



ЗРГИМ

XV TO СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:  
Технологија на подземна и површинска експлоатација на  
минерални суровини

**ПОДЕКС – ПОВЕКС '24**

Струга  
18 – 20. 10. 2024 год.

## КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА ЗА ПРОЕКТИРАНИ И ПОТРОШЕНИ МАТЕРИЈАЛИ ПРИ ИЗГРАДБА НА БАРИКАДИ ОД ПРСКАН БЕТОН

Николинка Донева<sup>1</sup>, Зоран Десподов<sup>1</sup>, Стојанче Мијалковски<sup>1</sup>,  
Тони Митевски<sup>2</sup>, Цеце Стојчев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Факултет за природни и технички науки, Универзитет Гоце Делчев, Штип,  
Северна Македонија

<sup>2</sup>Рудник „Саса“, М. Каменица, Северна Македонија

**Апстракт:** При примена на методата за откопување со заполнување празните простори по откопување на рудното тело истите се заполнуваат со рудничка јаловина од подготвителните работилишта или пак флотациска јаловина збогатена со врзиво средство, донесена од површината.

При примена на флотациска јаловина како материјал за заполнување неопходно е пред заполнувањето на одреден откопан простор истиот да се прегради (ограничи) со барикада. Во овој труд се прикажани фазите на изградба на барикади од прскан бетон, исто така направена е компаративна анализа на проектираните и потрошените материјали при нивна изградба.

**Клучни зборови:** анкери, мрежа, цевки за заполнување, заполнување, хидротранспорт.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF DESIGNED AND CONSUMED MATERIALS DURING SHOTCRETE BULKHEAD CONSTRUCTION

Nikolinka Doneva<sup>1</sup>, Zoran Despodov<sup>1</sup>, Stojance Mijalkovski<sup>1</sup>, Toni Mitevski<sup>2</sup>,  
Cece Stojcev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Natural and Technical Sciences, Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

<sup>2</sup>Sasa mine, M. Kamenica, North Macedonia

**Abstract:** When applying the cut and fill mining method, the empty spaces after excavation of the ore body are filled with mine tailings from the preparatory workshops or flotation tailings enriched with a binding agent, brought from the surface.

When using flotation tailings as a filling material, it is necessary to partition (limit) a certain excavated area with a bulkhead before filling it.

In this paper, the stages of shotcrete bulkhead construction are shown, a comparative analysis of the projected and consumed materials during their construction is also made.

**Key Words:** anchors, mesh, fill pipes, backfill, hidro transportation.

## 1. ВОВЕД

Откопувањето во јама претставува производен процес во кој се добива корисната минерална суровина.

Методите за откопување на минерални суровини според начинот на одржување на празниот простор се класифицирани на:

1. Методи за откопување со зарушување,
2. Методи за откопување со пополнување на празните простори,
3. Магацинско откопување,
4. Методи за откопување со отворени откопи.

Сите овие методи имаат повеќе варијантни решенија, зависно од условите во кои се применуваат [1].

При примена на методата за откопување со пополнување на празните простори по откопување на рудното тело истите се пополнуваат со рудничка јаловина од подготвителните работилишта или пак флотациска јаловина збогатена со врзиво средство, донесена од површината.

При примена на флотациска јаловина како материјал за пополнување неопходно е пред пополнувањето на одреден откопан простор истиот да се прегради (ограничи) со барикада. Материјалот за пополнување уште се нарекува и паста, истиот може да биде составен од следниве компонентни: згусната флотациска јаловина, цемент, летечка пепел-производ на термоцентралите и вода.

Постојат неколку типови на барикади кои се користат за да се задржи пополнувањето со паста во откопите, тоа се:

- Сидана барикади од тули;
- Дрвени барикади;
- Преграда од јалови карпи;
- Хибридни барикади што се состојат од куп од јалови карпи (преграда) и над нив прскан бетон;
- Рамни барикади од прскан бетон со арматура (vlakна и/или арматури);
- Лачни (закривени) барикади од прскан бетон.

