



ИЗПОЛЗВАНИ СИСТЕМИ ЗА ВЗРИВЯВАНЕ В РУДНИК „ЕЛАЦИТЕ“ И ТЯХНОТО ВЛИЯНИЕ ВЪРХУ ЗЪРНОМЕТРИЯТА НА ВЗРИВЕНАТА МИННА МАСА

инж. Владимир Билев, инж. Радослав Асенов, инж. Живко Желязков, инж. Росен Борисов
v.bilev@ellatzite-med.com; r.asenov@ellatzite-med.com; zh.zhelyazkov@ellatzite-med.com;
r.borisov@explosiveprogress.eu

SYSTEMS USED FOR BLASTING IN ELLATZITE OPEN-PIT MINE AND THEIR IMPACT ON THE FRAGMENTATION OF THE BLASTED ORE MASS

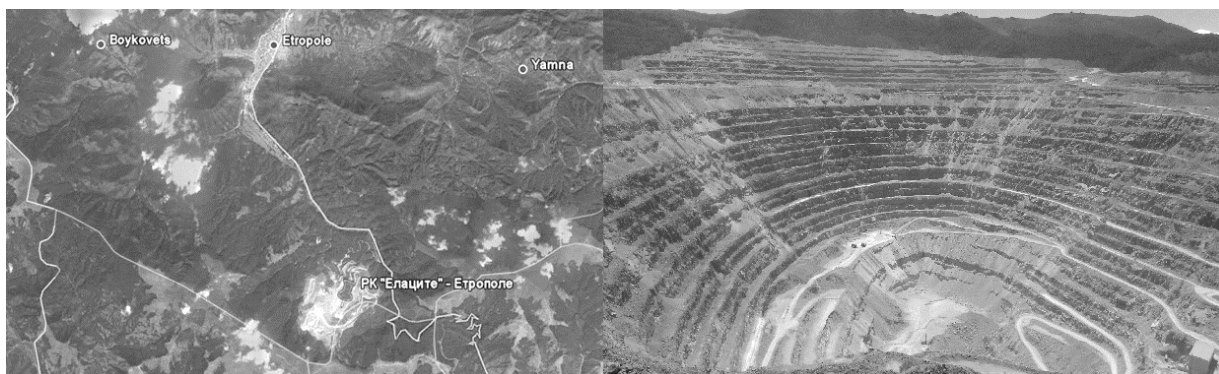
Dipl. Eng. Vladimir Bilev, Dipl. Eng. Radoslav Asenov, Dipl. Eng. Zhivko Zhelyazkov,
Dipl. Eng. Rosen Borisov
v.bilev@ellatzite-med.com; r.asenov@ellatzite-med.com; zh.zhelyazkov@ellatzite-med.com;
r.borisov@explosiveprogress.eu

ABSTRACT

Ellatzite Open-pit Mine is characterized with its large scope of working (both surface and depth), various lithology, specific geotechnical areas and a wide scale of measurements for strength of the excavated rock mass. This variety is a challenge for the design of the drilling and blasting works that need to cover a large scope of criteria, the grain size distribution of the blasted rock mass being one of the main. The design of the drilling and blasting passports with different patterns for blast initiation helps to achieve the desired rock size in the blasted areas.

Въведение

Рудник „Елаците“ е разположен на около 80 km източно от гр. София, на северния склон на Етрополска Стара планина, в близост до гр. Етрополе. Рудникът се разработва по открит способ за добив и първична преработка на медно-порфирни златосъдържащи руди. При експлоатацията му се добива минна маса (откривка и руда), в резултат на което се оформя рудничното пространство (котлован).



