи по 1.5 m<sup>2</sup>. Технологията използва същите предварително пробити отвори в скалата както при метода на взривните дупки. Във всеки от трите камъка бяха пробити в една линия успоредни вертикални дупки с дължина 0.8 m и диаметър  $\varphi = 38 \div 42$  mm. Разстоянието от планираната равнина на отцепване до челната открита повърхност бе 0.7 m.

За Тест – 1 бяха перфорирани 5 отвора през 0.2 m с отстояние на периферните дупки до страните 0.25 m.

За Тест – 2 бяха перфорирани 4 отвора през 0.3 m с отстояние на периферните дупки до страните 0.30 m.

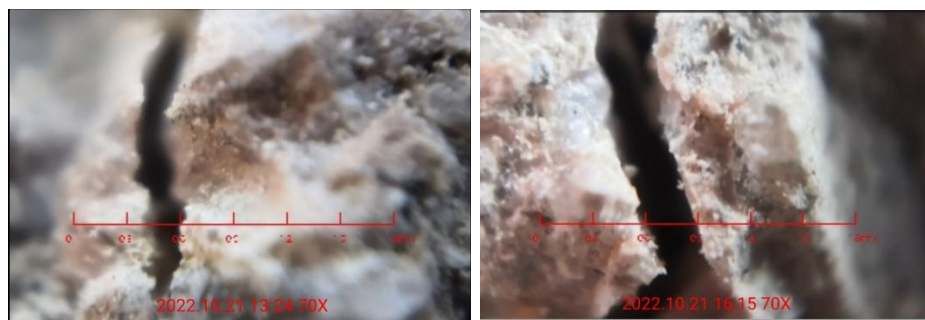
За Тест – 3 бяха перфорирани 3 отвора през 0.4 m с отстояние на периферните дупки до страните 0.35 m.





**Фиг. 3.2. Разцепване на скален блок чрез експандиращи химични смеси на кариера „Казаните - 1“;  
а) Тест - 1; б) Тест - 2; в) Тест - 3**

За експериментите бе избрана експандираща смес SplitStar - SCA-1 за работа при високи температури. Съставът бе разопакован и хомогенизиран със студена вода на самия обект, непосредствено преди употребата му. Готовия разтвор бе налят директно в почистените от прах сухи дупки. Опитните скални образци бяха оставени на въздействието на химическия експандер в продължение на предписаните от доставчика 24 часа, като бяха подложени на периодично наблюдение за регистриране на настъпващи промени (фиг.3.3).



**Фиг. 3.3. Нарастване на пукнатина в рамките на 3 часа, предизвикана от обемно-експандиращи смеси**

## Резултати от експериментите

При отцепването с обемноразширяващ се състав на Тест - 1 се забелязва пропукване по линията между залятите отвори още на шестия час след запълването им с разтвора. До 12-тия час пукнатината бе достигнала широчина 10 – 12 mm. До 24-тия час се бе образувала цепнатина с ширина 28 – 30 mm и без изкривяване. Стойността на изразходените материали без да се включват разходите за пробивни работи е 10.50 EUR за 1.5 m<sup>2</sup> отрезна площ (за запълване на 5 отвора по 0.8 m = 4.0 m x 1.5 kg/m сух реагент = 6.0 kg x 1.75 EUR/kg = 10.5 EUR).

При отцепването с обемноразширяващ се състав на Тест - 2 се забелязва пропукване по линията между залятите отвори около 10-тия час след запълването им с разтвора. До 16-тия час пукнатината бе достигнала широчина 13 – 15 mm. До 24-тия час се бе образувала цепнатина с широчина 24 – 26 mm и с изкривяване заради наличието на дамар. Стойността на изразходените материали без да се включват разходите за пробивни работи е 8.40 EUR за 1.5 m<sup>2</sup> отрезна площ (за запълване на 4 отвора по 0.8 m = 3.2 m x 1.5 kg/m сух реагент = 4.8 kg x 1.75 EUR/kg = 8.40 EUR).

При отцепването с обемноразширяващ се състав на Тест - 3 първото пропукване по линията между залятите дупки се появи след 12-тия час от запълването им с разтвора. До 20-тия час пукнатината бе достигнала широчина 10 – 11 mm. До 24-тия час се бе образувал процеп с ширина 18 – 19 mm. Стойността на изразходените материали без да се включват разходите за пробивни работи е 6.30 EUR за 1.5 m<sup>2</sup> отрезна площ (за запълване на 3 отвора по 0.8 m = 2.4 m x 1.5 kg/m сух реагент = 3.6 kg x 1.75 EUR/kg = 6.30 EUR). *Предвид постигнатите удовлетворителни резултати по отцепването без значими щети върху материала, този експеримент се приема за ориентир при изчисляването на средна стойност за получаване на 1 m<sup>2</sup> отрезна площ с помощта на обемно-разширяващ се химичен реагент. Изчислената цена на 1 m<sup>2</sup> отрезна площ е: 6.3 EUR : 1.5 m<sup>2</sup> = 4.20 EUR/m<sup>2</sup>.*

Стойността на пробивните работи за отвори с Ø38 ÷ 42 mm възлиза на 20 EUR/m с включени разходи за дизелово гориво и масло, амортизационни отчисления за компресор и пробивно оборудване и заплащане на персонала. В този случай при 3 дупки с дълбочина 0.8 m цената на пробивните работи за 1.5 m<sup>2</sup> отрезна площ е: 3 бр. дупки x 0.8 m x 20 EUR/m = 48 EUR

Сумарната средна стойност за 1 m<sup>2</sup> отрезна площ може да бъде изчислена по следния начин: (48 EUR + 6.3 EUR) : 1.5 m<sup>2</sup> = 36.20 EUR/m<sup>2</sup>.

За отцепването на блок с размери 1.5 m. x 1.0 m. x 0.7 m. (обем 1.05 m<sup>3</sup>) са необходими пробивни работи с ръчен пневматичен перфоратор 2.40 m : 1.5 m/h. = 1.6 h. Организацията по подготовката на разтвора и зареждането отнема около 0.4 часа. Тоест за добива на 1.05 m<sup>3</sup> блок от магмена скала са необходими общо 2 часа, което означава, че средната производителност на работния персонал е 0.53 m<sup>3</sup>/h. Като се прибави и времето за пукнатинообразуване, тази технология се оказва със сравнително ниска производителност, но в условията на кариери „Казаните-1“ и „Казаните-2“ този средно 24 часов период е приемлив.

За потвърждаване на получените резултати от Тест - 3 бяха направени поредица от допълнителни експерименти за разцепване на скални образци с отстояние между перфорациите 0.4 m. Опитите бяха проведени при различни температури на околната среда и при скални образци с различна височина и степен на затегнатост в масива. При вторичното разцепване на блоковете дължината на перфорациите бе намалена до 0.6 m. По този начин разходите по пробиване както и количеството на разтвора бяха допълнително редуцирани. В рамките на 6 работни месеца постигнатите резултати бяха повече от задоволителни и това прави предложената оптимизация на разстоянията и на дълбочините на перфорациите приложима за добива на риолит с обемно-експандиращи смеси.

### **3.2. Експериментални изследвания с използване на ПВР**

Тестовите за оценка на щети, причинени от взривогенерирани напрежения на натиск бяха проведени в кариери за добив на вулканични скали за декоративно – монументални цели с коефициент на твърдост по Протодяконов  $f = 16$ . За сравняване на ефектите от въздействията бе необходимо изпитанията да бъдат при приблизително еднакви условия.

#### **3.2.1. Посредством високо-скоростни гъвкави заряди от бризантни ВВ.**

За сравнителния анализ бяха направени следните опити за отцепване на скални блокове чрез взривни дупки:

- с различна маса на линейния заряд (различен брой нитки детониращ шнур);
- с различно запълване на остатъчното пространство между заряда и стените на взривната дупка;
- с използване на централно фиксиран детониращ шнур (ДШ).

Бяха направени четири експеримента. За всеки от тях бяха подбрани приблизително еднакви скални образувания с по три открити повърхности и дамар от четвъртата страна или по четири открити повърхности. Избраните скални тела бяха с широчини по ивицата на цепене около 1.5 m при височина на желания процеп около 2 m. Така постигнахме почти еднакви размери на отрезните площи по около 3 m<sup>2</sup>. Разстоянието от планираната равнина на отцепване до челната открита повърхност бе 0.80 m. Във всяка от четирите скали бяха пробити по три успоредни вертикални взривни дупки с дължина 1.8 m и диаметър  $\varphi = 36 \div 42$  mm. Разстоянието между взривните дупки бе около 0.4 m. Отстоянието на периферните дупки до свободните страни бе по 0.35 m.

За нуждите на изследването бе използван ДШ със съдържание на PETN 12 g/m. За изготвянето на зарядите, ДШ бе разпределен на еднакви отрязъци с дължина 2 m. Така, масата на ВВ във всеки отрязък е 24 g PETN. Средната пазарна цена на 1 m от използваното ДШ със съдържание на PETN 12 g/m е около 0.5 EUR. Средната пазарна цена на 1 брой от използваните електродетонатори с мигновено действие е 1.5 EUR.

За смекчаване на шокото въздействие на бризантния заряд с повишена мощност върху стените на взривната дупка, бяха използвани три вида буферни материали – въздух, пясък и воден гел.

*Експеримент – 1:* Отцепване на скален къс със заряд 12 g/m. Във всяка от трите взривни дупки беше поставена по една нишка ДШ, като взела се прибавя до дъното с помощта на дървен шомпол. Така, количеството на заряда в една дупка е около 22.5 g PETN (като се изключи съдържанието на 0.12 m ДШ стърчащо извън отвора). Първата дупка бе оставена с “въздушна забивка”, във втората бе насипан пясък около заряда, а третата бе запълнена с воден гел. Краищата на трите нишки бяха присъединени с къс отрязък ДШ в обща мрежа.

*Експеримент – 2:* Отцепване на скален къс със заряд 24 g/m. Във всяка от трите взривни дупки бяха поставени по две нишки ДШ. Така количеството на заряда в една дупка е около 45 g PETN (като се изключи съдържанието на 0.12 m ДШ стърчащо извън отвора). Първата дупка бе оставена с “въздушна забивка”, във втората бе насипан пясък около заряда, а третата бе запълнена с воден гел. Краищата на трите нишки бяха присъединени с къс отрязък ДШ в обща мрежа.

*Експеримент – 3:* Отцепване на скален къс със заряд 36 g/m. Във всяка от трите взривни дупки бяха поставени по три нишки ДШ. Така количеството на заряда в една дупка е около 68 g PETN (като се изключи съдържанието на 0.12 m ДШ стърчащо извън отвора). Първата дупка бе оставена с “въздушна забивка”, във втората бе насипан пясък

около заряда, а третата бе запълнена с воден гел. Краищата на трите нишки бяха присъединени с къс отрязък ДШ в обща мрежа.

*Експеримент – 4:* Отцепване на скален къс с централно фиксиран заряд от ДШ 24 g/m. Във всяка от трите взривни дупки бяха поставени по две нишки ДШ, увити в „кожух“ от гофриран картон (велпапе). Така количеството на заряда в една дупка е около 43 g PETN (като се изключи съдържанието на 0.2 m ДШ стърчащо извън отвора). Краищата на трите нишки бяха присъединени с къс отрязък ДШ в обща мрежа.

Иницирането на взривните мрежи бе извършвано с електрически детонатори с мигновено действие. За намаляване на ефекта на ударно-въздушната вълна, откритите части на мрежата от ДШ бяха засипани с дебел слой пресят пясък.

### **Резултати и дискусия**

Използването на гъвкави линейни заряди дава възможност за равномерно разпределение на ударната вълна и на налягането на взривните газове по цялата дължина на взривната дупка. Така напреженията на натиск върху стените на отвора са еднакви и шанса да се образува пукнатина в нежелано направление става по-малък.

При експерименталното взривяване с единична нишка ДШ 12 g/m (Експеримент - 1) не се наблюдава процепване на скалното тяло.

Стойността на изразходените взривни материали без да се включват разходите за пробивни работи и демпфериращ воден гел е 5 EUR за 3 m<sup>2</sup> отрезна площ (за 7 m ДШ x 0.5 EUR/m = 3.50 EUR и за 1 бр ел. детонатор x 1.5 EUR = 1.5 EUR).

При експерименталното взривяване с двойна нишка ДШ 24 g/m (Експеримент - 2) се наблюдава леко процепване на скалното тяло в предвиденото направление, съпроводено с минимално отместване на третирания блок. Благодарение на слабия заряд и буферната роля на въздуха и пясъка, върху блока и масива не се наблюдават видими пукнатини по отцепените повърхности. Стойността на изразходените ВМ без да се включват разходите за пробивни работи и демпфериращ воден гел е 8 EUR за 3 m<sup>2</sup> отрезна площ (за 13 m ДШ x 0.5 EUR/m = 6.50 EUR и за 1 бр ел. детонатор x 1.5 EUR = 1.5 EUR).

При експерименталното взривяване с тройна нишка ДШ 36 g/m (Експеримент - 3) се наблюдава много добро отцепване на скалното тяло в предвиденото направление, съпроводено с осезаемо отместване на третирания блок. Въпреки буферната роля на въздуха и пясъка се наблюдават видими пукнатини по отцепените повърхности. По дължината на каналите, останали от третата дупка (с водния гел) се забелязва леко единично напукване. Вероятна причина е формирането на хидроударна вълна заради

високата плътност на водния гел. Стойността на изразходените взривни материали без да се включват разходите за пробивни работи и демпфериращ воден гел е 11 EUR за 3 m<sup>2</sup> отрезна площ (за 19 m ДШ x 0.5 EUR/m = 9.50 EUR и за 1 бр ел. детонатор x 1.5 EUR = 1.5 EUR).

При експерименталното взривяване с централно фиксиран заряд от ДШ 24 g/m (Експеримент - 4) се наблюдава задоволително процепване на скалното тяло в предвиденото направление, съпроводено с достатъчно отместване на третируния блок. Благодарение на буферната роля на велпапето, върху блока и масива не се наблюдават видими пукнатини по отцепените повърхности. Стойността на изразходените взривни материали без да се включват разходите за пробивни работи и центриращи фиксатори от велпапе е 8 EUR за 3 m<sup>2</sup> отрезна площ (за 13 m ДШ x 0.5 EUR/m = 6.50 EUR и за 1 бр ел. детонатор x 1.5 EUR = 1.5 EUR). *Предвид постигнатите задоволителни резултати по отцепването и отместването без видими щети, този експеримент бе приет за ориентир при изчисляването на средна стойност за получаване на 1 m<sup>2</sup> отрезна площ с помощта на гладко взривяване с гъвкав удължен заряд.*

Стойността на пробивните работи за отвори с Ø38 ÷ 42 mm възлизат на 20 EUR/m с включени разходи за дизелово гориво и масло, амортизационни отчисления за компресор и пробивно оборудване и заплащане на персонала. В този случай при 3 дупки с дълбочина 1.8 m цената на пробивните работи е: 3 бр. дупки x 1.8 m x 20 EUR/m = 108 EUR. Стойността на използваните фиксатори от велпапе в трите дупки е 3 x 1 EUR = 3 EUR. Сумарната средна стойност за 1 m<sup>2</sup> отрезна площ може да бъде изчислена по следния начин:

$$(108 \text{ EUR} + 3 \text{ EUR} + 8 \text{ EUR}) : 3 \text{ m}^2 = 39.67 \text{ EUR/m}^2.$$

Предвид времето за пукнатинообразуване тази технология е с висока производителност. За отцепването на ламела с размери 2 m. x 1.5 m. x 0.8 m. (обем 2.40 m<sup>3</sup>) са необходими пробивни работи с ръчен пневматичен перфоратор 5.40 m : 1.5 m/h. = 3.6 h. Организацията по поставянето на фиксаторите, зареждането и взривяването отнема около 0.4 часа. Тоест за добива на 2.40 m<sup>3</sup> блок от магмена скала са необходими общо 4 часа, което означава средна производителност 0.6 m<sup>3</sup>/h.