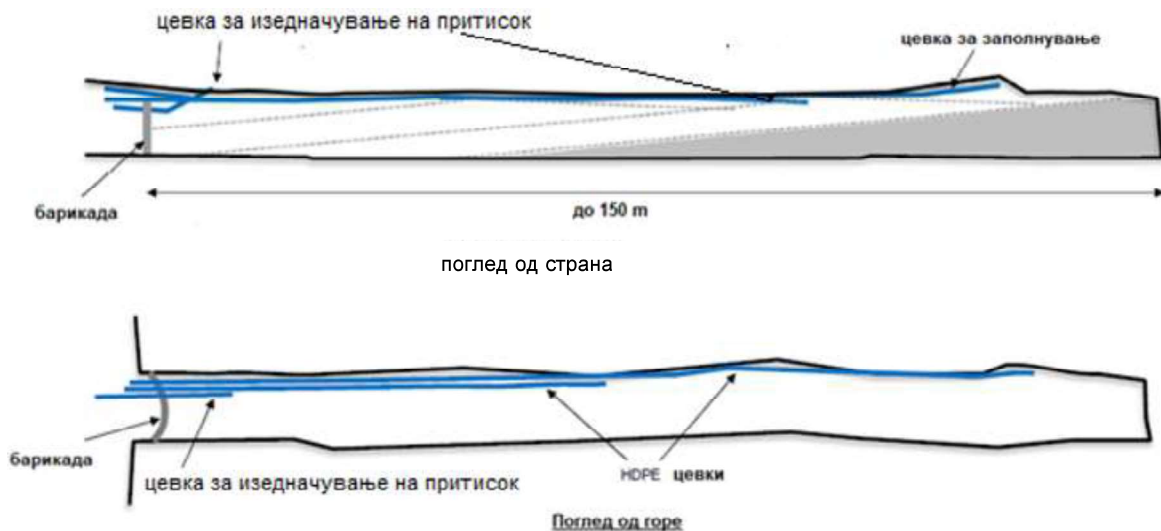
Со исклучок на лачните барикади од прскан бетон, останатите опции имаат или ограничен капацитет или немаат соодветна основа за инженерски дизајн. Најдобра достапна практика во рударството е да се користат прекривни лачни барикади за задржување на свежо поставеното хидраулично пополнување-паста [2].

Барикадите се поставуваат пред да започне пополнувањето, освен нивната изградба во подготвителни работи во оваа фаза спаѓаат и:

- прицврстување на цевките за пополнување,
- цевка за изедначување на притисок,
- поставување на цевките за одводнување на засипот и др.

После зацврстување на барикадата се пристапува кон вградување на засипот во вид на паста.

На почетокот заради проверка на линијата во цевководот ќе се пушта чиста вода, а потоа паста. Инженерот одговорен за пополнувањето на операторот во постројката за производство на паста му ги доставува сите неопходни информации во врска со пополнувањето, како што се: локација на просторот за пополнување, волумен на просторот, содржина на цемент во пастата, потребна цврстина на пастата и др.



Слика 1. Приказ на принципот на вградување на паста за пополнување [2]

## 2. ИЗГРАДБА НА ЛАЧНА БАРИКАДА ОД ПРСКАН БЕТОН

### 2.1. Основни принципи при проектирање на лачни барикади од прскан бетон

Лачните барикади од прскан бетон се супериорни во однос на рамните ѕидани барикади, бидејќи заоблениот профил ја искористува високата цврстина на притисок на прсканиот бетон. Аксијалните сили, развиени во рамките на лакот под притисок, се пренесуваат во карпестата маса, со што преградата работи во притисок, наместо во смолкнување или свиткување.