Фиг. 1. Местоположение и общ изглед на рудник „Елаците“

Взривената рудна маса се натрошава в два трошачни корпуса. Корпус едро трошене - „КЕТ №1“ с двустадийна схема на трошене и корпус едро трошене - „КЕТ №3“ с едностадийна схема на трошене. Натрошената руда се транспортира по магистрална гумено-транспортна лента (МГТЛ), минаваща през



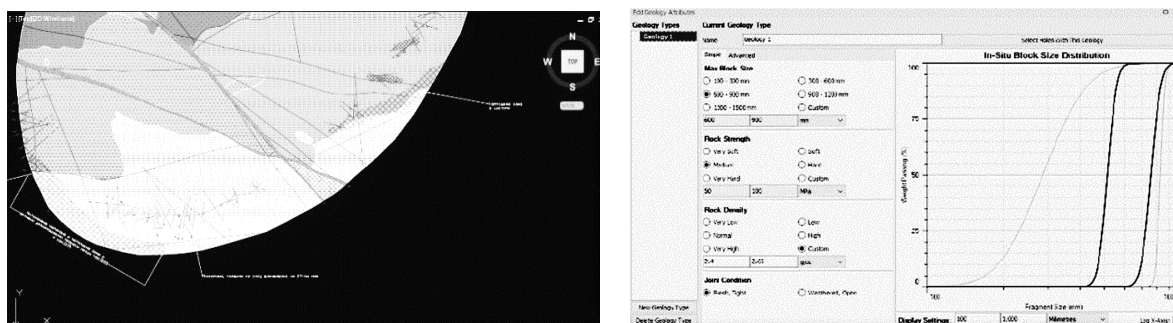
изграден тунел ($L = 6\,355\text{ m}$ и наклон = 1,94%) до обогатителния комплекс в с. Мирково. Това уникално съоръжение е с една задвижваща станция и е единствено по рода си на Балканския полуостров. Производителността на трошачните комплекси зависи от зърнометрията на взривената минна маса, която е продукт на качествено проектиране и коректно изпълнение на пробивно-взривните работи. Този доклад представя постигнатите резултати на зърнометричния състав от взривени полета с доказано съдържание на руда при прилагане на неелектрическа или електронна система за взривяване.

Геология на разработвания скален масив

Геологията на скалния масив и свойствата, които притежава, оказват значително влияние върху пробивно-взривните работи. Основни свойства, които са определящи за добър зърнометричен състав след взривяване са: якост на натиск, якост на опън, плътност, скорост на разпространение, твърдост и геоложка структура. Скалните масиви в рудник „Елаците“ са представени основно от: гранодиорити, порфирити, хорнфелзи, шисти и филити. Повечето литоложки разновидности в рудник „Елаците“ имат якост на опън, която е от 8 до 10 пъти по-ниска от якостта на натиск. Това свойство е важен фактор при взривяването им. Якостта на опън на скалата трябва да бъде надвишена, в противен случай няма да се разруши.

Таблица №1. Физико-механични свойства на литоложките разновидности в рудник „Елаците“

Литология	Якостни параметри		Деформационни параметри	
	Якост на едноосов натиск	Якост на опън	Надлъжни вълни V_p	Напречни вълни V_s
	MPa	MPa	m/s	m/s
Филити	11.24	2.09	3714.45	1864.62
Ивичести и петнисти шисти	35.65	4.34	5010.70	2404.76
Хорнфелзи	75.49	7.69	5303.76	2519.38
Монцодиоритови порфирити	87.05	7.42	4245.01	2037.16
Гранодиорити	93.77	9.11	4911.31	2400.76



Фиг.2. Картографиран работен хоризонт (в ляво), отразяващ зони и участъци от скалния масив с различна податливост на скалите към сондиране и взривяване. Вдясно е представена диаграма от „Paradigm“ на предполагаема зърнометрия в зависимост от геологията на взривното поле, начина на зареждане с ВВ и времевите интервали на взривяване на отделните заряди. „Licensed by Austin Powder“

Когато скалният масив е с налични разломни зони, голяма част от енергията на взривното вещество се губи в тях, вместо да се използва за раздробяването на масива. Взривните полета с налични структурни нарушения, обикновено водят до голяма блокова зърнометрия. Влагането на големи количества взривни вещества, рядко ще коригира този проблем, това само ще увеличи риска от опасен разлет на скални късове. При изпълнение на ПВР в подобни участъци правилният подход се



изразява в прилагането на сондажи с малък диаметър, а зарядите от взривно вещество да бъдат концентрирани в здравите участъци, за да се получи по-добро разпределение на взривната енергия.