### **3.2.2. Посредством заряди от метало-съдържащи пиротехнически смеси (пироланти).**

За нуждите на експеримента, в лабораторни условия бе изготвен пиротехнически звуково-светлиннен състав, съдържащ 65% окислител калиев перхлорат (KClO<sub>4</sub>) и 35%



горивна компонента – фин прахообразен черен алуминий (Al). Всички лабораторни експерименти бяха направени в лаборатория на “Минпроект” - Драгичево.

За измерването на скоростта на взривната реакция, с готовата смес бяха заредени експериментални образци, представляващи двустранно затворени алуминиеви тръби със следните размери:

- 3 броя с дължина 32 cm, вътрешен диаметър ф 10 mm, дебелина на стената 1 mm;
- 3 броя с дължина 32 cm, вътрешен диаметър ф 20 mm, дебелина на стената 1 mm.

Всяка тръба има 3 пробити отвора: първия за електрическото възпламеняване, втория за датчик # 1 (разположен на 3 cm от първия отвор) и третия за датчик # 2 (разположен на 25 cm от втория отвор).

Резултатите от измерванията на скоростта на взривната реакция при различните експериментални заряди е представена в Таблица 5.

**Таблица 5**

Образец №	Вътрешен диаметър на алуминиевия корпус [mm]	Вид на заряда	Скорост на взривната реакция [m/sec]
1	10	Звуково-светлинен състав	224.46
2	10	Звуково-светлинен състав	7.42
3	10	Звуково-светлинен състав	637.59
4	20	Звуково-светлинен състав	531.32
5	20	Звуково-светлинен състав	1847.70
6	20	Звуково-светлинен състав	897.37

След лабораторните експерименти на открито бяха проведени полеви тестове в гранитна кариера.



**Фиг. 3.9. Отцепване на скален блок чрез метало-съдържащи пиротехнически смеси**

## Резултати

От получените резултати е видно, че сместа развива по-високи скорости на взривно разлагане и при по-големи диаметри на зарядите е склонна да преминава от взривно горене към детонация. Това я прави неподходяща за изработка на недетониращи патрони с по-голям калибър. По тази причина, изследователската работа за търсене на подходящ високо-енергетичен състав за недетониращи заряди за добив и вторично разцепване на скални блокове се насочи към проучване на метателни ВВ, които реагират с по-плавно или прогресивно горене. По същата причина не се изчисляват средна стойност на 1 m<sup>2</sup> откосна повърхнина и производителност при използването на този метод за добив на скални блокове.

### 3.2.3. Посредством ниско-скоростни заряди от състави на базата на различни бездимни барути.

Бяха проведени поредица от експерименти за сравняване качествата на каменарския барут с тези на ловния барут и за изпитване на различни състави на база отпадъчни бездимни барути.

Пригответни бяха два различни ниско-скоростни взривни състава за снаряждане в експериментални патрони:

**Смес #1:** 80% смлян двуосновен бездимен барут + 20% NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> гранули;

**Смес #2:** 70% смлян едноосновен барут + 25% NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> + 5% Al (черен).

По-нататък, технологията за провеждане на експериментите и измервателната апаратура са напълно идентични с описаните в т. 3.2.2 при изследването на метало-съдържащия пиротехнически състав.

Измерванията за скоростта на взривното горене бяха направени с две различни устройства:

- с апарат "Trio Chronos", произведен от "ТРИО Електроникс" ЕООД, Република Сърбия, с използване на оптични сензори.

- с апарат "CNT-66 Pendulum", произведен от "BRL Test" Inc., САЩ, с използване на сензор за контактно напрежение.

Резултатите от тестването на скоростта на взривно горене на различните пробни заряди, проведени в лабораторията на „Минпроект“ - Драгичево са дадени в **Таблица 6**.

Образец №	Вътрешен диаметър на алуминиевия корпус [mm]	Вид на заряда	Скорост на взривната реакция [m/sec.]
1	10	Смес #1	182.23
2	10	Смес #1	251.46
3	10	Смес #1	190.12
4	10	Смес #2	208.67
5	10	Смес #2	334.44
6	10	Смес #2	267.16
7	20	Смес #1	451.45
8	20	Смес #1	390.08
9	20	Смес #1	407.92
10	20	Смес #2	536.88
11	20	Смес #2	467.14
12	20	Смес #2	537.89

Смес #1 (с двуосновен барут) и Смес #2 (с едноосновен барут) увеличават скоростите си на взривно горене с увеличаване на диаметъра на заряда.

За оценка на поведението на двете изследвани смеси в реални условия бяха проведени поредица от експерименти на гранитна кариера с патронирани заряди в полиетиленови опаковки, както и със заряди в устойчиви на външно влияние твърди

к  
о  
р  
п  
у

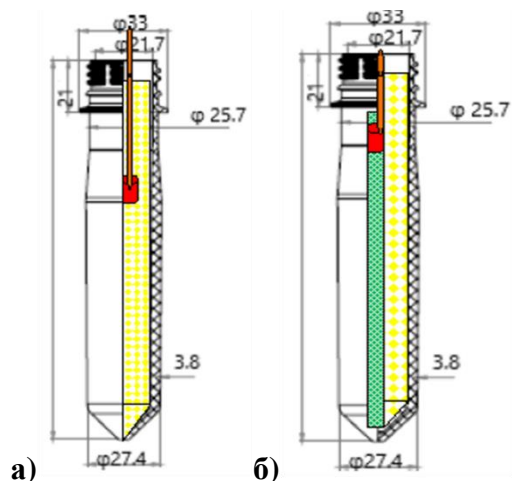
с Поредицата от полеви експерименти в рамките на две години доведе до разработката на недетониращо взривно изделие в защитен корпус (фиг.3.17), съдържащо състав от отпадъчен бездимен барут и форсиращ пиро-елемент.

в  
к  
л  
ю  
ч  
и  
г

**Фиг. 3.17. Конструктивни схеми:**

- еа) взривно изделие без форсиращ заряд;  
 б) взривно изделие с форсиращ заряд.

н  
о



и

## Резултати и коментари

При експерименталното взривяване на зарядите със Смес #1 без форсиращ пиро-елемент във взривни дупки със запълнени свободни пространства се забелязва добро процепване на скалното тяло в предвиденото направление и задоволително отместване на третирания блок. Не се наблюдава остатъчно горене след взрива в скалата.

След експерименталното взривяване на зарядите със Смес #2, без форсиращ пиро-елемент във взривни дупки със запълнени свободни пространства, се забелязва много добро процепване на камъка в желаното направление и добро отместване на третираното скално тяло. Няма остатъчно догаряне в процепа след взрива.

Взривяването на експерименталните контейнери със Смес #1, активирани чрез допълнителен форсиращ заряд във взривни дупки със запълнени свободни пространства, предизвика отлично процепване на скалното образуване по направлението между взривните дупки. Отместването на скалния блок бе впечатляващо. Липсата на остатъчно горене след взрива в скалата е доказателство за пълноценно взривно превръщане на сместа.

Ефекта от експерименталното взривяване на образците със Смес #2, възпламенени с допълнителния форсиращ заряд във взривни дупки със запълнени свободни пространства, е малко по-добър от описания при Смес #1. Въпреки добавката от алуминий, която повишава температурата и скоростта на взривното превръщане, и в този случай няма образуване на нежелани микропукнатини. Забелязва се гладко процепване и достатъчно силно разширяване на пукнатината. Няма остатъчни пламъци.

Въпреки стесненото пространство и осезаемо повишената скорост на взривна химична реакция, зарядите и в четирите случая не показаха признаци за преход от взривно горене към детонация.



**Фиг. 3.19. Експериментално отцепване на скален блок от масива със заряди от отпадъчни барути**

## Изводи и заключения

За постигане на по-висока начална скорост на горене при смесите, съдържащи млени отпадъчни артилерийски бездимни барути, първоначалният възпламенителен импулс на всеки заряд в недетониращите взривни патрони се осигурява с малък форсиращ пироелемент. Той е включен като допълнителен компонент на огневата верига между електрозапалката и основния заряд. Този своеобразен „пиротехнически бустер” създава условия за силно увеличена площ на горене на газогенериращите състави още при възпламеняването им, което допринася за подобряване на ефективността на взривните изделия.

Резултатите от полевите тестове за подобряване на възпламеняващия импулс за едрозърнестите недетониращи смеси на базата на отпадъчни бездимни барути показват, че оптимизацията на техниката за прилагане на звуково-светлинни пиротехнически състави под формата на форсиращи заряди в удължени корпуси, е правилно инженерно решение на проблема с непълноценното взривно горене. В комбинация с подхода за уплътняване на свободните пространства между отделните недетониращи патрони и стените на взривната дупка, бе получена усъвършенствана техника за добив и вторично процепване на едрогабаритни скални блокове. От друга страна, евтините суровини (отпадъчен бездимен барут и амониев нитрат), дават потенциал за висока икономическа и екологична ефективност на разработените взривни изделия.

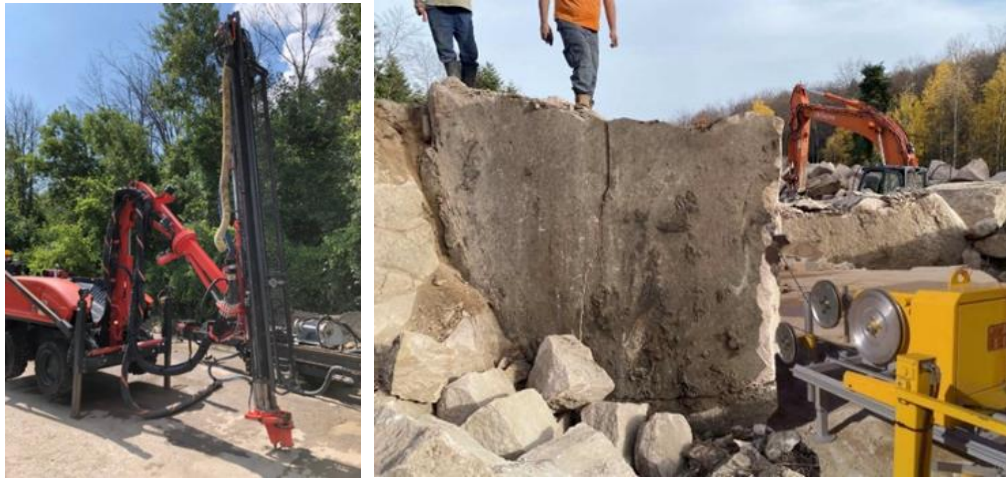
Резултатите от проведените нови експериментални взривявания показват, че на този етап, постигнатите параметри са задоволителни и не са необходими допълнителни изследвания и полеви тестове за увеличаване на коефициента на полезно действие на тези готови заряди. Това дава основание да бъдат направени изчисления на сумарните разходи за средна стойност на 1 m<sup>2</sup> откосна повърхнина при използването на тази технология за добив на скални блокове. Цените на вложените материали възлизат на 1,70 EUR за направата на един брой прототип на експериментален контейнер, съдържащ 25 g. смес, базирана на отпадъчен бездимен барут, 8 g. централен форсиращ заряд и електровъзпламенител с дължина на проводниците 3 m. За всяко от двете експериментални взривявания бяха изразходени по десет броя недетониращи контейнери, което означава разход на взривни материали по 17 EUR за образуването на 3 m<sup>2</sup> откосна повърхнина. Като прибавим разходите за пробивни работи на двата отвора с дълбочина по 1.80 m. (2 x 1.80 m. x 20 EUR/m = 72 EUR за 3 m<sup>2</sup>), сумарната средна стойност за 1 m<sup>2</sup> отрезна площ може да бъде изчислена по следния начин:

$$(72 \text{ EUR} + 17 \text{ EUR}) : 3 \text{ m}^2 = 29.67 \text{ EUR/m}^2$$

От гледна точка на производителността на този метод, за отцепването на ламела с размери 2 m. x 1.5 m. x 0.5 m. (обем 1.5 m<sup>3</sup>) са необходими пробивни работи с ръчен пневматичен перфоратор 3.6 m : 1.5 m/h. = 2.4 h. Организацията по зареждането на готовите заряди, изграждането на междинната забивка и взривяването отнема около 0.5 часа. Тоест за добива на 1.5 m<sup>3</sup> блок от магмена скала са необходими общо 3 часа, което означава средна производителност 0.5 m<sup>3</sup>/h.

### **3.3. Експериментални изследвания с използване на диамантено-въжени резачки.**

Естествената нарушеност на кариера „Казаните-2“ не позволява ефективно провеждане на рязане с ДВР. За нуждите на експерименталното изследване на кариера „Казаните-1“ бе избран скален образец с три открити повърхности. От него бе планирано изрязване на ламела с височина 3 m, дължина 4 m и ширина 2.5 m. За прокарване на диамантеното въже със сонда Sandvik Commando DC300 Ri S5 бяха пробити следните отвори с Ø 67 mm: една вертикална дупка с дължина 3 m, към която бяха засечени (сбоени) под прав ъгъл две хоризонтални дупки с дължини 2.5 m и 4 m. С избраната диамантено-въжена резачка Dazzini 800EG (фиг.3.22), с мощност на двигателя 56kW, и диамантено въже Wuxi Toolstar с дължина (L) 20 m бяха направени общо три разреза – един хоризонтален с площ 10 m<sup>2</sup> и два вертикални с площи от 7.5 m<sup>2</sup> и 12 m<sup>2</sup>. С помощта на наличната механизация (багер „Хитачи Заксис“ 280) бе подготвена и заравнена площадка за полагане, нивелиране и укрепване на релсите на резачката. За изпълнението на хоризонталния и на вертикалния срезове с големи площи релсите бяха поставени на 3 m от скалата с фронт за изтегляне до 10 m. За изпълнението на вертикалния срез с площ 7.5 m<sup>2</sup> релсите бяха поставени на 5.5 m от скалата с фронт за изтегляне до 10 m. За захранване на оборудването бе използван дизелов генератор с мощност 150 kW, напрежение 400 V (трифазен ток) и сила на тока от 45 до 48 A. За охлаждане на диамантеното въже бе подавана вода от преносим резервоар чрез помпа с постоянен дебит 7-8 l/min. За риолитите се приема средната скорост на движение на въжето да бъде около 25 m/s.



**Фиг. 3.22. Сонда Sandvik Commando и ДВП Dazzini 800EG, използвани за експеримента**

### **Резултати от проведения експеримент**

Производителността на сондажното оборудване е 5 m/h.

Времето за пробиване на трите отвора за прокарване на диамантеното въже с обща дължина 9.5 m бе 2 часа.

Времето за позициониране, настройка и преместване на сондата за трите перфорации общо бе 4 часа.

Сумарното време за пробивните операции бе прието 6 часа.

Производителността на ДВП при работа в риолит е 4 m/h.

Времето за прокарване на трите реза с обща площ 29.5 m<sup>2</sup> бе 7.5 часа.

Времето за позициониране, настройка и преместване на резачката (включително прокарването, свързването и обтягането на диамантеното въже) за трите реза общо бе 6.5 часа.

Сумарното време за операциите по рязането бе прието 14 часа.

Цената на електроенергията, подавана от дизеловия агрегат възлиза на 1.5 EUR/kWh. В нея са включени стойността на наема, обслужването и разхода на дизелово гориво при цена 3.35 лв/л.

Консумацията на диамантено-въжената резачка с мощност 56 kW възлиза на 84 EUR/h. За 7-часов работен ден разхода ѝ за електроенергия е около 588 EUR.

Разхода на вода за охлаждане на диамантеното въже за 7-часов работен ден е 3350 l. (3.35 m<sup>3</sup>). При цена на водата за промишлени нужди 0.04 EUR/ l, разхода възлиза на 134 EUR.

Общата изрязана площ (A) от диамантеното въже (L = 20 m) беше измерена като 29,5 m<sup>2</sup>, което позволи да бъде изчислена производителността на въжето (y), както следва:

$$y = A / L = 1.48 \text{ m}^2/\text{m}$$

Поради факта, че в случая не беше използван пълния ресурс на въжето за производителността му (y), при рязане на магмени скали с висока абразивност, бяха приети осреднени данни от производители на диамантени въжета и литературни източници  $y = 5 \text{ m}^2/\text{m}$ .