Потребната дебелина на преградата е функција на големината на откопот и јачината во раната старост на прсканиот бетонот. Постапката што се користи за одредување на оптоварувањата на барикадите и дебелината на прсканиот бетон е следна:

1. Да се одреди  $\sigma_c$  – едноаксијалната притисна цврстина на прсканиот бетон за рана старост - обично на 1, 2, 3 и 4 дена од вградувањето;
2. Да се пресмета максималниот пораст на полнењето за време на почетната фаза на полнење;
3. Да се одреди соодветното оптоварување на барикадата при фактор на сигурност  $f_s = 1,5$  и густина на полнење во форма на кашеста маса [2] [3] [4];
4. Користејќи го оптоварувањето на барикадата и  $\sigma_c$  на прсканиот бетон за дадено време од вградување, треба да се утврди потребната дебелина на преградата претпоставувајќи соодветен фактор на сигурност  $f_s = 1,7$ .
5. Применет е фактор на сигурност на прсканиот бетон од 1,7 за да се земат предвид варијациите на густината на материјалот [2] [4];
6. Се користи аналитички модел за одредување на капацитетот на лачните барикади од прскан бетон. Аналитичкиот модел претпоставува дека оптоварувања на притисок од полнењето се подеднакво распределени низводно од барикадата; а оптоварувањето на притисок во лакот линеарно се намалува со порастот на лакот (Слика 2).
7. Параметарската анализа покажува дека капацитетот на преградата се подобрува со помал радиус на лакот, а капацитетот на преградата се зголемува со зголемување на  $\sigma_c$  на прсканиот бетон (што се зголемува со зголемување на времето од вградувањето).

8. Анализата покажува дека оптималниот радиус на лакот е 0,73 од широчината (распонот) на предградата и оптимална длабочина на лакот е 0,2 од широчината (распонот) на предградата.
9. Се препорачува да се специфицира дебелината на прсканиот бетон на слоеви со дебелина од по 50 mm и да не се користат барикади со дебелина помала од 200 mm.



**Слика 2.** Поедноставен модел на лак изложен на притисок за барикади од прскан бетон (приказ на план) [2] [5]

Овој модел претпоставува дека контактите со карпите имаат мал придонес во капацитетот на барикадата, но сепак пред изградбата на барикадата карпите треба да се исчистат до свежи карпести површини, со цел да се оневозможи протекување на засипот и прекини на сидовите.

## 2.2. Постапката за изградба на барикада

Во првата фаза од изградбата се врши дупчење и поставување на анкерите (сл. 3, а).

Во втората фаза инсталираат вертикални и хоризонтални арматурни прачки (сл. 3, б). Двата краја на прачките, во зависност од дизајнот, се анкерираат во сидот. Во третата фаза се инсталираат цевки за пополнување, цевки за одводнување, цевки за изедначување на притисок (сл. 3, в) и др. Крајот на пластичната цевка за транспорт на паста се позиционира на што е можно повисок дел од откопаниот простор, непосредно блиску до барикадата за да може да се наполни 100% од висината од откопаниот простор. Паралелно на оваа цевка се поставува втора пластична цревка (со произволен дијаметар), едниот нејзин крај е во откопот додека другиот е пред барикадата (двата краја се слободни) и служи за ослободување на вишокот воздух кој ќе се создаде при пополнување на празниот простор и ќе служи како индикатор за пополнетост на просторот. Ако откопот нема вода на средината од барикадата на околу 1,5 до 2 метри се поставува контролно пластично црево за нивото на паста при пополнување. Дренажните цевки се поставуваат доколку во откопот има вода и мораат да се протегат доволно далеку по подот пред барикадата за да не бидат блокирани од отскокнатиот прскан бетон.