Използвани системи за взривяване в рудник „Елаците“

При извършването на взривни работи в рудник „Елаците“ се използват две системи за взривяване (неелектрическа и електронна) в зависимост от това дали извършваните пробивно-взривни работи се изпълняват за изземване на руда или откривка.

а) Електронната система се използва основно при добива на руда, при оконтуряване на бордовете и при извършване на взривни работи в близост до охраняеми обекти. Тя използва електронни детонатори с програмируем електронен чип, на който може да бъде зададено закъснение в диапазона между 1 ms и 16 s. Използването на електронна иницираща система дава възможност на проектанта да решава точно кога да се взриви всеки отделен заряд в полето. Максималното отклонение на електронните детонатори, в сравнение с другите системи за инициране, е 1 ms, което ги прави подходящи при управление и подобряване на зърнометрията на взривената минна маса.

Предимствата на електронната система се изразява в следното:

- намаляване сеизмичното въздействие от взрива, вследствие пълната интерференция на вълните и изравняването на по-високи и по-ниски взривни пикове;
- по-добро раздробяване на материала, поради пълното взаимодействие на отделните заряди;
- намаляване на относителния разход на експлозива, поради по-пълното използване на енергията.

б) Неелектрическата система се прилага основно при добива на откривка. В рудник „Елаците“ се прилага неелектрическа система за взривяване тип „NONEL“, производство на фирма „Nitro Nobel“ от Швеция. Системата използва закъснения в заредените сондажи (дънни закъснения) и закъснения в повърхностните съединителни елементи (закъснителни релета), които са на повърхността на взривното поле.

Проектиране на ПВР в рудник „Елаците“

Проектирането на пробивно-взривни работи се извършва съгласно фирмени процедури, като паспорта за ПВР се изготвя след предварително извършено маркшайдерско заснемане на площадките за сондиране. Проектът за сондиране се съобразява с геологията на разработвания скален масив. След оценка на геологията се избира работния диаметър на сондажите и сондажната мрежа, в която ще се изпълняват. Сондажните мрежи в рудник „Елаците“ се изпълняват в шахматна конфигурация с цел да се подсигури по-добра енергийна ефективност при инициране на зарядите от взривно вещество.

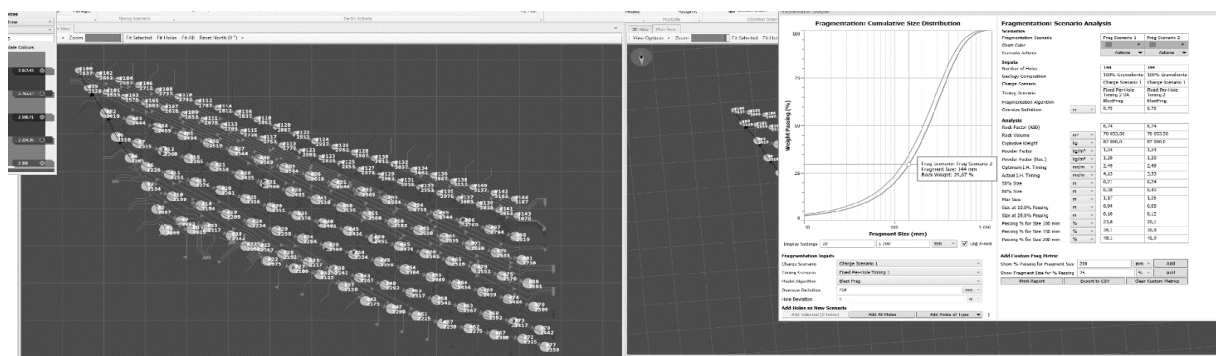
С цел оптимизиране на пробивно-взривните работи в рудника са изготвени хоризонтни планове на находището, както и отразяващи зони или участъци от скалния масив с различна податливост на скалите към сондиране и взривяване. Това дава възможност за по-коректно проектиране и планиране на пробивно-взривните дейности, като информацията от техническите отдели, свързана с пробивно-взривните работи, се събира от отдел „Маркшайдерски“ в общ модел наречен „Главен план“.