Гореописаните данни дават възможност да бъдат изчислени сумарните разходи за **средна стойност на 1 m<sup>2</sup> откосна повърхнина** при използването на тази технология за добив на скални блокове. Разходите на пробивните работи на трите отвора с обща дължина 9.5 m изпълнени със сондажно оборудване Sandvik Commando DC300 Ri S5 възлизат на 190 EUR (9.5 m x 20 EUR/m). Разходите за направата на трите ряза със сумарна отрезна площ 29.5 m<sup>2</sup>, изпълнени с ДВП Dazzini800EG възлизат на 7375 EUR (29.5 m<sup>2</sup> x 250 EUR/ m<sup>2</sup>). Разходът на електричество от преносим генератор за седем часова работа на ДВП е 588 EUR. Разходът на вода от преносими резервоари за охлаждане и промиване при рязането за седем часа работа на ДВП е 134 EUR. Сумата на тези разходи е 8287 EUR, откъдето се пресмята средната стойност на 1 m<sup>2</sup> откосна повърхнина 280.92 EUR/ m<sup>2</sup>.

От гледна точка на **производителността на този метод**, за отцепването на ламела с размери 3 m x 2,5 m x 4 m (обем 30 m<sup>3</sup>) са необходими пробивни работи в рамките на 6 часа (4 часа за разполагане, настройка и укрепване на пробивното оборудване; и 2 часа самото пробиване на отворите). Прокарването на самите отрезни повърхности отнема 14 часа, от които 6.5 часа за подготовка и укрепване на въжения каменорез и 7.5 часа за самото рязане. Сумарното време за добив на ламелата с обем 30 m<sup>3</sup> е 1.5 m<sup>3</sup>/h. (30 m<sup>3</sup>/20h).

Получените резултати от проведения експеримент, при условията на силно абразивни магмени скали на кариера „Казаните-1“ с използване на диамантено-въжена технология, показват твърде висока стойност на сумарните разходи в сравнение с всички останали описани експерименти.



### **3.4. Съпоставителен анализ на разгледаните технологии за добив на скални блокове от магмен произход**

За повишаване на ефективността при добив на скално-облицовъчни материали с магмен произход и избор на икономическообразна технология бе съпоставена техническата изпълнимост на всеки от експериментиранияте методи и бяха сравнени разходите за добитите обеми скална маса.

По данни от т. 3.1. на настоящия дисертационен труд при използването на обемно-експандиращи химични реагенти сумарната средна стойност за 1 m<sup>2</sup> отрезна площ възлиза на 36.20 EUR/m<sup>2</sup>, включваща разходи за пробиване, труд и използваното количество експандиращ разтвор. Средната производителност при тази технология е 0.53 m<sup>3</sup>/h.

По данни от т. 3.2.1. при използването на гъвкави заряди от ДШ сумарната средна стойност за 1 m<sup>2</sup> отрезна площ възлиза на 39.67 EUR/m<sup>2</sup>, включваща разходи за пробиване, труд и използваното количество взривни материали. Средната производителност при тази технология е 0.6 m<sup>3</sup>/h.

По данни от т. 3.2.3. при използването на недетониращи смеси с отпадъчни бездимни барути сумарната средна стойност за 1 m<sup>2</sup> отрезна площ възлиза на 24.13 EUR/m<sup>2</sup>, включваща разходи за пробиване, труд и използваното количество взривни материали. Средната производителност при тази технология е 0.92 m<sup>3</sup>/h.

По данни от т. 3.2.3. при използването на недетониращи взривни патрони с форсиращ заряд сумарната средна стойност за 1 m<sup>2</sup> отрезна площ възлиза на 29.67 EUR/m<sup>2</sup>, включваща разходи за пробиване, труд и използваното количество взривни материали. Средната производителност при тази технология е 0.5 m<sup>3</sup>/h.

По данни от т. 3.3. при използването на диамантено-въжена резачка сумарната средна стойност за 1 m<sup>2</sup> отрезна площ възлиза на 280.92 EUR/m<sup>2</sup>, включваща разходи за пробиване, труд и разходи за доставка на електроенергия и вода. Средната производителност при тази технология е 1.5 m<sup>3</sup>/h.

С цел съпоставимост на резултатите между отделните технологии, поради разликите на добитите обеми ламели бяха разгледани потенциалните производствени разходи на обем продукция, базирани на произволни размери на добиваните блокове. За

целта бяха използвани получените технико-икономически показатели по време на експерименталната работа. Изчислените производствени разходи при различните видове технологии за добив са представени в Таблица 7.

*Таблица 7*

*Обобщени резултати от проведените експериментални изследвания*

Вид технология за добив	Експандиращи Смеси	Гъвкави заряди (ДШ)	Отпадъчни Барути	Недетониращи заряди	ДВР
Отрезна площ [m <sup>2</sup> ]	1.5	3.00	3.00	3.00	29.5
Обем добита ламела [m <sup>3</sup> ]	1.05	2.4	2.4	1.5	30
Цена на m <sup>2</sup> отрезна площ [EUR/ m <sup>2</sup> ]	36.20	39.67	24.13	29.67	280.92
Производствени разходи за 1 m <sup>3</sup> [EUR/ m <sup>3</sup> ]	<b>51.71</b>	<b>49.59</b>	<b>30.16</b>	<b>59.34</b>	<b>276.24</b>

Тези стойности са избрани за ориентир за направа на математически модел за изчисление на производителността и разходите при различните технологии за добив. Задачата разглежда добива разделен на три условни етапа: първично отделяне на ламелата от масива, вторичното ѝ разделяне на блокове и евентуално допълнително разделяне (дооформяне) на транспортните блокове. За всеки от тези три етапа се съпоставят пет различни технологии за добив чрез: детониращ шнур (ДШ); диамантено-въжана резачка (ДВР); експандиращи смеси (ЕС); изделия, съдържащи недетониращи взривни смеси (НДВС); смеси на база отпадъчни барути (ОВС). Моделът извежда цветни диаграми онагледяващи производителността в m<sup>3</sup>/смяна при различни обеми на ламелата и разходите в EUR/m<sup>3</sup> при различни обеми за всеки от споменатите етапи.

За основен входен параметър бе приета най-удачната височина на блока ( $h = 0.8$  m), който постъпва за преработка във фабриката, съобразен спрямо обхвата на режещите дискове и параметрите на многодисковите машини. Възможните размери на добиваните в кариерата ламели бяха избрани да бъдат кратни на размерите на транспортния блок. Аргументът за този избор е реализирането на минимални загуби при обработката на скалните блокове. Размерите бяха определени по следните формули:

$$H = K_1 \cdot S + 2 \quad [\text{m}], \quad (37)$$

където  $S$  е приетият размер на стъпката, с цел отчитане на променливата височина на стъпалата (прието е  $S = 0.1$  m);

$K_1$  е коефициент, с който се увеличава стъпката,  $K_1 \in [0; 20]$ ;

Приетото допустимо множество от стойности за разглежданите височини на стъпалата принадлежат в интервала  $H \in [2; 4]$  m

$$L = K_2 \cdot b \quad [\text{m}]; \quad (38)$$

$b$  е широчината на транспортния блок;  $[\text{m}]$ ;  $b \in [0.8; 1.5]$ ;

$K_2$  е коефициент, отчитащ кратността на широчината на транспортния блок,  $K_2 \in [1; 4]$ ;

Изследваният допустим интервал за стойностите на  $L \in [0.8; 6]$  m.

$$B = K_3 \cdot h \quad [\text{m}]; \quad (39)$$

$h$  е височината на транспортния блок;  $[\text{m}]$ ;

$K_3$  е коефициент отчитащ кратността на височината на блока,  $K_3 \in [1; 4]$ ;

Изследваният допустим интервал за стойностите на  $B \in [0.8; 6]$  m.

На база на получените резултати от експериментите е съставена оптимизационна задача, която цели да се открие рационално решение по отношение на размера на добиваната ламела и размера на транспортния блок. По аналогия с показателя ценност е възприет подобен на него икономически показател, представляващ потенциалната печалба от кубичен метър добити блокове. Приетият критерий за оптималност е получаването на максимална потенциална печалба за обем добити блокове. Важно е да се отбележи, че задължително условие след решаването на оптимизационната задача е полученото решение да бъде проверено дали адекватно отговаря на технологичните ограничения за кариерата. В това число влизат проверките за реализираните производителности на първичния добив и работите по вторично и допълнително разделяне на блоковете спрямо годишната производителност за кариерата, както и подходящата комбинация на различните технологии при добива на скални блокове. Моделът е формулиран като решение на следната целева функция:

$$Z = z - \left( \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 X_{ij} \cdot C_{ij} + C_{\text{пр}} \right) \quad (40)$$

Където  $Z$  – потенциална печалба на обем скални блокове;  $[\text{EUR}/\text{m}^3]$ ;

$z$  – продажна цена на обем скални блокове;  $[\text{EUR}/\text{m}^3]$ ;

$X_{ij}$  – булева променлива обозначаваща използването на дадена технология (j) през съответния стадий (i);  $X_{ij} = \{0;1\}$ ;

$c_{ij}$  – производствени разходи на дадена технология (j) през съответния стадий (i); [EUR/m<sup>3</sup>];

$c_{пр}$  – разходи за рязане на скалните блокове в преработвателния цех; [EUR/m<sup>3</sup>];

i – индекс, обозначаващ етапите на технологичните процеси при добива на скални блокове

при i = 1; отделяне на ламелата от масива и нейното събаряне;

при i = 2; вторично разделяне на ламелата;

при i = 3; допълнително разделяне на транспортните блокове;

j – индекс, обозначаващ използваните технологии;

при j = 1; използване на експандиращи смеси (ЕС);

при j = 2; използване на гъвкави заряди от детониращ шнур (ДШ);

при j = 3; използване на отпадъчни барути (ОВС);

при j = 4; използване на недетониращи смеси (НДВС);

при j = 5; използване на диамантено-въжена резачка (ДВР);

За решаването на задачата е използван програмният продукт MS Excel и по-точно неговата функционалност Solver. Полученото решение на задачата отговаря на следните параметри:

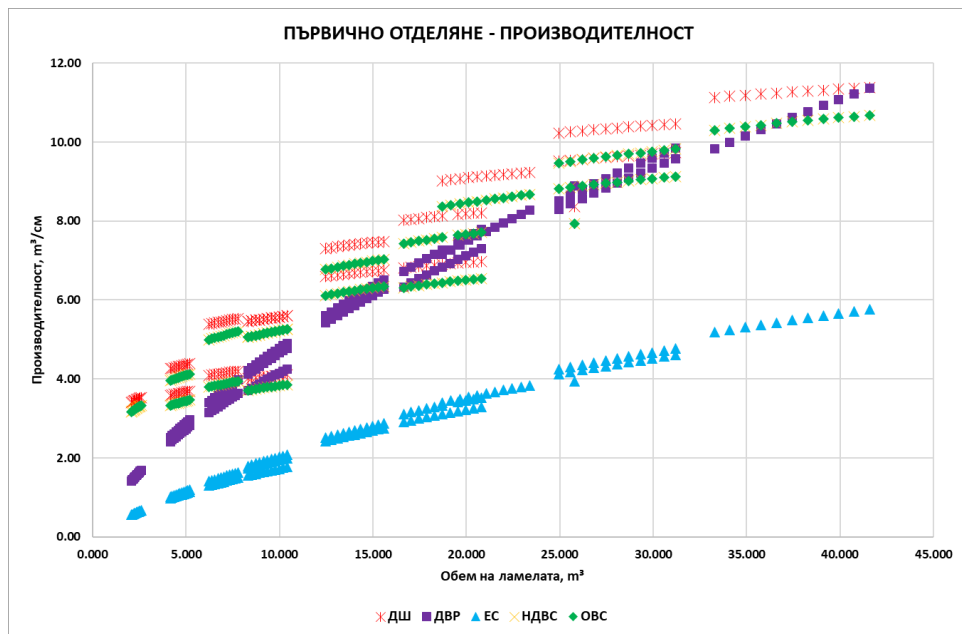
$$L = 1.3 \text{ m}; \quad B = 3.2 \text{ m}; \quad H = 3 \text{ m}; \quad l = 1.3 \text{ m}^*; \quad b = 1.5 \text{ m}^*; \quad h = 0.8 \text{ m}$$

\*при обработка на блоковете в преработвателния цех се реже напречно на късата страна.

Получените размери на добиваната ламела и преработваните скални блокове отговарят на потенциална печалба  $Z = 47.81 \text{ EUR/m}^3$ .

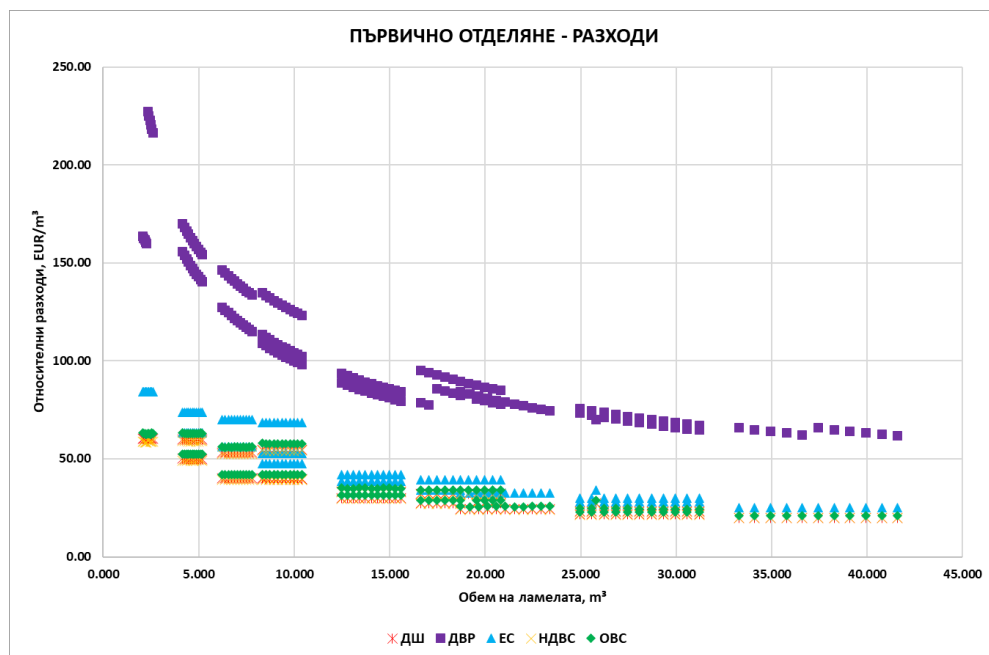
Решението е получено при използване на недетониращи взривни изделия за първично отделяне на ламелата и за вторичното ѝ разделяне, а за допълнително разделяне на транспортни блокове се прилага ДШ. Препоръчва се тази технология да бъде проверена на следващ етап за образуване на нежелани допълнителни пукнатини.

Представените диаграми във фиг. 3.28÷33 съответстват на ламели кратни на блокове с размери  $l = 1.3 \text{ m}$ ,  $b = 1.5 \text{ m}$  и  $h = 0.8 \text{ m}$ .