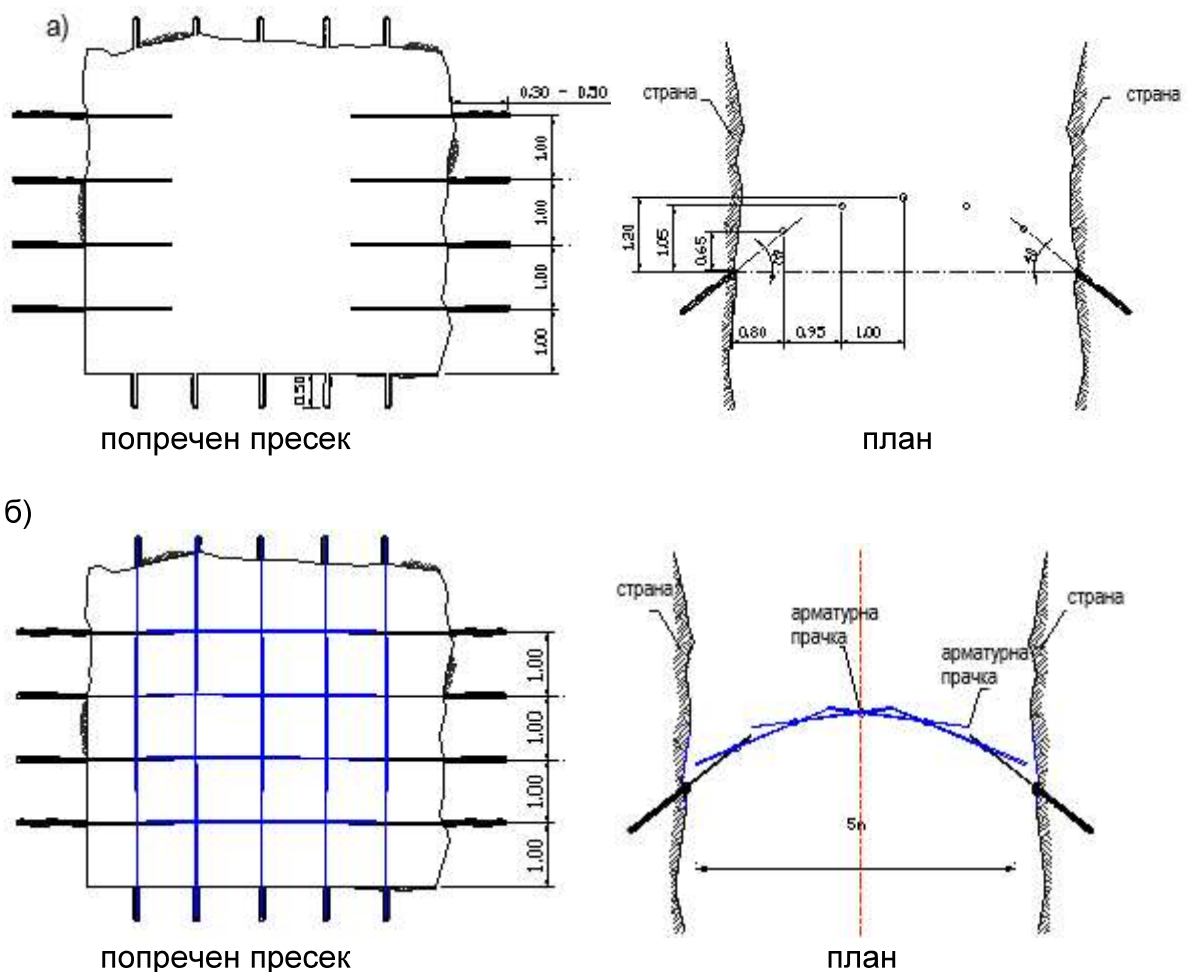
Во четвртата фаза се врзува челична мрежа преку гредите за целосно покривање на отворот, вклучително и рабовите. Над мрежата се прикачува

геотекстил, при што треба да се осигура дека задниот дел и рабовите на страничниот ѕид се целосно покриени, потоа дека врските се тесно распоредени, бидејќи геотекстилот ќе го носи и поддржува прсканиот бетон додека е влажен. Следно се инсталираат мерачи за длабочина (разделници) за да овозможите прскање со дебелина на слој соред спецификациите (сл. 3, г).