Таблица №2. Основни параметри от проектите за сондиране на взривни полета с доказано съдържание на руда и литология представена от гранодиорит

Диаметър на сондажа, mm	Сондажна мрежа, m		Дълбочина на сондажите, m	Преудълбаване на сондажите, m	Наклон на сондажите, ...°
	между сондажите	между редовете			
165	4.5	4	17	1-2	90
250	6.5	5.5	17	1-2	90



При проектиране на паспорта за ПВР проектантът използва софтуерния продукт „Paradigm“ по лиценз на фирма „Austin Powder“. Програмата дава възможност да се сравнят няколко варианта (сценарии) с предполагаеми резултати при: зареждане на сондажите с взривно вещество (ВВ); оптимални интервали за инициране на отделните заряди от ВВ; посока и времеви интервали на изместване на взривявания материал; разпределение на взривната енергия при взривяване; предполагаем зърнометричен състав на взривното поле; изчисляване на предполагаемото взриво-сеизмично въздействие до охраняеми съоръжения и обекти; изчисляване на безопасни разстояния по отношение на разлет на скални късове и др.



Фиг.3. Схема на симулирано инициране на заряди от ВВ, както и схема показваща предполагаема фрагментация „Licensed by Austin Powder“

Както при неелектрическата, така и при електронната система за взривяване се прилага непрекъснатата конструкция на заряда от взривно вещество, като детонацията се предава от два патронбоеквика, разположени на 2 m и 4 m от дъното на сондажа. Практиките показват, че твърдите скали с висока скорост на разпространение са най-добре фрагментирани от взривни вещества с висока скорост на детонация (VOD, m/s).

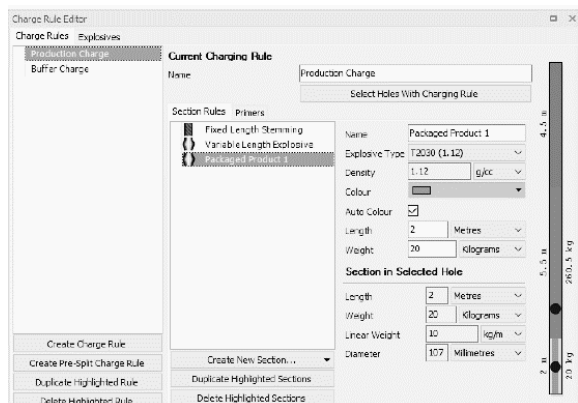
Таблица №3. Взривни вещества (ВВ), прилагани при ПВР в рудник „Елаците“

Взривно вещество	Тип Взривно вещество	Насипна плътност, kg/m ³	Критичен диаметър, mm, не повече от	Стабилен диаметър, mm, не повече от	Оптимален междинен детонатор	Скорост на детонация, m/s
Елацит 710	патронирано емулсионно	1100-1220	до 51*	над 51**	не по-малко от КД №8	не по-малко от 5000
АНФО Е	нафтоселитрено грубодисперсно	750-820	60	100	400 g пресовка ТНТ	не по-малко от 3000
Елацит 3400	емулсионно	1150-1280	80	120	400 g пресовка ТНТ	не по-малко от 4300

* - с плътност на гореща емуслия= 1.08 ± 0.03 g/cm³ ; с плътност на охладена емуслия= 1.12 ± 0.03 g/cm³