**Фиг. 3.26.** Диаграма на производителността при различните технологии за добив при първично отделяне на ламела от скалния масив

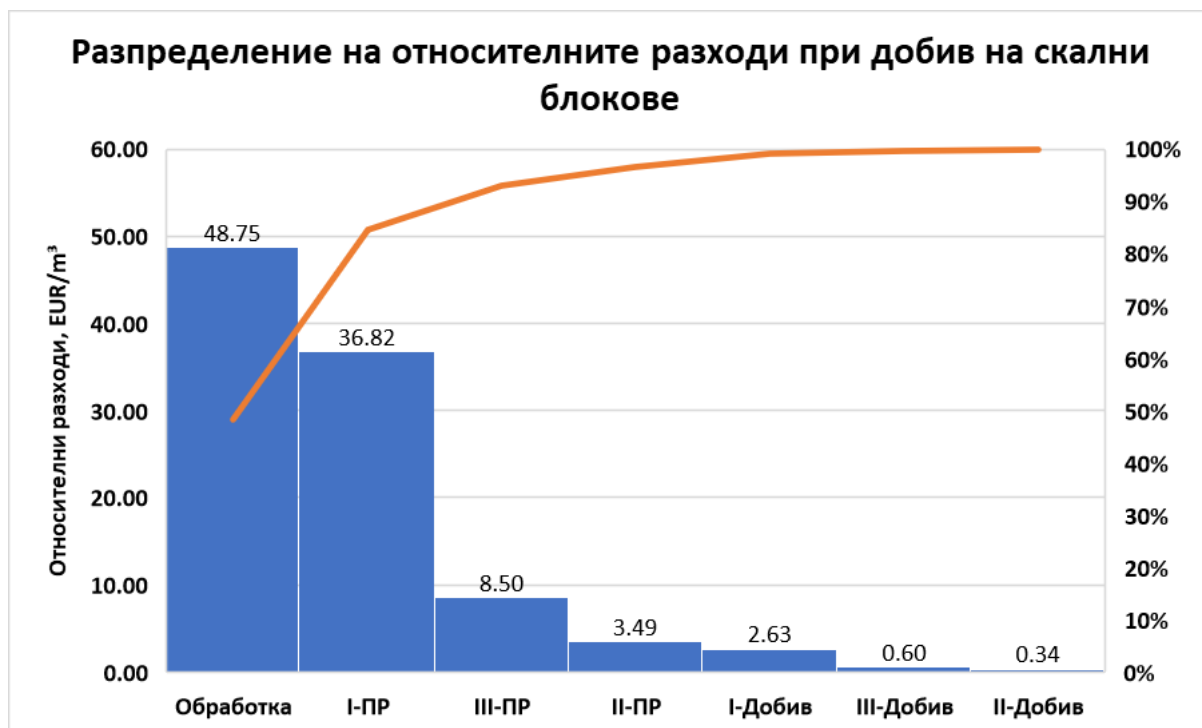
Изчислителният модел потвърждава, че при първичния добив чрез ДВР се получава най-бързо нарастваща прозиводителност (фиг. 3.26.), но и най-големи разходи (фиг. 3.27). Тази технология става рентабилна, когато се добиват ламели с по-голям обем.



**Фиг. 3.27.** Диаграма на разходите при различните технологии за добив при първично отделяне на ламела от скалния масив

Видно е, че промяната на височината на добивания блок оказва осезаемо влияние както върху производителността, така и върху разходите за неговия добив. С увеличаване на обема на ламелата изчислителния модел показва, че спада стойността на относителните разходи за неговото добиване (фиг. 3.27.), а производителността се увеличавя (фиг. 3.26). От друга страна добивът на блокове с по-големи рамери е ограничен от естествената нарушеност на масива, което прави по-рядка възможността да бъдат извлечени едрогабаритни блокове с правилна форма.

Изчислителният модел при въвеждане на комбинирани технологии за добив в реална експлоатация показва, че съществуват възможности за допълнително намаляване на разходите. За целта е използвана Парето-диаграма (фиг.3.32.), показваща относителния дял на различните видове производствени разходи в общата им стойност. Установи се, че 96.47 % от общите производствени разходи са съставени от относителни разходи за преработка на скалните блокове (48.21 %), разходи за пробивни работи по ламелата (36.41 %) и разходи за пробивни работи по вторично и допълнително разделяне на скалните блокове (11.85 %), които са представени в Таблица 8. Резервните опции за редуциране на разходите произтичат от възможността да се намалят пробивните работи в карьерния стадий, както и да се оптимизират процесите по обработка в цеха.

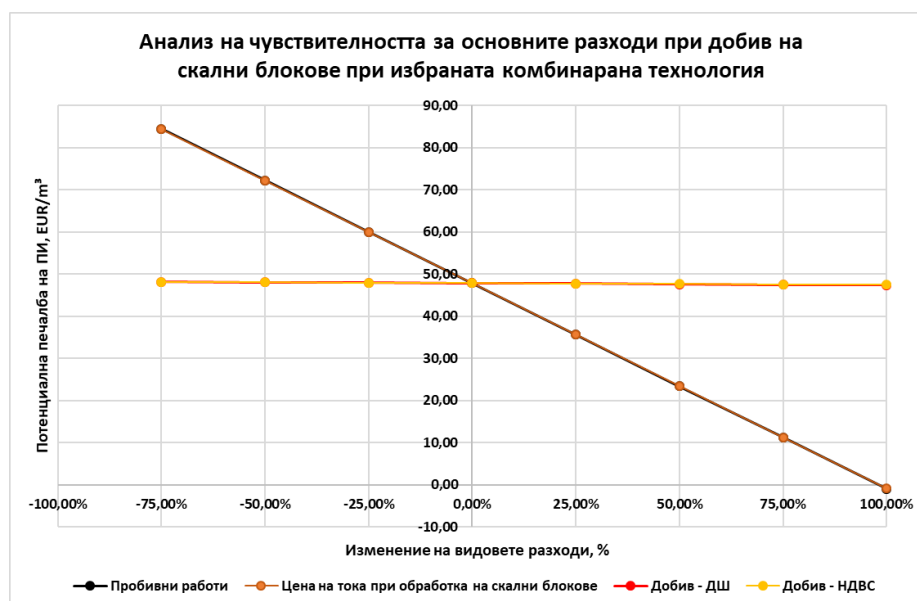


**Фиг. 3.32. Парето диаграма за разпределението на относителните разходи при добив на скални блокове**

## Разпределение на относителните разходи при добива на СОМ

Етап	Разходи	Обозначение	Стойност	Процент
Първично отделяне на ламелата от масива	Разходи пробивни работи (първичен добив), EUR/m <sup>3</sup>	I-ПР	36.82	36.41%
	Относителен разход за добив (първичен), EUR/m <sup>3</sup>	I-Добив	2.63	2.60%
Вторично разделяне на ламелата	Разходи пробивни работи (вторично разделяне), EUR/m <sup>3</sup>	II-ПР	3.49	3.45%
	Относителен разход за добив (вторично разделяне), EUR/m <sup>3</sup>	II-Добив	0.34	0.34%
Допълнително оформяне на транспортни блокове	Разходи пробивни работи (допълнително разделяне), EUR/m <sup>3</sup>	III-ПР	8.50	8.40%
	Относителен разход за добив (допълнително разделяне), EUR/m <sup>3</sup>	III-Добив	0.60	0.60%
Обработка в цех	Разходи по рязане на блок за ламела, EUR/m <sup>3</sup>	Обработка	48.75	48.21%
<b>ОБЩО</b>			101.11	100.00%

За да се изследва възможното изменение в потенциалната печалба на скалния материал (полезното изкопаемо) при промяна на стойността на някои от основните разходи и консумативи, участващи в производствения процес, бе направен така нареченият „анализ на чувствителността“ (фиг. 3.33). При избраната технология като най-критични параметри влияещи върху себестойността на крайния продукт бяха оценени обработката на скалните блокове и пробивните работи. При прогнозирането са представени, както по-вероятното увеличение на стойността на разходите, така и по-слабо вероятното им намаляване.



**Фиг. 3.33. Анализ на чувствителността за основните разходи при добива на скални блокове при избраната технология**

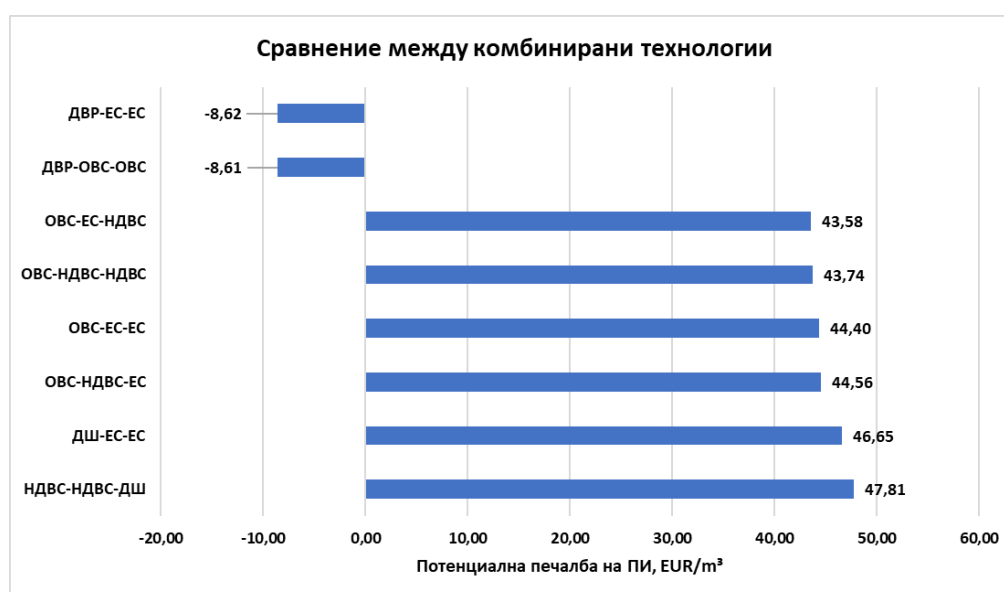
Таблица 9

*Резултати от изменението на основните разходи при добива на скални блокове при избраната комбинирана технология [EUR/m<sup>3</sup>]*

Промяна в потенциалната печалба на ПИ при промяна на основните разходи					
Изменение на разходите	Цена на пробивните работи	Цена на тока при обработка на скални блокове	Цена на ДШ	Цена на НДС	
-75.00%	84.40	84.37	48.14	48.06	
-50.00%	72.20	72.18	48.03	47.98	
-25.00%	60.00	59.99	47.92	47.89	
0.00%	47.81	47.81	47.81	47.81	
25.00%	35.61	35.62	47.69	47.72	
50.00%	23.41	23.43	47.58	47.64	
75.00%	11.21	11.24	47.47	47.55	
100.00%	-0.99	-0.94	47.36	47.46	

Както е видно от получената диаграма във фиг. 3.33. и отразените ѝ резултати в таблица 9 параметрите, които биха оказали критично влияние върху потенциалната печалба на полезното изкопаемо са пробивните работи и обработката на материала. В случая може да се приеме, че те имат равно значение. Промяната в стойността на добива с НДС и ДШ не би оказала значимо въздействие върху потенциалната печалба на полезното изкопаемо.

За оценка на рентабилността на комплексните технологии за добив, оптимизационният модел бе използван за съпоставителен анализ на потенциалната печалба (Z) при осем от възможните варианта на комбинирани технологии.



Фиг. 3.35. Съпоставка между различни варианти на комбинирани технологии



Тези комбинации са разгледани при идеални условия на добив без загуба на материал от евентуално образувани техногенни микропукнатини в добитите блокове. При възникване на случайни допълнителни напуквания в транспортните блокове потенциалната печалба би спаднала.

Направения съпоставителен анализ и резултатите от експерименталните изследвания не само показват ефективността и разходите при различните технологии на извличане на скални блокове, но и дават насоки за необходимост от изследване на структурната нарушеност на риолитните масиви.

### **3.5. Изводи и препоръки по Трета глава**

От извършените теоретични изследвания и тяхната експериментална проверка могат да се направят следните изводи:

1. Проведените изследвания за използване на отпадъчни едноосновни и двуосновни барути, получени след утилизацията на стари и ненужни боеприпаси, бяха приложени за изработка на недетониращи взривни патрони подходящи при добива на скални блокове. При полевите изпитания не бяха образувани допълнителни пукнатини, нито ударно-въздушна вълна и разлет на късове. Резултатите за подобряване на възпламеняващия импулс при недетониращи взривни изделия на базата на смеси с отпадъчни бездимни барути в комбинация с подхода за поставяне на инертна забивка между разсредоточените заряди във взривната дупка помогнаха за усъвършенстване на техниката за добив на скални блокове без видими нарушения. От друга страна евтините суровини (отпадъчен бездимен барут и амониев нитрат) дават потенциал за висока икономическа и екологична ефективност на разработените взривни изделия.
2. Въпреки получените задоволителни резултати от експериментите на гранитни кариери за прилагане на пробивно-взривна технология за добив с използване на различни носители на енергия (ДШ, отпадъчни барути и пиротехнически състави), специфичните условия на кариери „Казаните-1“ и „Казаните-2“ на този етап не позволяват провеждането на взривни дейности. Това насочва вниманието към прилагане на други подходящи технологии за добив на магмени скали.
3. След осъществения експеримент за изрязване на ламела от риолит, изпълнен с ДВР бе установено, че масивът в този участък от кариера „Казаните-1“ е благоприятен за тази технология от гледна точка на естествените нарушения.

4. Постигнатия резултат е недостатъчен за реална оценка на потенциала за първичен добив с ДВР в условията на разработвания обект. За въвеждане в реална експлоатация на диамантено-въжена технология са необходими по-детайлни проучвания на естествената нарушеност на масива, както и инструментални изследвания на другите участъци от концесионната площ. Необходимо е да се направят и по-голям брой експериментални изрязвания от масива с ДВР.
5. Прилагането на ДВТ на „Казаните-1“ е в пряка зависимост от пазарната реализация на скално-облицовъчната продукция от риолит. Подобряването на маркетинга на тази продукция, което би довело до увеличаване на обема продажби, е най-важната предпоставка за инвестиции за закупуване на ДВР, сондажно оборудване и доставка на електричество и вода. Капиталови вложения за прокарване на електропровод и водопровод са икономически оправдани само при гарантирана пазарна реализация на достатъчно високи обеми риолитни блокове.
6. По-високите разходи при добива чрез обемно-експандиращи смеси се компенсират от високата степен на ефективност по отношение на сравнително гладкото отцепване на скалните блокове. Основно предимство на експандиращите смеси пред методите с използване на енергията на взрива е облекчения нелицензионен режим за придобиване, транспортиране, съхранение и употреба. Друго предимство на тази методика е липсата на необходимост от скъпо струващо оборудване и сертифициран правоспособен персонал за нейното прилагане. При оптимизиране на етапите на работа, технологията става предпочитана за подобряване на добива в условията на кариери „Казаните-1“ и „Казаните-2“.
7. От гледна точка на липсата на електричество и течаща вода на обектите, обемно-експандиращите смеси в комбинация с наличната механизация се оказват най-удачния и приложим метод за скално отцепване и вторично оформяне на транспортни блокове. Сравнително високата цена на обемно-експандиращите агенти може да бъде компенсирана чрез прецизиране на дълбочините и отстоянията между отворите. По-ниска цена на експандера може да бъде постигната при внос на по-голямо количество след внедряването на тази технология като основен метод на добив.
8. Предвид специфичните условия на кариери „Казаните-1“ и „Казаните-2“ анализът на литературните източници препоръчва използването на технология за хидравлично отцепване на скални блокове, която на този етап не бе приложена за

настоящия дисертационен труд. Считам, че експерименталните изследвания с хидравлични отбивачи биха отворили нов фронт за ефективен добив на скални блокове, който да бъде предмет на следващи научно-приложни експерименти. Отчитам няколко фактора, които правят технологията на хидравличното отцепване подходяща за работа на кариери „Казаните-1“ и „Казаните-2“ – добрата цепителност на риолита, липсата на необходимост от течаща вода и електричество, липсата на странични въздействия (шум, вибрации, прах, разлет на скални отломки), достатъчната налична механизация на обекта в помощ на технологията (компресор, перфоратори). Хидравличното отцепване би могло да допълва и в определени моменти да замества отцепването с експандиращи химични смеси.

9. Близките резултати при полученото решение за разгледаните комбинирани технологии показват, че те са взаимно заменяеми. Основното им предимство е възможността от тяхното гъвкаво съчетаване. При различни условия на работа в случаи на поява на допълнителни нарушения в добиваните блокове при някоя от комбинираните технологии, може да се търси нейн подходящ заместител при минимално намаляване на потенциалната печалба на полезното изкопаемо.
10. Моделът заложен в разгледаната оптимизационна задача не е универсален и не гарантира оптималност на получаваното решение. В настоящия случай множеството от възможни решения е ограничено, но ако в бъдеще се включат и други техники за добив, които да бъдат комбинирани в технологии, ще се наложи да бъдат използвани и други алгоритми за търсене и намиране на рационално решение.