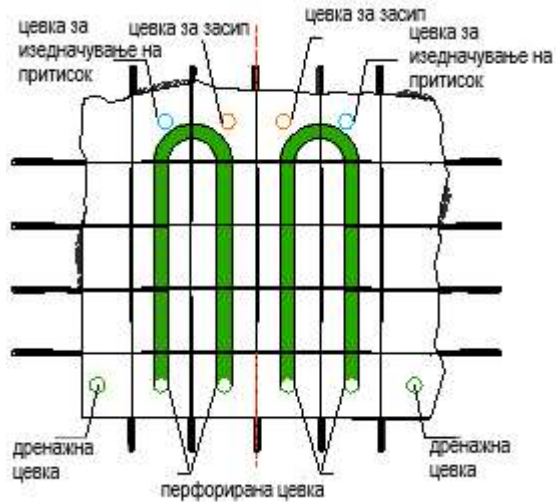
Во петтата фаза се вградува прсканиот бетон. Дебелината на прсканиот бетон мора да биде подеднаква оддолу нагоре следејќи ја кривината, при што треба да се осигура дека прсканиот бетон е добро нанесен околу дренажните цевки, што ќе обезбеди правилно запечатување. Стандардно барање е нанесување на прскан бетон со зголемена дебелина на ѕидните носачи (сл. 3, д).

Задолжително треба да се спроведе проверка на квалитетот пред да се заврши комплетна постапка.

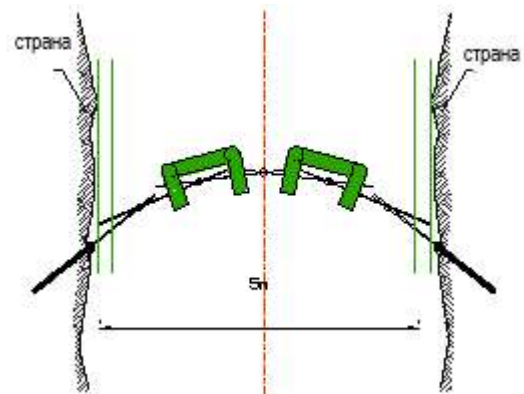
Заполнувањето на откопот со паста се врши после 72 h од изградбата на барикадата [2][5][6].



в)

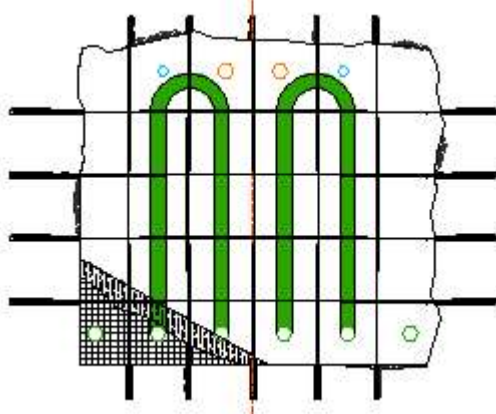


попречен пресек

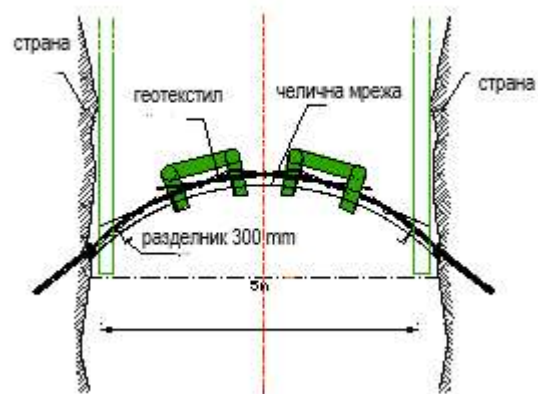


план

г)