** - с плътност на гореща емуслия= 1.14 ± 0.03 g/cm³ ; с плътност на охладена емуслия= 1.18 ± 0.03 g/cm³

Впоследствие скала с ниска скорост на разпространение може да бъде успешно взривена от експлозиви с ниска скорост на детонация. Взривни вещества с VOD от 5000 m/s до 6000 m/s са подходящи за взривяване на гранодиорити, хорнфелзи, гранит, мрамор, диабаз (скорост на разпространение от 4000 m/s до 7000 m/s), докато взривни вещества като „ANFO“ са подходящи за варовик, филити, шисти, пясъчник и др. с ниски скорости на разпространение. За планираните взривни работи в рудник „Елаците“ се използват емулсионни взривни вещества, които са собствено производство, по лиценз на американската фирма „Austin Powder“. Зареждането е механизирено със сондажно-зарядни тежкотоварни автомобили, произвеждащи емулсионни и грубодисперсни взривни смеси.



Фиг.4. Проектиране на непрекъсната конструкция на заряд от ВВ с използването на „Paradigm“ и сондажно-заряден тежкотоварен автомобил, „Licensed by Austin Powder“

Разпределението на експлозивната енергия е важно условие за постигане на добра зърнометрия. Значителният процент на прекалено големите скални късове се дължи на използването на прекомерно дълги забивки. Таблица №4 илюстрира добро, средно и слабо вертикално разпределение на енергията в резултат на различните дължини на забивката и комбинации от височини на хоризонтите.

Таблица №4. Вертикално разпределение на взривната енергия спрямо дължината на забивката

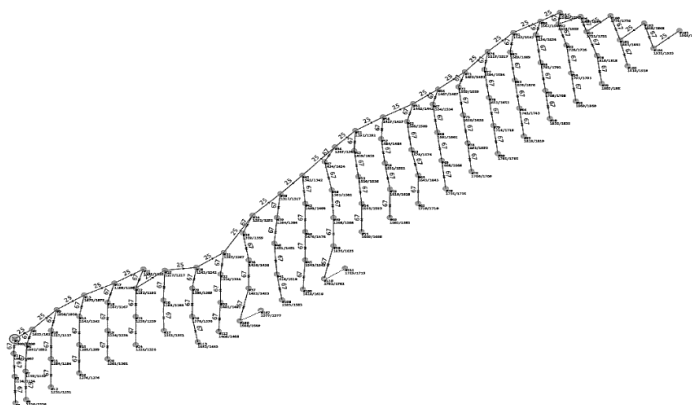
Вертикално разпределение на енергията	Добро			Средно			Слабо							
	3	3.25	3.5	3.75	4	4.25	4.5	4.75	5	5.25	5.5	5.75	6	6.25
	Дължина на забивката (m)													
5	40%	35%	30%	25%	20%	15%	10%	5%						
6	50%	46%	42%	38%	33%	29%	25%	21%	17%	13%	8%	4%		
7	57%	54%	50%	46%	43%	39%	36%	32%	29%	25%	21%	18%	14%	11%
Височина на хоризонта (m)	8	63%	59%	56%	53%	50%	47%	44%	41%	38%	34%	31%	28%	25%
	9	67%	64%	61%	58%	56%	53%	50%	47%	44%	42%	39%	36%	33%
	10	70%	68%	65%	63%	60%	58%	55%	53%	50%	48%	45%	43%	40%
	11	73%	70%	68%	66%	64%	61%	59%	57%	55%	52%	50%	48%	45%
	12	75%	73%	71%	69%	67%	65%	63%	60%	58%	56%	54%	52%	50%
	13	77%	75%	73%	71%	69%	67%	65%	63%	62%	60%	58%	56%	54%
	14	79%	77%	75%	73%	71%	70%	68%	66%	64%	63%	61%	59%	57%
	15	80%	78%	77%	75%	73%	72%	70%	68%	67%	65%	63%	62%	60%
	16	81%	80%	78%	77%	75%	73%	72%	70%	69%	67%	66%	64%	63%
	17	82%	81%	79%	78%	76%	75%	74%	72%	71%	69%	68%	66%	65%
	18	83%	82%	81%	79%	78%	76%	75%	74%	72%	71%	69%	68%	67%