## **ЧЕТВЪРТА ГЛАВА. ИНСТРУМЕНТАЛНИ МЕТОДИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАПУКАНОСТТА НА МАСИВА И ОПРЕДЕЛЯНЕ НА БЛОКОВОСТТА**

В Четвърта глава са представени параметри за оценка на естествената блоковост в кариери за скално-облицовъчни материали. Разгледани са съвременни методи за определяне на нарушеността на масивите. Направен е сравнителен анализ на приложените инструментални методи, чрез които бе изследвана напукаността на работен откос в кариера „Казаните-1“ за добив на риолит. Разработен е математически модел за изследване на зависимостта между параметрите на системата на разработване и естествената прекъснатост на масива в кариера „Казаните-1“.

### **4.1. Коефициент на извличане на скални блокове (Рандеман) и коефициент на напуканост в кариерите за добив на скално-облицовъчни материали.**

При разработване на находища за скално-облицовъчни материали от съществено значение е да се определи естествената блоковост на масива. Това е необходимо за правилната технико-икономическа оценка при разработването на дадено находище или участък. Този коефициент на извличане на скалните блокове бива два вида – естествен рандеман и физически реализуем рандеман.

### **4.2. Оценка на естествената блоковост в кариерите за скално-облицовъчни материали.**

За оценка на блоковостта и напукаността на находищата скално-облицовъчни материали се използват различни модели – геометрични, математични, аналитични, графични, графоаналитични и други. С развитието на технологиите тази задача е значително облекчена в сравнение с миналото. Създават се възможности за количествена и качествена оценка на блоковостта. Те включват използването на различни подходи, свързани с определянето на:

#### **4.2.1. Линеен коефициент на напуканост**

#### **4.2.2. Площен коефициент на напуканост**

#### **4.2.3. Площен рандеман на блокове**

#### **4.2.4. Линеен рандеман по сондажи**

### **4.3. Съвременни методи за определяне на напукаността на масива.**

Точното събиране на данни е от съществено значение както за изследването на нови депозити така и за текущото поддържане на активни кариери. Следователно, анализът на прекъснатостта в масива трябва да включва локализацията, картиране и оценка на пукнатините, равнините на залягане, разломните зони и други. Събирането на данни се основава на различни методи, които са адаптирани към ситуацията на отделната кариера. От направения литературен обзор се открояват следните популярни методи:

#### **4.3.1. Съвременни софтуерни решения за моделиране на естествената напуканост на масива**

#### **4.3.2. Електросъпротивителна томография**

#### **4.3.3. Сеизмично профилиране**

#### **4.3.4. Гео-радар / Ground penetrating radar (GPR)**

### **4.4. Сравнителен анализ на методите за изследване на напукаността на масива в кариера за добив на риолит**

Изучаването на структурната нарушеност на масива се извършва чрез масово замерване на пукнатини посредством използване на геоложки компас и ролетка или с помощта на полу-автоматизирано замерване на ориентацията на пукнатините по дигитален модел. Започвайки от приетата начална точка по измервателната линия, с помощта на геоложки компас последователно се регистрират пукнатините, пресичащи измерителната линия. Показателите, характеризиращи пространственото положение на пукнатините, се установяват с компас, с който се измерват параметрите: ъгъл на западане (Dip), посока на западане (Dip Direction), посока на простиране (Strike). За целите на настоящото изследване са използвани показателите ъгъл на западане и посока на западане. При масовото измерване на пукнатините се цели да се установи броят на системите пукнатини, тяхната ориентация и оценка на състоянието им. При полу-автоматизираното измерване по дигитален модел се използва облак от точки, който позволява създаването на мрежа от множество малки повърхнини с дадена ориентация, съответстваща на тази на равнината на пукнатината.

В триизмерната блокова структура на масива степента на нарушаване на вместващите скали също е силно зависима от броя на системите пукнатини. При изследването

на структурната нарушеност на отделен откос в кариера за СОМ броят на видимите пукнатини се очаква да бъде значително по-малък. Поради тази причина се изхожда от постановката, че е необходимо картирането на всяка от тях с цел изследване на геометричните характеристики на структурния блок. В настоящия дисертационен труд е направено изследване, целящо да съпостави резултати, получени от физическо картиране на пукнатините и картирането им посредством два дигитални тримерни модела получени на базата на лазерно сканиране и на фотограметрично заснемане посредством мобилна камера. Следователно, основната цел на експеримента е да се изследва точността на оценката на ориентацията на проучваните пукнатини и да се определи перспективата на приложението на мобилен телефон в условията на добив на СОМ за създаването на база данни и увеличаване на рандемана на добиваните скални блокове.

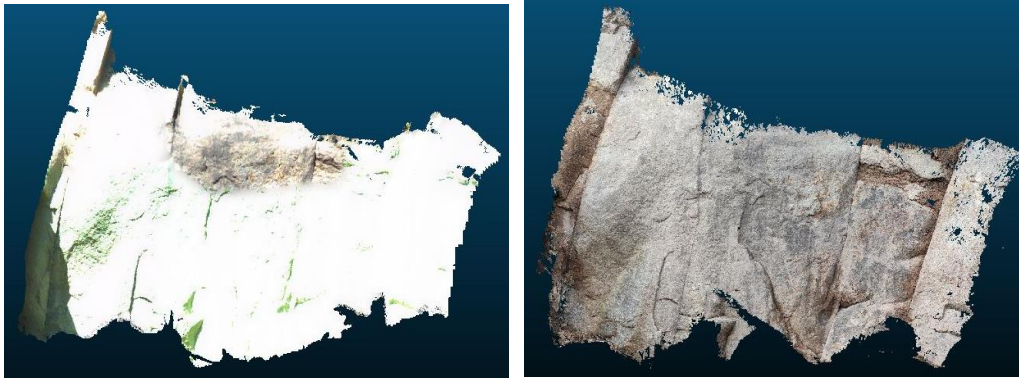
### Изследване и резултати

В рамките на изследвания откос на работното стъпало е идентифицирана една система като основните пукнатини, принадлежащи към нея, са номерирани както е показано на фигура 4.4.



**Фиг. 4.4. Изследван откос на работното стъпало на кариера „Казаните-1“**

На базата на лазерно и фотограметрично заснемане са получени два тримерни модела на изследваното стъпало. Чрез прилагането на двата метода са получени два облака от пространствени точки, носещи информация за позицията на дадена елементарна част от масива. Илюстрация на двата облака от точки може да се види на Фигура 4.5. Заснемането с лазер е извършено посредством апарат модел Stonex x300. Фотограметричното заснемане се базира на снимки, правени успоредно на откоса (на разстояние 4 m) с равномерно застъпване по цялата му дължина. Характеристиките на камерата на използвания смартфон са: Quad camera (64 MP, f/1.9, 26mm (wide), 1/1.72", 0.8 $\mu$ m, PDAF; 8 MP, f/2.2, 119° (ultrawide), 1/4.0", 1.12 $\mu$ m; 5 MP, f/2.4, (macro), AF; 2 MP, f/2.4, (depth). Фокусното разстояние за камерата е 5 mm. Хоризонталната разделителна способност на получените изображения е 72 dpi, а резолюцията им е 3472 x 4640 px.



**Фиг. 4.5. Облак от точки получен от лазерно сканиране (ляво) и цифрова фотограмметрия посредством снимки от мобилна камера (дясно)**

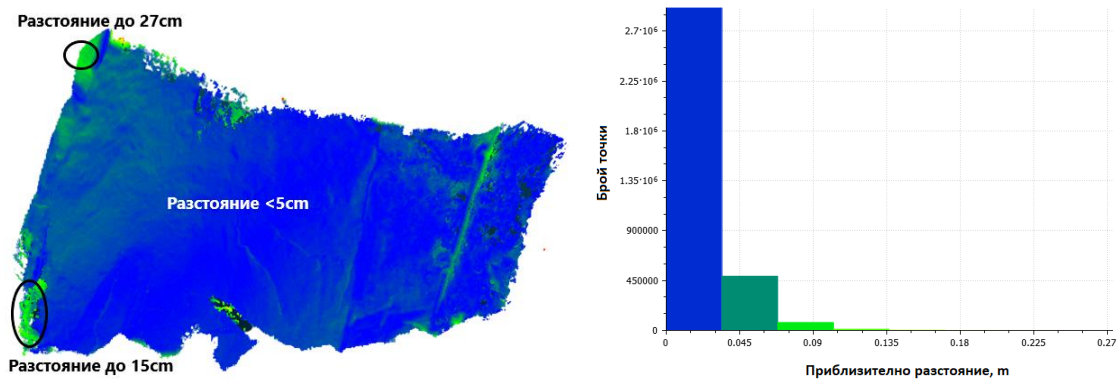
Фотограмметричният модел е създаден със софтуерният продукт Agisoft Metashape. Моделът, получен от лазерното заснемане, е използван за измерване на ориентацията на четирите водещи пукнатини на изследвания откос на работното стъпало. Получените резултати от съпоставката на двата метода за сканиране са представени на Таблица 12.

**Таблица 12**

***Съпоставка на резултатите от заснемането на структурните нарушения***

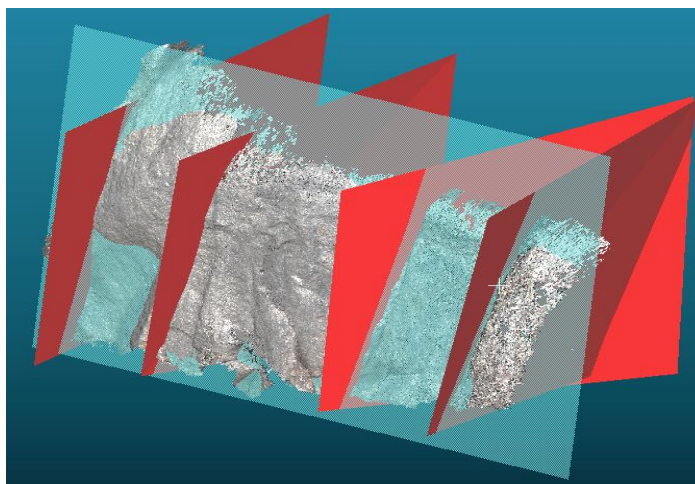
Пукнатина №	Геоложки компас		Лазерно сканиране		Цифрова фотограмметрия (смартфон)	
	Ъгъл на западане, °	Посока на западане, °	Ъгъл на западане, °	Посока на западане, °	Ъгъл на западане, °	Посока на западане, °
1	77	282	76	277	76	279
2	88	278	85	280	-	-
3	76	285	-	-	-	-
4	73	275	73	272	70	271

Наблюдават се незначителни разлики в порядъка до около 5° между резултатите, получени при картирането с геоложки компас и тези, получени от дигиталния модел на лазерното сканиране. Обработката на данните и представянето на резултатите са извършени с използване на програмния продукт CloudCompare. Получените резултати дават информация за наличието на известна разлика между двата модела, което наложи по-детайлното изучаване на разликата между двата облака от точки. За тази цел бе изследвано приблизителното разстояние между двата облака, като моделът, получен от лазерно сканиране като по-точен бе приет за еталонен, а облакът от точки, получен от цифровата фотограмметрия бе сравнен с него. На фигура 4.7. е представен резултатът от направената съпоставка. Установи се, че моделът получен от фотограмметричното заснемане се доближава до голяма степен до този, получен от лазерното сканиране, като разстоянието между двата облака от точки в значителна част на откоса е по-малко от 5 cm (предимно около 3,5 cm). Хистограма на разпределението на разстоянието между точките от двата облака е представена на фигура 4.7.



**Фиг. 4.7. Приблизително разстояние между двата облака от точки при приет еталонен модел лазерно сканиране (ляво). Хистограма на разпределението на приблизителното разстояние между двата облака от точки (дясно)**

Въпреки че, моделът не е достатъчно точен за заснемане на ориентацията на пукнатините, изхождайки единствено от създадения тримерен модел, на базата на получените резултати, той може да се използва като основа за последващо поставяне на равнините на изследваните пукнатини, регистрирани от ръчното замерване, както е показано на фигура 4.8.



**Фиг. 4.8. Модел, получен от заснемане със смартфон и равнините на пукнатините получени от заснемане с геоложки компас**

Полученият модел може да послужи за изследване на обема и геометричните характеристики на структурния блок в масива, както и за извършването на краткосрочни до средносрочни прогнози на рандемана на скални блокове при разглеждането на различни сценарии за посоката на водене на минните работи. От направеното изследване може да се твърди, че методът на фотограметрично заснемане посредством мобилна камера е приложим в условията на кариера „Казаните-1“.



#### **4.5. Изследване на зависимостта между параметрите на системата на разработване и естествената прекъснатост на масива в кариера „Казаните-1“**

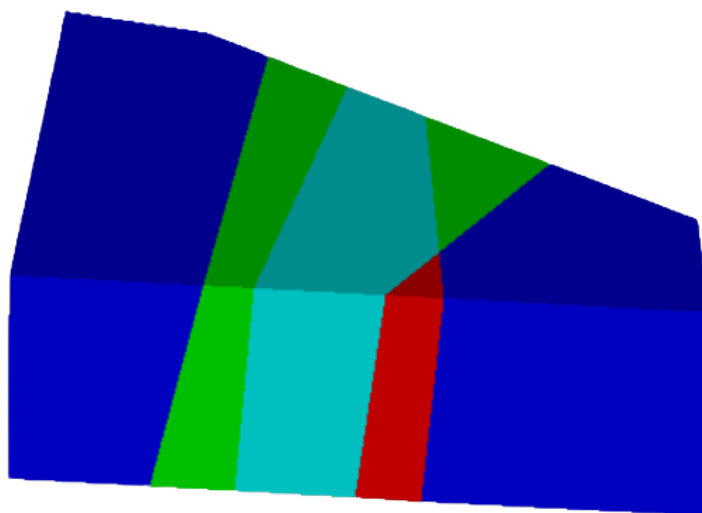
Въз основа на получените резултати от изследване на прекъснатостта на скалния масив за риолитна кариера “Казаните-1” е създаден блоков модел, който отразява ориентацията на равнините на пукнатините и категоризира блоковете на две групи – пресечени и непресечени. Концепцията е заимствана от геоложкото моделиране на рудни запаси. Блоковият модел служи като основа за изследване на оптимална посока на добивните работи, която осигурява максимална стойност на рандемана. За целта подходът на блоковия модел се основава на предварително дефиниран модел на рязане.

В това проучване се приема, че проблемът с оптимизацията е решен чрез максимизиране на рандемана при предварително определен модел на добиваните блокове: 1.5 m дължина, 1.3 m ширина и 0.8 m височина. Проблемът е опростен за изчисляване на добива само за първокачествени транспортни блокове, които запазват предварително зададената форма на скалния блок.

Блоковият модел е опростено представяне на пространственото разположение на определени видове запаси и видове отпадъци. Това е компютърно подпомаган подход, при който определени неправилни обемни форми могат да бъдат представени и апроксимирани чрез компютърно генерирани блокове с правилни форми. Целта на блоковете е да представят малък обем от скалната маса под повърхността, който също така съхранява данни за определени интересни характеристики, които се използват от геолози или минни инженери. Този подход се използва широко и за окачествяване на металното съдържание и характеристиките на различни руди. Блоковете на такъв модел могат да се интерпретират като клетки в 3D координатна система (XYZ). За настоящето изследване се използва подходът на „гъвкавото подразделяне“, тъй като всяко измерение на скалния блок, произтичащо от предполагаемия модел на рязане (1.5 x 1.3 x 0,8 m), се разделя на блокчета с минимални размери 10 x 10 x 10 cm. От гледна точка на прилагането на подхода за блоково моделиране в този случай, трябва да се приеме една допълнителна променлива за блоковия модел – Булева стойност, показваща дали обемът на определен блок е равен на номиналния обем на блока. Това е друг начин за въвеждане на равнина на напукване в задачата. Извършва се проверка дали блокът е пресечен от някоя пукнатина. Моделът се изгражда чрез запълване на редица твърди тела, които представляват структурните блокове.