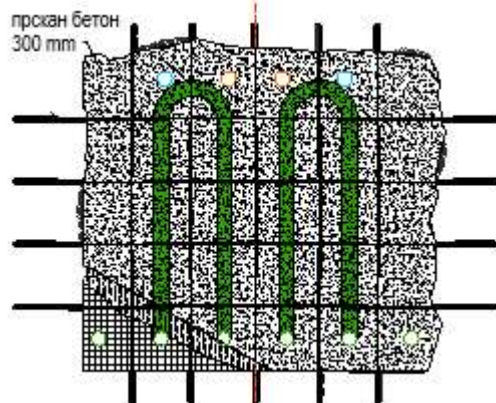


попречен пресек

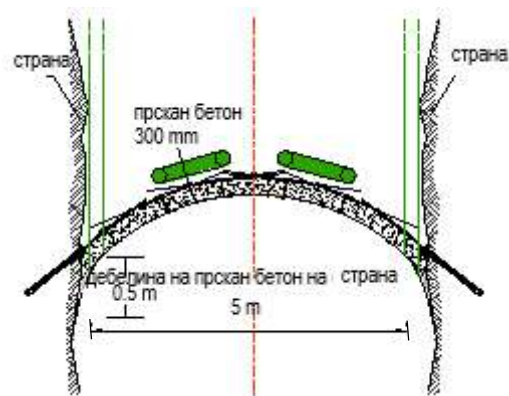


план

д)



попречен пресек



план

**Слика 3.** Фази за изградба на лачна барикада од прскан бетон за распон од 5m [6]: а) Дупчење и инсталирање на анкери; б) Инсталирање на арматурни прачки; в) Инсталирање на цевки за пополнување, цевки за одводнување и цевки за изедначување на притисок; г) Поставување на челична мрежа и геотекстил; д) Вградување на прсканиот бетон

### **3. КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА НА ПРОЕКТИРАНИОТ И ПОТРОШЕНИОТ МАТЕРИЈАЛ ЗА ИЗГРАДБА НА БАРИКАДИ ОД ПРСКАН БЕТОН – СТУДИЈА НА СЛУЧАЈ: РУДНИК „САСА“**

#### **3.1. Општи податоци за примена на методата за откопување со заполнување**

Откопувањето на минералната суровина во ревер „Свиња Река“ со методата за откопување со заполнување според проект [5] ќе се врши на четири нивоа, во зависност од планираната динамика на производство на Рудникот Саса, и тоа: Прво ниво: откопување на интервалот помеѓу хоризонт 750 и меѓухоризонт 800 (кота 802 m);

Второ ниво: откопување на интервалот помеѓу меѓухоризонт 800 и хоризонт 830 (кота 842 m);

Трето ниво: откопување на интервалот помеѓу хоризонт 830 и хоризонт 910 ПЕ (подетажа) - 42 (кота 863 m);

Четврто ниво: откопување над хоризонт 910 ПЕ + 14 (кота 924 m).

Заполнувањето на откопаните простори се врши со засипен материјал - паста, кој е составен од следниве компонентни: флотациска јаловина, цемент и вода. За производство на пастата е изградена посебна постројка.

Погонот за производство на паста е поставен на локацијата на платото во непосредна близина на влезот на стариот Поткоп XIVo, јужно од рудното тело. Локацијата е избрана поради расположливиот слободен простор и близината на порталот на Поткоп XIVb низ кој оди трасата на цевководот за паста.

#### **3.2. Конструктивни материјали за изградба на барикади**

За изградба на металната конструкција од барикадите се користат: анкери од тип SN со должина  $l = 1,2$  m; арматурни прачки со  $\varnothing 22$  mm; челична мрежа од тип Q283; геотекстил (ситна мрежа) позади анкерите која не дозволува прсканиот бетон да помине зад барикадата при вградувањето; цевка за засип тип HDPE со  $\varnothing 150$  mm и отпорност на притисок од 12 bar, цевката за изедначување на притисокот е со произволен дијаметар [6].

За добивање на финален изглед и дизајн на барикадата се користи прскан бетон од класа МБ30, збогатен со синтетички влакна, кој се вградува по мокра постапка [6].

#### **3.3. Компаративна анализа на проектираните и потрошените материјали за изградба на барикади**

Рудник „Саса“ започна успешно со примена на методата за експлоатација со откопување и заполнување на празните простори. Изградени се првите барикади кои претставуваат сигурна преграда за пастата за заполнување.

Во продолжение е прикажана изградбата на пет барикади на подетажа 802/2:

Првата барикада е на геолошки профил 938, површината на попречен пресек на објектот каде е поставена истата изнесува  $17,57$  m<sup>2</sup>. Изградбата на металната конструкција траела неполни два дена, додека вградувањето на прсканиот бетон било завршено за 13 h.