- Инициране на зарядите от ВВ с прилагане на неелектрическа система

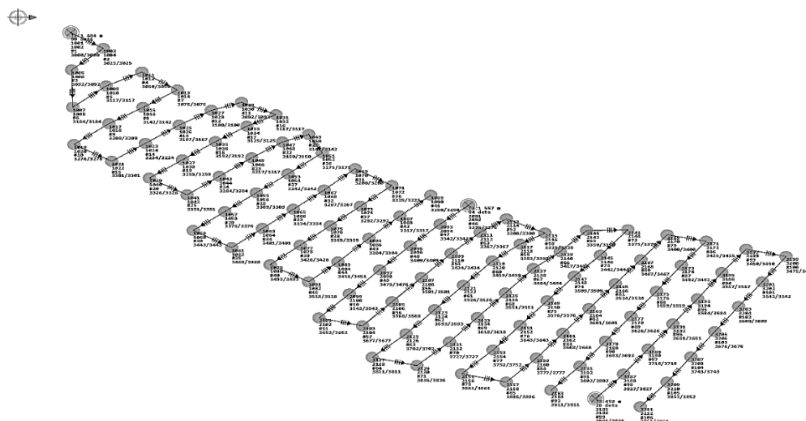
Неелектрическата система използва закъснения в заредените сондажи (дънни закъснения) и закъснения в повърхностните съединителни елементи (закъснителни релета). Закъсненията в сондажите се комбинират със закъсненията на повърхностните свързващи елементи и по този начин се изпълнява последователността на инициране. В случаите, в които системата се прилага във взривни полета с доказано съдържание на руда, се използват сондажни детонатори със закъснения U475 или U500 в комбинации от свързващи елементи (закъснителни релета): 25 ms; 42 ms и 67 ms.

- Инициране на зарядите от ВВ с прилагане на електронна система

При проектирането на ПВР с електронна система за взривяване се оценяват най-подходящите закъснения за постигане на по-добри резултати. Основни елементи на електронните системи са: електронни детонатори; програмиращо устройство; устройство за инициране на взривната мрежа; магистрални проводници; софтуер за управление на горните.



Фиг. 5. Повърхностна взривна мрежа от свързващи елементи (25 ms и 67 ms), инициращи заряди от ВВ при неелектрическа система за взривяване



Фиг. 6. Последователност на програмиране на електронните детонатори със закъсненията за инициране на зарядите от ВВ

Сравнение на зърнометричната характеристика на взривни полета, иницирани с електронна система и неелектрическа система при извършване на взривни работи на територията на рудник „Елаците“

За оценяване на ефикасността на всяка от прилаганите системи за взривяване е направено сравнение на зърнометричния състав. За сравнение са взети 6 броя взривни полета, иницирани посредством неелектрическа система „NONEL“ и 6 броя взривни полета, иницирани посредством електронна система за взривяване „Austin Detonator“. За да е по-обективно сравнението, са взети взривни полета с приблизително еднакви изходни параметри (диаметър на сондажа; отбив на минна маса от 1 л. т.; сондажна мрежа; използвано ВВ; относителен разход на ВВ; видове скали; блокова структура на масива и схема на свързване).