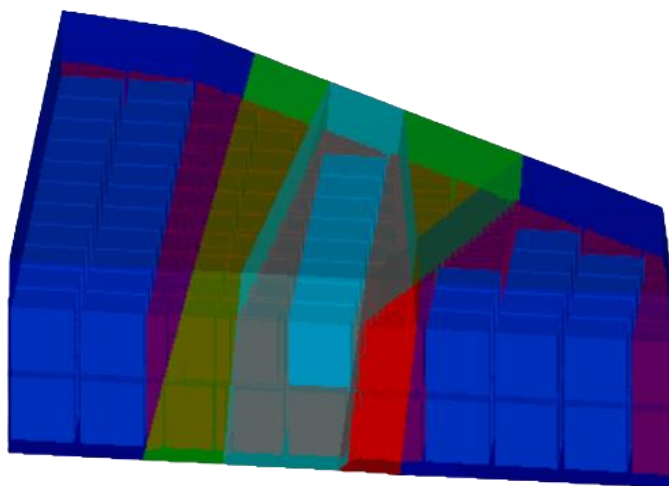
## Резултати

Въз основа на проведено изследване, описано в т. 4.4, за създаването на точен 3D модел на част от запасите на територията на кариера “Казаните-1” е използван цифров модел на откоса с картираните равнини на пукнатините (фиг. 4.8). Подходът на блоковия модел е подходящ за използване в случаите на кариерна дейност поради добрата представителност, която има по отношение на правилната форма на скални блокове с желания размер. Освен това, този подход е допълнително разширен до трансформиране на геоложкия блоков модел в икономически модел, когато се прилагат определени стойности по отношение на приходите, които всеки добиван блок притежава в различни сценарии, касаещи използваната технология за добив. Блоковият модел е създаден като предварително изследване на ефективността на прилаганата технология за наличните запаси на Участък 1 на кариерата, където те не са покрити с откривка. За това проучване неправилната форма на забоя е опростена, за да съответства на гладка повърхност, базирана на петата и горния ръб на стъпалото. Това се прави с цел да се избегне поставянето на блок с неправилен размер в блоковия модел, съответстващ на повърхността на наклона. Установено е, че ъгълът на откоса е  $74^\circ$ , което се поддържа като входен опростен цифров модел на запасите, както е показано на фигура 4.9.



**Фиг. 4.9. Прекъсвания на изследваната площ от скалния масив**

С различни цветове са показани структурните блокове в масива, образувани от равнините на естествените нарушения.



**Фиг. 4.10. 3D модел на потенциално извлекаемите блокове с правилна форма за текущото заснемане на забоя**

При текущото заснемане на пукнатините се получава показания на фиг. 4.10 модел с оптимално за определената в т. 3.4 потенциална печалба на материала разпределение на ненарушените блокове. Със син цвят са обозначени транспортните блокове, а с червен – блоковете, пресечени от изследваните пукнатини в масива, които са с по-малък обем. Поради това същите са от по-нисък клас. Препоръчва се след всяко изземане на ламела от масива да се прави актуализация с ново заснемане на забоя, тъй като методът е достатъчно евтин и високопроизводителен.

От практическа гледна точка само с едно кариерно проучване на дадения забой трудно може да се придобие яснота за структурното състояние на находището. Установено е наличието на определени микропукнатини в масива. Следователно могат да се очакват известни отклонения от предложения блоков модел. Въпреки това, се приема, че използвайки този подход систематично след извличането на скален блок и актуализирайки базата данни и блоквия модел с новоустановените прекъсвания, оценката на добива може да бъде допълнително прецизирана.

В заключение, предложеният метод използва продуктивни инструменти, прилагани при създаването на блоков модел на запасите със сложна морфология. Този подход се оказва също толкова ефективен, колкото и установените преди това модели за целите на оценката на оптимална посока на извличане или за увеличаване на добива на плочи или фаши. Не на последно място, подходът на блоквия модел осигурява намаляване на отпадъците, генерирани от кариерата, както и увеличаване на рандемана.

#### 4.6. Изводи и препоръки по Четвърта глава

1. За определяне на естествената нарушеност на масива при разработване на кариери за скално-облицовъчни материали бяха проведени успешни изследвания чрез цифрова фотограметрия и лазерно сканиране. Въпреки, че съпоставените резултати от заснемането с мобилна камера и с лазерното сканиране показват, че вторият метод е по-точен и универсален, използването на камерата на смартфон се оказва евтина алтернатива за получаване на приближен модел на скалния откос, което прави този метод приложим при изследване на структурната нарушеност на масива в кариерите за скално-облицовъчни материали.
2. Определянето на естествената блоковост на масива е необходимо за правилната технико-икономическа оценка при разработването на дадена кариера или участък, както и за постигане на по-висок рандеман. За тази цел бе разработен опростен блоков модел за изчисляване на добива само на първокачествени транспортни блокове по предварително определените им параметри от решената оптимизационна задача в точка 3.4. Този модел има възможността да бъде доразвит за получаване на количествено определяне на потенциални блокове с неоптимални размери.
3. Препоръчва се в бъдещ план да се направят допълнителни проучвания за подобрена оценка на рандемана от обема на блокове с неправилна форма, както и усъвършенстване на оптимизационната задача съобразно спецификата на конкретния забой.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Добивът на скално-облицовъчни материали е силно специфичен и се различава от добива на рудните полезни изкопаеми, строителните материали и индустриалните минерали. При този начин на извършване на открити минни работи, трябва да се запази цялостта (монолитността) както на скалните блокове така и на разработвания масив. Блоковете следва да се отделят от масива с подходяща технология за добив, която има минимално негативно влияние, като се следи за образуването на пукнатини и други нарушения в него. Технологичните нарушения върху масива оказват пряко влияние върху себестойността и качеството на добиваните блокове.

Използването и разработването на съвременни методи за добив на скално-облицовъчни материали се отразява пряко върху тяхното производство. Тенденциите за нарастване на потреблението на скално-облицовъчни материали налагат непрекъснато увеличаване на годишните добиви. За тази цел е необходимо усъвършенстване на технологиите и минната механизация прилагани в кариерите.

Един от факторите влияещи силно върху икономическата картина на кариерата е състоянието на масива. В настоящия дисертационен труд са предложени ефективни методи за изследване на естествената нарушеност на масива и определяне на блоковостта му. Изследването на естествената нарушеност на скалния масив има възлово практическо значение при избирането на подходяща технология за добив, посоката на водене на добивните дейности както и за ориентацията при извличането на *in situ* блоковете.

Изборът на ефективна технология за открит добив на скално-облицовъчни материали от магмен произход следва да бъде направен още от етапа на планиране и проектиране, тъй като впоследствие, по време на експлоатацията на кариерата, евентуалната промяна на технологията ще бъде икономически неоправдана.

Получените резултати дават основание да се посочи категорично, че при използването на избраната рационална технология на добив с обемно-експандиращи смеси в комбинация с наличната механизация на обектите, ще бъде гарантирана безопасна, екологична и икономическоцелесъобразна работа при извличането на блокове от риолит в условията на кариери „Казаните 1“ и „Казаните 2“.

Организацията на процесите и планирането на минните работи в по-дългосрочен план би довело до значителен технико-икономически ефект, изразяващ се в повишаване на ефективността на добива, производителността на избраната технология и ценността на продукцията.

## ОСНОВНИ ИЗВОДИ

От извършената научно-изследователска работа по избор на ефективни технологии за открит добив на скално-облицовъчни материали от магмени скали могат да се направят следните основни изводи и препоръки:

1. Анализът на информацията в литературните източници относно приложимите технологии за добив на магмени скали в световен мащаб съпоставена със специфичните условия на риолитните находища в България доведе до необходимостта от избор на подходяща технология за добив с цел нарастване на производителността на кариерата, повишаване на потенциалната печалба на полезното изкопаемо, както и понижаване на загубите на ценен скален материал. Това насочи към провеждането на конкретните експерименти с обемно-експандиращи смеси, пробивно-взривни работи с различни енергоносители (детониращ шнур, недетониращи смеси и др.) и диамантено-въжена технология.
2. Извършените изследвания в Трета Глава и Четвърта Глава могат да бъдат използвани за анализиране на зависимости между естествената нарушеност на масива и ефективността на различните методи за добив. На тази база бе съставена и решена оптимизационна задача за намирането на подходяща технология за добив, както и подходящи параметри на ламелата и транспортните блокове.
3. Въпреки че, резултатите от проведените експерименти с различни технологии за добив, описани в Трета Глава, както и решенията от оптимизационната задача, отразени в т. 3.4 показват най-висока ефективност за пробивно-взривните методи, специфичните условия на кариери „Казаните-1“ и „Казаните-2“ на този етап не позволяват употребата на взривни материали.
4. Направените експериментални изследвания позволиха определянето на оптималното количество експандираща смес, с която да бъдат постигнати задоволителни резултати за гладко отцепване на скални блокове без изкривяване на планираната равнина на процепване. Установено е оптималното отстояние от 0.4 m между запълнените отвори.
5. Предвид изчислената отрицателна стойност на потенциалната печалба при прилагането на комбинирани технологии за добив, включващи диамантено-въжена резачка ( $Z = -8.62 \text{ EUR/m}^3$ ), както и необходимостта от инвестиции за закупуване на оборудване и доставка на електроенергия и вода, прилагането на

диамантено-въжена технология на „Казаните-1“ може да се осъществи единствено при наличие на сериозно търсене на скално-облицовъчни материали от риолит. На този етап тази технология се оказва нерентабилна за съществуващите условия на кариери „Казаните-1“ и „Казаните-2“.

6. Високата цена на диамантено-въжената технология, както и гореописаните икономически условия са предпоставка за бъдещи експерименти за добив и чрез дискова резачка, монтирана към багер.
7. Добрата цепителност на риолита от „Казаните-1“ в комбинация с описаните по-горе икономически аспекти са фактори, които предопределят бъдещи експерименти за добив и оформяне на транспортни блокове посредством хидравлични отбивачи.
8. Комплексният анализ показва, че комбинацията от първичен добив на скални ламели чрез диамантено-въжена технология и вторично разделяне посредством експандиращи смеси е свързана с най-големи разходи (276,24 EUR/m<sup>3</sup>), но дава най-малко загуби на ценен материал и най-висок рандеман.
9. Резултатите от разгледаните комбинации на технологиите за добив и дооформянето на транспортни блокове, както и близките стойности на потенциалната печалба на ПИ ( $Z = 43,58 \div 47,81$  EUR/m<sup>3</sup>) показват, че основното им предимство е именно възможността от гъвкавото им съчетаване, както и тяхната взаимозаменяемост при изменение на условията на работа в работния фронт. В допълнение към комбинираните технологии за добив, използването на фотограметрично заснемане на забоя и актуализирането на блоковия модел позволява ефективното експлоатиране на находището. На тази база своевременно може да се реагира при изменение на естествената и техногенна нарушеност на добиваните блокове при минимални промени в потенциалната печалба на полезното изкопаемо.
10. Препоръчва се на база на направените изводи от съпоставителния анализ и решенията на оптимизационната задача да се направят необходимите допълнителни проучвания за оценяване на възможността за въвеждане на нова щадяща технология за добив в кариери и „Казаните-1“ и „Казаните-2“, базирана на използването на недетониращи взривни материали.

## НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Създадени са високоенергетични взривни смеси на базата на отпадъчни барути за изработка на недетониращи газогенериращи устройства, чиито свойства бяха изследвани в лабораторни условия. Установени са скорости на взривно горене в диапазона от 334 m/s до 537 m/s.
2. Направените изследвания за използване на отпадъчни едноосновни и двуосновни барути, получени след утилизацията на стари и ненужни боеприпаси, бяха приложени за изработка на недетониращи взривни патрони подходящи при добива на скални блокове, както и за взривни дейности при неблагоприятни и сложни условия.
3. При разработването на методики за отцепване на скални блокове с помощта на нискоскоростни взривни смеси бе предложена конструкция на взривно изделие с водоустойчив корпус, който предпазва високоенергетичния състав от механични и термични външни въздействия и подобрява прогресивното горене на смесите. Предложеното изделие е с ниска себестойност (1,70 EUR/брой) по отношение на корпус и химични ingredienti, което е предпоставка за добра пазарна реализация. В конструктивно отношение то притежава сериозен потенциал за промишлено производство.
4. Посредством разработената технология за оползотворяване на енергията на отпадъчни бездимни барути се реализира икономия на средства за обезвреждане и унищожаване на бездимни барути, които дълги години са възприемани като отпадъчен материал при разснарядяването на стари и ненужни боеприпаси и бяха унищожавани чрез скъпоструващи технологии при специални условия с риск за замърсяване на околната среда.
5. На базата на известните данни и проведените научни експерименти с обемно-експандиращи смеси са предложени оптимизационни решения за дълбочината (0.6 ÷ 1.2 m) и отстоянието на перфорациите (0.4 m).
6. Направени са изследвания на естествената нарушеност на масивите в риолитна кариера в България и е изучена ефективността на добива на скално-облицовъчни материали с магмен произход при различните технологии.
7. Създаден е икономически модел за изчисляване на разходите при добива чрез прилагане на различни технологии, както и за определяне на подходящите параметри на ламелите. Този модел позволява ефективно анализиране и сравняване на всички възможни комбинации на технологии за добив, за да се избере оптималното съотношение между производителността, разходите и размерите на блоковете.



## ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Stoycheva, N., Shishkov, P. (2020). *Non-detonating charges in polymer housings for smooth splitting of rock blocks during primary extraction and secondary cutting*, Sustainable extraction and processing of raw materials, Vol.1 / Oct. 2020, pp. 85 – 89, ISSN 2738-7100, ISSN 2738-7151.
2. Стойчева Н., (2021), *Риолит – брациговският конструктивен и декоративен материал*, Камара на архитектите в България, РК София област, 17.08.2021, <https://kab-so.com/archives/15013>; „Брациговските майстори - строители“, трето издание с допълнение, РИК „Зеница – НДА“, Брацигово, 2021, ISBN 978-954-8448-13-0.
3. Стойчева Н., Копрев И., Георгиев Д., (2021). *Съвременни технологии за добив на риолит в България*. Сборник доклади от „XVI Международна конференция по открит и подводен добив на полезни изкопаеми“, 6 – 10. 09. 2021г., КК „Св. Св. Константин и Елена“, А-2, стр. 14-20, издание на НТС по минно дело, геология и металургия, ISSN 2535-0854 (in Bulgarian with English abstract).
4. Александрова Е., Д. Кайков, Д. Терзийски, Н. Стойчева, (2022), *Сравнителен анализ на методите за изследване на напукаността на масива в кариера за добив на риолит*, С-2, Proceedings of the X International Geomechanics Conference 19 – 23 September 2022, Varna, Bulgaria.

## SUMMARY

**Title of the PhD-thesis:** Selection of effective technologies for open pit extraction of rock cladding materials from mafic rocks (at example of quarries “Kazanite-1” and “Kazanite-2”)

**Author:** MSc. min. eng. Nadezhda Krasimirova Stoycheva

The present PhD-thesis is focused on the studies of the efficiency of different types of mining of dimension stone blocks from igneous rocks. The paper consists of an introduction, four chapters, conclusions, contributions and a bibliography.

In the **First chapter**, a literature review of the origin, distribution and extraction of igneous rocks on a global scale (in particular rhyolite) is made. The main types of igneous rocks that are used in the dimension stone industry are presented. It is focused on the distribution and application of rhyolite on the territory of the Republic of Bulgaria. All rhyolite deposits and the mining technologies applied in them are presented, as well as a classification of the most effective parameters used in the selection of block excavation technologies in quarries for rock-cladding materials.

In the **Second chapter**, the most widely applied technologies for the extraction of igneous rocks are presented in details, separated into two groups - non-explosive and explosive. The analysis of the literature shows that the splitting of blocks from the massif is the most time-consuming process in the development of natural stone deposits. In the price of the blocks, the share of costs for operations to extract the lamella from the massif can reach 80%. Regarding this, the greatest attention should be paid exactly to this particular stage of the extraction of dimension stone blocks.

In the **Third chapter**, a series of experimental studies for optimization the mining of natural stone blocks are presented. They were selected based on the studies made of publications presenting the foreign experience of mining igneous rocks, as well as the above-described conclusions and criteria for selecting technology. A technical and economic analysis of the used mining technologies was made.

In the **Fourth chapter** are presented parameters for assessment of the natural blockiness in quarries for dimension stones. Modern methods for determining the discontinuities of the rock mass are considered. A comparative analysis of the applied instrumental methods was made, by which the joint planes of the working bench in quarry "Kazanite-1" for rhyolite mining was investigated. A mathematical model was developed to study the dependence between the mining parameters, quarrying direction and the natural discontinuity of the massif in the "Kazanite-1" quarry.

## ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

### А-Я

1. Александрова Е., Д. Кайков, Д. Терзийски, Н. Стойчева, 2022, Сравнителен анализ на методите за изследване на напукаността на масива в кариера за добив на риолит, С-2, Proceedings of the X International Geomechanics Conference 19 – 23 September 2022, Varna, Bulgaria
2. Александрова Е., И. Копрев, С. Асеновски, Д. Георгиев, 2018, Анализ на технико-икономическите показатели на работа на диамантено-въжени резачки при добива на естествени скални блокове, списание „Минно дело и геология“ бр.12/2018, стр.26-30 ISSN0861-5713
3. Атанасов, А., 2003 Анализ на основните технологични параметри при добиването на мраморни блокове с “диамантени” въжени каменорезни машини.
4. Атанасов А.,1979, Технология за открит добив на мрамор, ДИ „Техника“, София
5. Балев В., 2012, *Изучаване на съвременни технологии и механизация за добив на скално-облицовъчни материали, прилагани на територията на ФР Германия;*
6. Балев, В., Д. Кайков, Л. Димитров, „Изследване на структурните нарушения на скални откоси в близост до отделни участъци в републиканската пътна мрежа“
7. Башинский, С.И. (2013). Исследования процесса резания природного облицовочного камня алмазным канатом, Технологический аудит и резервы производства — № 4/2(12), 2013, ISSN 2226-3780, УДК 622.236.22, ЖДТУ, Житомир, Украина.
8. Березуев, Ю. А., Е. Головин, М. Кундышев, *Интенсификация добычи блочного камня с применением ГДШ*, НПК „Контех“, Россия, УДК 622.235.63:62.35:622.251.23
9. БДС EN 1467:2012 Естествени скални материали. Необработени блокове. Изисквания
10. БДС EN 1468:2012 Естествени скални материали. Необработени плочи. Изисквания
11. Борисов, Б., Петков, Н., & Ангелов, С. *Съпротивителни сили и моменти при рязане на скални материали с диамантено въже*. Годишник на Минно-геоложкия университет “Св. Иван Рилски”, Том 51, Св. III, Механизация, електрификация и автоматизация на мините, 2008
12. Вацев М., 2003, *Относно палеогенските дацитриодацитови вулканити от западните и централните родопи и геодинамичните условия на тяхното формиране*, Годишник, том 46, свитък I, Геология и геофизика, София, 2003, стр. 31-37].
13. Згуровски, А., Савчев, Л. (1979). *Строителни материали*.
14. Калинин, М. А. (2005). *Обоснование параметров технологии добычи и распиловки блоков прочных пород*, Москва.
15. Кинов, А. (1992). *Технология и машини за добив на декоративно-облицовъчни скални материали*, Минно-геоложки университет, София.
16. Копрев, И., *Изследване и оценка на технологиите за добив на скални блокове с верижни и въжени каменорезни машини*, Дис., София, 2009
17. Копрев, И., 2009. *Комбинирана технология на добив на скални блокове – верижна каменорезна машина с „диамантена” въжесна резачка*, Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски” – София, бр. 52, част 2-ра, Раздел – Добив и преработка на минерални суровини, стр. 31-34.
18. Копрев, И., 2012. *Открит добив на скални блокове*, монография, издателство Авангард Прима, ISBN 978 – 954 – 323 – 951 – 1.

19. Копрев, И., 2012. *Ръководство за упражнения по технология за добив на скално-облицовъчни материали*, София.
20. Копрев, И., 2016. *Технология на добива на скално-облицовъчни материали*, издателство Авангард Прима, ISBN 978-619-160-597-2.
21. Копрев И., А. Атанасов. *Технически средства за отделяне на добиваните блокове от скалния масив*, Годишник на минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“, Том 49, Св. II, Геология и геофизика, 2006, с. 21-23.
22. Копрев, Ив., Е.Александрова. 2008, *Съвремен софтуер за избор на оптимални параметри на система на разработване в кариера „Царевец“*. Сп.Геология и минерални ресурси, бр.1-2, 2008.
23. Кънчев, И. 1995. *Обяснителна записка към Геоложката карта на България М 1:100 000, к.л. Сливен. С.*
24. Митков В., *Технология на промишлените експлозиви*, 2011, София, ИК „Св. Иван Рилски“ ISBN 978-954-353-163-9
25. Митков В., 2020, *Техника и технологии на взривните работи*, София, ИК „Св. Иван Рилски“ ISBN 978-954-353-430-2
26. Моторный, Н. И. (2017). *Техногенная нарушенность камня при его добыче и обработке*. Строительные материалы, (9).
27. Мърхов, Н. (2003). *Обработка на декоративни скални материали*, София.
28. Нефедов М., *Направленное разрушение горных пород взрывом*, 1991, Изд. С. Петербургского университета, 188с.
29. Осколков, В.А. (1984). *Облицовочные камни месторождений СССР*, Москва.
30. Паздеров, Р., Петров, М., Рабаджиев, Г. *Риолитите от България като строително-конструктивен, декоративно-облицовъчен и монументален материал*, Годишник на минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“, Том 52, Св. I, Геология и геофизика, 2009, с. 85-92.
31. Петров Б., 1994, *Естествени декоративнооблицовъчни скали в България*, АХП при ТФ на СБХ, София.
32. Пшеничная, Е. Г. (2004). *Обоснование рациональных параметров технологии добычи гранитных блоков с применением невзрывчатых разрушающих средств (Doctoral dissertation, [Магнитог. гос. техн. ун-т им. ГИ Носова])*.
33. Ракишев, Б. Р., & Дауренбекова, А. Н. (2011). *Добыча блоков декоративного камня на карьерах Казахстана*. Строительные материалы, (11).
34. Салихов, Д.Н., Ковалев, С.Г., Шарафутдинова, Л.А. (2012). *ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН (декоративно-подделочные камни)*, Дизайн Полиграф Сервис, 2012, Уфа, 247 с., УДК 553.5 (470.57).
35. Стойчева Н., (2021), *Риолит – брациговският конструктивен и декоративен материал*, Камара на архитектите в България, РК София област, 17.08.2021, <https://kab-so.com/archives/15013> ; „Брациговските майстори - строители“, трето издание с допълнение, РИК „Зеница – НДА“, Брацигово, 2021, ISBN 978-954-8448-13-0.
36. Стойчева Н., Копрев И., Георгиев Д., (2021). *Съвременни технологии за добив на риолит в България*. Сборник доклади от „XVI Международна конференция по открит и подводен добив на

- полезни ископаеми”, 6 – 10. 09. 2021г., КК „Св. Св. Константин и Елена”, А-2, стр. 14-20, издание на НТС по минно дело, геология и металургия, ISSN 2535-0854 (in Bulgarian with English abstract).
37. Стойчева Н., П. Шишков, (2022). *Подземен добив на скално-облицовъчни материали*. Сборник доклади от XIII Национална научно-техническа конференция с международно участие “Технологии и практики при подземни добив и минно строителство” 04 – 07 октомври 2022 г. СПА комплекс Орфей, гр. Девин, стр. 5-13”, издание на НТС по минно дело, геология и металургия, ISSN 1314-7056. (in Bulgarian with English abstract).
38. Стоянов Д., 1994 „Ръководство за упражнения по пробивно-взривни работи в откритите рудници, кариери и строителството”, МГУ, София
39. *СТРОИТЕЛЬНЫЙ КАМЕНЬ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ: ОТ ГЕОЛОГИИ ДО АРХИТЕКТУРЫ*, Тезиси докладов международной научно-практической конференции, Выборг, 28–29 мая 2015 г., УДК 553.5:72.023(1–924.14/.16)(063), ISBN 978-5-9274-0670-8.
40. Султыгов А., В. Ишиеский, В. Ковалевский, 2020, *Улучшение производительности карьера блочного камня за счет использования новой конструкции шпурового заряда*, *Международной научно-исследовательский журнал №9 (99) Часть I*
41. Шишков П., Справочник на взривника, Монография, София, 2019, 244стр. ISBN 978-954-353-387-7
42. Шишков, П., Стойчева Н. (2019). *Изследване на двусосновен бездимен барут като алтернативен заместител на каменарския барут при добива на скално-облицовъчни материали*. Списание „Минно дело и геология”, 2019г., бр. 2, стр. 23-29, ISSN 0861-5713.
43. Шишков, П., Стойчева Н. (2018). *Съвременни взривни техники за добив на скално-облицовъчни материали*. Списание „Минно дело и геология”, 2018г., бр. 10-11, стр. 42-49, ISSN 0861-5713.

## A - Z

44. Abdollahisharif, J., Bakhtavar, E. (2009). *An intelligent algorithm of minimum cutting plane to find the optimal size of extractable-blocks in dimension stone quarries*, Archives of Mining Sciences, Vol. 54(4), pp. 641 - 656.
45. Abdollahisharif, J., Bakhtavar, E., Alipour, A., Mokhatarian, M. (2012). *Geological Modeling and Short-term Production Planning of Dimension Stone Quarries Based on Market Demand*, JOURNAL OF GEOLOGICAL SOCIETY OF INDIA, Vol. 80, September 2012, pp. 420 - 428.
46. Acevedo, R.D., Gonzales-Guillot, M. (2011). *First petrophysical trials over dimension stones of Tierra del Fuego*, article in Revista de la Asociacion Geologica Argentina, April 2011, pp. 233 - 245. Article in the First petrophysical trials over dimension stones of Tierra del Fuego
47. Almasi, S.N., Bagherpour, R., Mikaeil, R., Ozcelik, Y., (2017). *Developing a new rock classification based on the abrasiveness, hardness, and toughness of rocks and PA for the prediction of hard dimension stone sawability in quarrying*, Geosystem Engineering, Jan. 11. 2017, Vol. 20, Issue 6, pp. 295 – 310.
48. Angrisani, A.C., Di Martire, D., Calcaterra, D., de’Gennaro, M., Ramondini, M. (2018). *On the reliability of experimental data in the geomechanical characterization of dimension stones*, research article in the Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, March 19, 2018, vol. 51, pp. 193 – 201.

49. Ashmole, I., M. Motloug. *DIMENSION STONE: THE LATEST TRENDS IN EXPLORATION AND PRODUCTION TECHNOLOGY*. // The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Surface Mining 2008. In Proceedings of the International Conference on Surface Mining (Vol. 5, No. 8).
50. Ayeni, J.K., Ogunbajo, I.M., Amadi, A.N., Okobi, C.M. (2017). *Evaluation of Suitability of Rocks Using Volumetric Joint Count for Dimension Stone, Quarry in Supare, Ondo State, Southwestern Nigeria*, Nigerian Mining Journal of The Nigerian Society of Mining Engineers, vol. 15, pp. 39 – 45, ISBN 1117 - 4307.
51. Babu, A. R. *Dimensional Stone Extraction by Splitting Technique-Role of Joints*, 2004
52. Bakhtavar, E., Abdollahisharif, J., Lotfi, E., & Oraee, K. (2012). *Assessment of parameters influence the extraction method selection for the dimension stone quarries*, In proceedings of SME Annual Meeting: Mine to Market, Now it's Global Feb. 19-22. 2012, Seattle, WA, (pp. 244-248). Society for Mining, Metallurgy & Exploration.
53. Bakhtavar, E., Oraee, K., Abdollahisharif, J., (2011). *Determination of practical spacing between holes for the expansive mortars utilization in dimension stone quarries*. In proceedings of SME Annual Meeting, Feb. 27. – Mar. 02. 2011, Denver, CO.
54. Bianco, I., & Blengini, G. A. (2016). *An analytical and flexible approach for the life cycle assessment of stone products*, Proceedings SUM2016, Third Symposium on Urban Mining, 23 - 25 May 2016 Old Monastery of St. Augustine, Bergamo, Italy 2016 by CISA Publisher, Italy.
55. Bianco, I., & Blengini, G.A. (2017). *Life cycle assessment of italian ornamental stones. analysis of processes and development of an adaptable model*, 1<sup>st</sup> International sustainable stone conference, Carrara, Italy, May 2016, ITALIAN JOURNAL OF ENGINEERING GEOLOGY AND ENVIRONMENT, pp. 17 - 23.
56. Birch, J.S. Using 3DM Analyst mine mapping suite for rock face characterization. In Laser and Photogrammetric Methods for Rock Face Characterization; Tonon, F., Kottenstette, J., Eds.; ARMA: Golden, CO, USA, 2006; pp. 13–32.
57. Blatt, H., Tracy, R.J. (1996). *Petrology: igneous, sedimentary, and metamorphic (2nd ed.)*. New York: W.H. Freeman. pp. 55, 74. ISBN 0716724383.
58. Bonewitz, R. (2012). *Rocks and minerals. 2nd ed.* London: DK Publishing.
59. Bradley F., *L'escavazione del marmo, Manuale Tecnico-Commerciale*, 1999
60. Bricker, Dakota. *"Snaggy Ridge Indian Rhyolite Quarries"*. Mercersburg Historical Society. Retrieved 2019-01-20.
61. *British Geological Survey, (1999). Rock Classification Scheme. Vol. 1, pp. 1–52.*
62. Busuyi, A.T., Onifade, M., Raphael, O.B. (2015). *Evaluation of Suitability of Some Selected Rocks for Dimension Stone Quarry in Akure, Ondo State, Nigeria, Journal of Mining World Express (MWE) Volume 4, pp. 27 – 36.*
63. Cai, O., Careddu, N., Merev, M., Mulas, I. (2017). *The influence of operating parameters on the total productivity of diamond wire in cutting granite*, Industrial diamond review, 3/07, pp 25-30.
64. Camposinhos, R.S. (2012). *Dimension stone design – partial safety factors: a reliability based approach*, ICE Proceedings Construction Materials Vol. 165, Issue CM3, pp. 145 – 159.