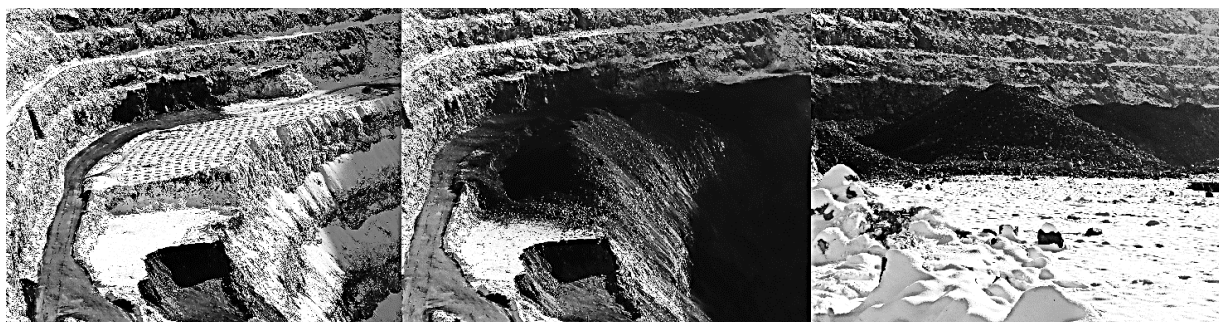
Таблица №5. Постигнати зърнометрични стойности при ПВРq извършвани с „NONEL“ система.

ВП, №	Литология	Диаметър на сондажа, mm	Разстояние м/у сондажите, m	Разстояние м/у редовете, m	Използвано ВВ	Макс. количество ВВ в сондаж, mm	Забивка, m	Относителен разход на ВВ, kg/m ³	Отбив от 1 л.м., m ³	Размер на къса във взривената MM, cm					
										D10	D25	D50	D75	D90	D99
36	гранодиорит	250	6.5	5.5	Е-3400	980	5	1.33	37.30	5.44	11.50	20.10	29.90	44.60	71.30
378	гранодиорит	250	6.5	5.5	Е-3400	910	5	1.14	38.45	7.93	13.80	23.90	39.10	54.10	96.80
375	гранодиорит	250	6.5	5.5	Е-3400	840	5	1.28	34.95	7.35	13.90	23.80	36.40	48.50	61.40
431	гранодиорит	250	6.5	5.5	Е-3400	900	5	1.34	37.53	7.06	12.60	21.90	36.70	50.00	81.80
406	гранодиорит	250	6.5	5.5	Е-3400	900	5	1.26	39.32	5.62	11.60	22.70	39.00	57.40	96.40
437	гранодиорит	250	6.5	5.5	Е-3400	840	5	1.16	42.43	5.19	10.20	20.30	34.70	49.20	81.40
Средни стойности						895	5	1.25	38.33	6.43	12.27	22.12	35.97	50.63	81.52



Таблица №6. Постигнати зърнометрични стойности при ПБР извършвани с електронна система „Austin Detonator“

ВП, №	Литология	Диаметър на сондажа, mm	Разстояние м/у сондажите, m	Разстояние м/у редовете, m	Използвано ВВ	Макс. количество ВВ в сондаж, mm	Забивка, m	Относителен разход на ВВ, kg/m ³	Отбив от 1 л.м., m ³	Размер на къса във взривената ММ, cm					
										D10	D25	D50	D75	D90	D99
433	гранодиорит	250	6.5	5.5	Е-3400	840	5	1.09	39.30	6.25	11.30	19.90	38.70	66.20	74.10
439	гранодиорит	250	6.5	5.5	Е-3400	880	5	1.27	41.21	4.93	9.58	18.80	29.40	46.00	63.30
21	гранодиорит	250	6.5	5.5	Е-3400	940	5	1.03	46.90	7.90	14.07	24.08	38.73	54.68	78.70
56	гранодиорит	250	6.5	5.5	Е-3400	920	5	1.29	27.67	6.39	11.50	18.90	27.60	37.80	48.60
54	гранодиорит	250	6.5	5.5	Е-3400	850	5	1.33	35.83	3.58	5.87	11.50	20.90	28.70	38.70
32	гранодиорит	250	6.5	5.5	Е-3400	840	5	1.43	34.50	7.80	14.70	24.80	37.50	53.60	92.30
Средни стойности						878	5	1.24	37.57	6.14	11.17	19.66	32.14	47.83	65.95



Фиг.7. Характерно взривно поле, иницирано с електронна система за взривяване

От анализа на данните в таблица №5 и №6 се забелязва, че получените резултати при взривните полета иницирани с електронна система са по-добри от резултатите при неелектрическата система за взривяване. Разликите в средните стойности на показателите за изследваните взривни полета са представени в Таблица №7.