65. Camposinhos, R.S., Camposinhos, R.P.A. (2009). *Dimension-stone cladding design with dowel anchorage*, Proceedings of the Institution of Civil Engineers (ICE) Construction Materials Vol. 162, Aug. 2009, Issue CM3, pp. 95 – 104.
66. Cardu, M., Giraudi, A., Murthy, V. (2005). *Evaluation of dimension stone cutting by diamond wire saw in two marble quarries*, DIAMOND TOOLING JOURNAL, 3/11, pp. 41 – 46.
67. Cardu, M., Michelotti, E. (2005). *Experimental research on the wear on diamond impregnated beads in hard rock cutting*, INDUSTRIAL DIAMOND REVIEW, 1/08, pp.
68. Cardu, M., Michelotti, E. (2005). *Quarrying by explosive and diamond wire in hard dimension stones*, INDUSTRIAL DIAMOND REVIEW, 1/08, pp.
69. Cardu, M., Patrucco, M., Lovera, E., & Michelotti, E. (2005). *Quarrying by explosive and diamond wire in hard dimension stones*, Brighton Conference Proceedings of the European Federation of Explosives Engineers 2005, ISBN 0-9550290-0-7, pp. 409 – 414.
70. Cardu, M., Seccatore, J., Vaudagna, A., Rezende, A., Galvão, F., Bettencourt, J., Giorgio de Tomi. (2015). *Evidences of the influence of the detonation sequence in rock fragmentation by blasting – Part I*, REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 67(3), pp. 337-342, jul - sep. 2015.
71. Cardu, M., Seccatore, J., Vaudagna, A., Rezende, A., Galvão, F., Bettencourt, J., Giorgio de Tomi. (2015). *Evidences of the influence of the detonation sequence in rock fragmentation by blasting – Part II*, REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 68(4), pp. 455 - 462, oct - dec. 2015.
72. Careddu, N., Perra, E., Masala, O., (2017). *Diamond wire sawing in ornamental basalt quarries: technical, economic and environmental considerations*, Springer-Verlag GmbH Germany, Bull Eng Geol Environ (2019) 78:557–568.
73. *Classification of igneous rocks*; Project alert NASA/GSU
74. Copur, H., Balci, C., Bilgin, N., Tumac, D., Feridunoglu, C., Dincer, T., & Serter, A. (2006). *Cutting performance of chain saws in quarries and laboratory*, In Proceedings of the 15th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, MPES, Torino, Italy.
75. Cosi, M., (2018). *A New valuation method for dimension stone mining projects and properties*, Proceedings of the 20th Extractive Industry Geology Conference 2018 and technical meeting 2019, pp. 70 – 89.
76. Cosi, M., (2014). *THE DIMENSION STONES SECTOR new perspectives in the international mining standards*, Presentation at conference: MIN WIN-WIN EFG-PERC CONFERENCE: ESTABLISHING EUROPE-WIDE MINERAL RESOURCES AND RESERVES REPORTING STANDARDS, Nov. 2014.
77. Cotterell, B., Kamminga, J. (1992). *Mechanics of pre-industrial technology: an introduction to the mechanics of ancient and traditional material culture*. Cambridge University Press. pp. 127–, ISBN 978-0-521-42871-2. Retrieved 9 September 2011.
78. Deere D.U. (1964), “Technical description of rock cores for engineering purposes”, Rock Mechanics and Engineering Geology, Vol. 1, No. 1, pp. 17-22.
79. Duffield, W.A., Reed, B.L, and Richter, D.R., 1990, *Origin of rhyolite-hosted tin-mineralization: evidence from the Taylor Creek rhyolite*, New Mexico; Economic Geology, v. 85, p. 392-398.

80. Egesi, N., Tse, C.A., (2011). *Dimension stone: Exploration, evaluation and exploitation in southwest parts of Oban Massif Southeastern Nigeria*, Journal of Geology and Mining Research Vol. 3(4), pp. 115-122, April 2011, ISSN 2006 – 9766.
81. Elkarmoty, M., Bondua, S., Bruno, R., 2020a. *A 3D optimization algorithm for sustainable cutting of slabs from ornamental stone blocks*. Resour. Pol. 65, 101533
82. Elkarmoty, M., Bondua, S., Bruno, R., 2020b. *A 3D brute-force algorithm for the optimum cutting pattern of dimension stone quarries*. Resour. Pol. 68, 101761
83. Elkarmoty, M., Tinti, F., Kasmaeeyazdi, S., Giannino, F., Bondu`a, S., Bruno, R., 2018. *Implementation of a fracture modeling strategy based on Georadar Survey in a large area of Limestone Quarry Bench*. Geosciences 8, 481.
84. Fernández-de Arriba, M., Eugenia Díaz-Fernández, M., González-Nicieza, C., Inmaculada Álvarez-Fernández, M., E. Álvarez-Vigil, A. 2013. *A computational algorithm for rock cutting optimisation from primary blocks*, Computers and Geotechnics, Volume 50, pp 29-40.
85. Fisher, R.V., Schmincke, H.-U. (1984). *Pyroclastic rocks*. Berlin: Springer-Verlag. ISBN 3540127569.
86. Foord, E., Ayuso, R., Hoover, D., Klein, D. (1986). *Rhyolite hosted Sn deposits*.
87. Francioni, M.; Salvini, R.; Stead, D.; Coggan, J.J. Improvements in the integration of remote sensing and rock slope modelling. Nat. Hazards 2018, 90, 975–1004.
88. Francioni M, Simone M, Stead D, Sciarra N, Mataloni G, Calamita F. A New Fast and Low-Cost Photogrammetry Method for the Engineering Characterization of Rock Slopes. Remote Sensing. 2019; 11(11):1267
89. Giraudi, A., Cardu, M., Kecojevic, V. (2009). *An Assessment of Blasting Vibrations: A Case Study on Quarry Operation*, American Journal of Environmental Sciences 5 (4): 468-474, 2009ISSN 1553-345X, pp 468-474.
90. Gupta, R. N. (2016, November). *Emerging explosives and initiation devices for increased safety, reliability, and performance for excavation in weak rocks, mining and close to surface structures*. In Recent Advances in Rock Engineering (RARE 2016) (pp. 361-369). Atlantis Press.
91. Hennies, W.T., Junior, A., Soares, L., Lauand, C.T. & Cortés, G.R. M., (2005). *Diamond Wire Application for Black Granite Block Mining in São Paulo*, The 19th International Mining Congress and Fair of Turkey IMCET 2005, Izmir, Turkey, June 09-12, 2005, pp. 125 - 132.
92. Jug, J., Grabar, K., Strelec, S., Dodogovic, F. (2020). *Investigation of Dimension Stone on the Island Brac – Geophysical Approach to Rock Mass Quality Assessment*, Article in Geosciences '2020, vol. 10, issue 112, 15p.
93. Kaykov, D., N. Stoycheva, 2022, *A study of the relationship between the quarrying direction and the orientation of rock discontinuities for the “Kazanite-1” quarry*, D-13, Proceedings of the X International Geomechanics Conference 19 – 23 September 2022, Varna, Bulgaria
94. Khademian, A., Bagherpour, R., Almasi, S.N., Aalaei, M. (2015). *Optimum Distance Between Cutting Machine And Working Face In Travertine Exploitation With Diamond Wire Cutting Method*, Proceedings of the 24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey-IMCET'15 Antalya, Turkey, April 14-17, 2015, pp. 1103 – 1110.
95. Korman, T., Kujundzic, T., (2018). *Application of the chainsaw machine in exploitation of dimension stone, Hercegovina – zemlja kamena*, Posebno izdanje 2018, pp. 87 - 95.



96. Le Bas, M. J.; Streckeisen, A. L. (1991). *"The IUGS systematics of igneous rocks"*. *Journal of the Geological Society*. Vol. 148 (5), pp. 825–833.
97. W.E. LeMasurier, K. Futa, M. Hole, and Y. Kawachi, 2003, *Polybaric evolution of phonolite, trachyte, and rhyolite volcanoes in eastern Marie Byrd Land, Antarctica: Controls on peralkalinity and silica saturation*
98. Levytskyi, Volodymyr, Ruslan Sobolevskyi, Valentyn Korobiichuk. *The optimization of technological mining parameters in a quarry for dimension stone blocks quality improvement based on photogrammetric techniques of measurement*, // The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin DOI: 10.17794/rgn.2018.2.8. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 33(2), 83-89.
99. Lisboa, J.V., Oliveira, D.P.S. (2005). *The Esmolfe and Antas-Matança granitic massifs (Portugal): Petrography and influence of fracturing in the establishment of potential areas for ornamental stone quarrying*, Cadernos Lab. Xeoloxico de Laxe, Coruna 2005, vol. 30, pp. 11 – 38, ISSN: 0213-4497.
100. Mancini, R., Cardu, M., Fomaro, M., Lovera, E. (2001). *Technological and economic evolution of diamond wire use in granite or similar stone quarries*, In 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey-IMCET2001. Ankara, Turkey (pp. 543-548).
101. Marr, P.(2020). *The Green Cabin Prehistoric Metarhyolite Quarry Site (36AD0569)*, South Mountain, Pennsylvania, The Geographical Bulletin 61(1): 19-28 ISSN 2163-5900.
102. Matsimbe, J. *Comparative application of photogrammetry, handmapping and android smartphone for geotechnical mapping and slope stability analysis*. Open Geosciences, vol. 13, no. 1, 2021, pp. 148-165.k Mechanics and Mining Sciences, 48(6), 932–941.
103. Medda, P., Leinonen, S., Selonen, O., Careddu, N., Siotto G., (2015). *A feasibility study of a potential dimension stone occurrence of brown granite in Nopala (Finland)*, MARMOMACHINE - STUDI & RICERCHE, April 2015, pp. 49 – 71, Italy.
104. Mosch, S., Nikolayew, D., Ewiak, O., S. Siegesmund. (2011). *Optimized extraction of dimension stone blocks*. Environ Earth Sci 63, 1911–1924 (2011). <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0825-7>.
105. Mutlutürk, M. (2007). *Determining the amount of marketable blocks of dimensional stone before actual extraction*, Journal of mining science, 43(1), 67-72.
106. Ozcelik Y. (2003) *Multivariate statistical analysis of the wear on diamond beds in the cutting of andesitic rocks*. Key Engineering materials, vol.250, Trans Tech Publications
107. Özkan, E., Sarıışık, G., & Ceylan, S. (2013). *A new application of new channel opening method in natural stone quarries and productivity analysis*, Madencilik – the journal of the chamber of mining engineers of Turkey, Vol.52, No.1, pp 27-34, March 2013.
108. Özkan, E., Sarıışık, G., & Ceylan, S. (2014). *Application and productivity analysis of new channel opening method in natural stone quarries with diamond wire cutting machine*, Arabian journal of geosciences, 8(2), pp. 1089-1098.
109. Philpotts, A.R.; Ague, J.J. (2009). *Principles of igneous and metamorphic petrology (2nd ed.)*. Cambridge, UK, pp. 23–26, Cambridge University Press. [ISBN 9780521880060](https://doi.org/10.1017/9780521880060).
110. Porsani, J. L., Sauck, W. A., & Júnior, A. O. (2006). *GPR for mapping fractures and as a guide for the extraction of ornamental granite from a quarry: A case study from southern Brazil*, Journal of Applied Geophysics, 58(3), 177-187.
111. Primavori P., *Planet stone First edition*, September 1999, Verona, ISBN 88-900067-1-4

112. Primavori P., 2011, *Stone splitting: characteristics, technologies and applications*, Trento, Italy ISBN978-88-906418-1-7
113. Primavori P., 1999, *20 years of diamond wire*. Marmo Macch Anno 29°, 149, pp 278-304
114. Pyra, J., Maranda, A., Florczak, B., Zrobok, R. (2019). *Use of Pyrotechnic Mixtures for Mining of Block Deposits*, Article in the Journal of Applied Sciences 2020, 10, 271, 12 p., ISSN 2076-3417; CODEN: ASPCC7.
115. Rathore, S., Bhandari, S., (2008). *Controlling Measures of Damages due to Various Blasting Techniques in Splittable Sandstone Quarry during Extracting*, IE (I) Journal-MN, Vol. 88, Feb. 2008, pp. 33 – 39.
116. Rathore S. S. and Bhandari S. (2006), "Study on controlled blasting techniques in dimensional stone quarrying", *IE(I) Journal–MN* 86, pp. 46-49.
117. Rehman, Z., Hussain, S., Mohammad, N., Raza, S., Sherin, S., Khan, M., Tahir, M., Khan, M., (2018). *Comparative analysis of different techniques used for dimension stone mining*, Journal of Himalayan Earth Sciences Volume 51, No. 1, 2018 pp. 23-33.
118. Richthofen, F. von F. (1860). *"Studien aus den ungarisch-siebenbürgischen Trachytgebirgen"*, Studies of the trachyte mountains of Hungarian Transylvania, Jahrbuch der Kaiserlich-Königlichen Geologischen Reichsanstalt (Wein), Annals of the Imperial-Royal Geological Institute of Vienna (in German). Vol. 11, pp. 153–273.
119. Saliu, M. A., Shehu, S. A., (2013). *Bench blasting design for optimum recovery of blocks in dimension stone quarries: A case study of crushed rock industry*, SUPARE-NIGERIA, Global Journal of Engineering Research, Vol. 12, 2013, pp. 85 – 92.
120. Schmincke, H.-U. (2003). *Volcanism*. Berlin: Springer. ISBN 9783540436508.
121. Seccatore, J., Golin, F., Cardu, M., Munaretti, E., Bettencourt, J., Koppe, J., *Evaluating the effects of non-coaxial charges for contour blasting*, Proceedings of the 11th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Paper Number: 018.
122. Shishkov, P., Stoycheva, N. (2019). *Application of long term stored single and double based propellants in advanced blasting methods for dimension stone extraction*, Poster presentation at 22-nd NTREM '2019 - International Seminar "New trends in research of energetic materials", Pardubice, 09 – 11.04.2019, CZ, Proceedings – from p.619 to p.629, ISBN 978-80-7560-210-7(Print), ISBN 978-80-7560-211-4(CD).
123. Sousa, L.M.O. (2010). *Evaluation of joints in granitic outcrops for dimension stone exploitation*, Article in Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology · February 2010, pp. 85 – 94.
124. Stewart, M., (2016). *Rhyolite quarry and quarry-related sites in Maryland and Pennsylvania*, Archaeology of Eastern North America, Vol. 15 (Fall 1987), pp. 47-57
125. Stoycheva, N. (2020). *Combined methods for extraction of dimension stone blocks for decorative purposes*. – Journal of Mining and Geological Sciences, p. 99 – 104, vol. 63 / 2020, ISSN 2682-9525, ISSN 2683-0027.
126. Stoycheva, N., P. Shishkov, (2021). *Comparative analysis of the techniques for detachment of natural stone blocks from the massif with flexible high-explosive charges and bulk-expanding chemical compositions*, Sustainable extraction and processing of raw materials (SEPRM), Vol.2 / 22.Oct. 2021, pp. 63 – 67, Publishing house "St. Ivan Rilski" – Sofia, ISSN 2738-7100, ISSN 2738-7151. (in English)

127. Stoycheva, N., Shishkov, P. (2019). *Innovative formulations for a new generation of low-speed explosive compositions, designed for blasting in tender conditions and for extraction of rock-cladding materials*, Journal of Mining and Geological Sciences, p.94 – 99, vol.62, Nr.2 (in English).
128. Stoycheva, N., Shishkov, P. (2020). *Non-detonating charges in polymer housings for smooth splitting of rock blocks during primary extraction and secondary cutting*, Sustainable extraction and processing of raw materials, Vol.1 / Oct. 2020, pp. 85 – 89, ISSN 2738-7100, ISSN 2738-7151.
129. Sturzenegger, M., & Stead, D. (2009). *Close-range terrestrial digital photogrammetry and terrestrial laser scanning for discontinuity characterization on rock cuts*. Engineering Geology, 106(3-4), 163–182.
130. Tercan, A. E., Y. Ozcelik (2000). Geostatistical evaluation of dimension-stone quarries. Hacettepe University, Department of Mining Engineering, 06532 Beytepe, Ankara, Turkey
131. Valdes, F.G. (1994). *A Quantitative study of Optimal Extraction*, Article, March 1994.
132. Yarahmadi, R., Bagherpour, R., Taherian, S.G., & Sousa, L.M. (2018). *Discontinuity modelling and rock block geometry identification to optimize production in dimension stone quarries*, Engineering Geology, 232, 22-33.
133. Yarahmadi, R., Bagherpour, R., Taherian, S.G., Sousa, L.M. (2015). *How to determine the appropriate methods to identify the geometry of in situ rock blocks in dimension stones*, Article in Environmental Earth Sciences, vol. 74(9), July 2015.
134. Zanzi, L., Hojat, A., Ranjbar, H., Karimi-Nasab, S., Azadi, A., Arosio, D. (2017). *GPR measurements to detect major discontinuities at Cheshmeh-Shirdoosh limestone quarry, Iran*, Bulletin of Engineering Geology and the Environment vol. 78(4), pp. 1 – 10.
135. Zedef, V., Ağaçayak, T., Sogut, A.R., Kocak, K. (2011). *Dimension stones used in Central Anatolia: Some of their geological and mechanical properties*, Scientific Research and Essays Vol. 6(13), 4 July, 2011, pp. 2655-2659, ISSN 1992-2248
136. <https://www.britannica.com/science/rhyolite-rock>
137. <https://www.mindat.org/min-48451.html>
138. <https://www.britannica.com/science>

Забележка. Обемът на дисертационния труд е от 193 стандартни печатни страници, а на автореферата 59 стандартни печатни страници.