Таблица №7. Средни стойности на зърнометрия при прилагане на неелектрическа и електронна система за взривяване в рудник „Елаците“

Параметри	Мярка	Ел. с-ма	Неел. с-ма	Съотношение
Брой ВП	бр.	6	6	
Относителен разход,	kg/m ³	1,24	1,25	0,81%
Добив (V) от 1 линеен метър сондаж	m ³ /m	37,57	38,33	2,02%
Среден размер (D50) на къса	cm	19,66	22,12	12,51%
Максимален размер (D99) на къса	cm	92,3	96,8	4,88%
D10	cm	6,14	6,43	4,72%
D25	cm	11,17	12,27	9,85%
D75	cm	32,14	36,0	11,92%
D90	cm	47,83	50,63	5,85%

Забелязва се, че при почти еднакви изходни параметри, изразени в относителен разход на ВВ и добив от един линеен метър сондаж, показателите на зърнометричната характеристика при взривните полета, реализирани посредством електронна система за инициране, са средно с около 8% по-добри, сравнени с тези при неелектрическата система.

Горното добре кореспондира с данните, получени при сравнение на измервания през 2020 година извършени от фирма „ЕКСПЛОЗИВПРОГРЕС-ГТМ“ ЕООД, където са разгледани 48 броя характерни взривни полета. Тридесет и четири от тях са иницирани посредством електронна система на инициране и четиринадесет с неелектрическа система.



Определянето на зърнометричната характеристика на взривената минна маса е извършена посредством мащабирани фотоснимки и фотографска обработка на същите. Извличането на необходимата информация е чрез специализиран софтуерен продукт „Wipfrag 3.0 Granulometry analysis Software“.

Разгледани са последните основни параметри: относителен разход на ВВ, добив от 1 л. т сондаж, среден размер (D50) на къса, D_n-размер (диаметър, см) на къса във взривената минна маса на n% от материала (D10, D25, D50, D75, D90,). Получените резултати са показани в Таблица №8 .

Таблица №8. Средни стойности за 2020 г. на зърнометрия при прилагане на неелектрическа (NONEL) система и електронна система „Austin Detonator“ в рудник „Елаците“

Параметри	Мярка	Ел. с-ма	Неел. с-ма
Брой ВП	бр.	34	14
Относителен разход,	kg/m ³	1,2	1,2
Добив (V) от 1 линеен метър сондаж	m ³ /m	36,6	36,2
Среден размер (D50) на къса	cm	19,5	22,6
D10	cm	5,3	6
D25	cm	10,3	11,8
D75	cm	32,4	36,8
D90	cm	45,3	53,3

В таблици №7 и №8 се забелязва предимството, което има електронната система по отношение на по-доброто фрагментиране на материала, поради пълното взаимодействие на отделните заряди. В следствие на по-добрата зърнометрия се увеличава производителността на багерите, а оттам се намалява и времетраенето за товарене на камионите (увеличава се броя на транспортните курсове), увеличава се производителността на трошачките (t/h) и се намалява използваната електроенергия (Kwh/t). Багерите изземват взривения материал на зададената кота и подържат нивото на хоризонтите. Следствие на добрата зърнометрия намалява количеството на негабаритни скални късове и извършването на вторични взривни работи.

Литература

1. Справочник на взривника. Петър Кръстев Шишков; София 2019
2. Доклади от външни одити върху производствените процеси в сферата на пробивно-взривните работи, проведени на територията на РК „Елаците“.
3. Отчет от „ЕКСПЛОЗИВПРОГРЕС-ГТМ“ ЕООД по задача: Анализ на зърнометричния състав на взривената минна маса в РК „Елаците“, 2020 г.
4. Applied explosives technology for construction and mining. Sweden. Stig O Olofsson