Втората барикада е на геолошки профил 918, површината на попречен пресек на објектот каде е поставена истата изнесува  $16,6$  m<sup>2</sup>. Изградбата на металната

конструкција траела неполни два дена, додека вградувањето на прсканиот бетон било завршено за 16 h.

Третата барикада е на геолошки профил 885, површината на попречен пресек на објектот каде е поставена истата изнесува  $13,31\text{ m}^2$ . Изградбата на металната конструкција траела неполни два дена, додека вградувањето на прсканиот бетон било завршено за 16 h.

Четвртата барикада е на геолошки профил 820, површината на попречен пресек на објектот каде е поставена истата изнесува  $17,1\text{ m}^2$ . Изградбата на металната конструкција траела неполни два дена, додека вградувањето на прсканиот бетон било завршено за 13 h.

Петтата барикада е на геолошки профил 840, површината на попречен пресек на објектот каде е поставена истата изнесува  $19\text{ m}^2$ . Изградбата на металната конструкција траела неполни три дена, додека вградувањето на прсканиот бетон било завршено за 19 h [6].

На слика 4 е даден изгледот на поставената метална конструкција, како и финалниот изглед на барикадата по вградување на прсканиот бетон.



Слика 4. Лачна барикада од прскан бетон, а) метална конструкција, б) финален изглед [6]

Во табела 1 е дадена точната локација на овие барикади, како и предвидените и потрошените материјали за нивна изградба.

Од табелата може да се види дека кај сите прикажани барикади потрошачката на конструктивни материјали е најчесто поголема од тоа што било предвидено. Така од предвидените вкупно 60 анкери за сите пет барикади биле вградени 68. Арматурни прачки било предвидено да се потрошат 120 m, а потрошени се 152 m. Била предвидена потрошувачка на челична мрежа  $104\text{ m}^2$ , а биле потрошени  $174\text{ m}^2$ . Геотекстил било предвидено да се потроши  $121\text{ m}^2$ , а биле потрошени  $177\text{ m}^2$ . Сепак најголеми отстапување има во потрошувачката на прскан бетон. Така од предвидените  $25,21\text{ m}^3$ , биле потрошени  $50,16\text{ m}^3$  прскан бетон, што е скоро 100 % повеќе.



**Табела 1. Проектирани и потрошени материјали при изградба на барикади од прскан бетон [6]**

Ознака на барикада	Координати на локација	Димензии на попречен пресек	Анкери / Арматурни прачки		Челична мрежа / Геотекстил		Дренажни цевки / Цевки за полнење / Цевки за изеднач. на притисок		Количина на прскан бетон		Мин.дебелина на нанесен прскан бетон	
			Проект. [br.]	Потрош. [br.]	Проект. [m <sup>2</sup> ]	Потрош. [m <sup>2</sup> ]	Проект. [br.]	Потрош. [br.]	Проект. [m <sup>3</sup> ]	Потрош. [m <sup>3</sup> ]	Проект. [cm]	Потрош. [cm]
ПЕ 802/2 ГП 938	x:4664969.3 y:7624345.7 z:802.442	<u>ВИСИНА</u> 4,3 m <u>ШИРИНА</u> 4,3 m	12 / 24	12 / 25	30 / 36	36 / 41	1 / 1 / 1	1 / 1 / 1	5,27	10,56	30	60
ПЕ 802/2 ГП 918 бр. 28	x:4665853.9 y:7624265.7 z:802.50	<u>ВИСИНА</u> 4,37 m <u>ШИРИНА</u> 4,25 m	12 / 24	16 / 36	18 / 20	30 / 35	1 / 1 / 1	1 / 1 / 1	4,98	10,56	30	63
ПЕ 802/2 ГП 885	x:4665810.5 y:7624256.5 z:802.50	<u>ВИСИНА</u> 4,25 m <u>ШИРИНА</u> 4,28 m	12 / 24	12 / 28	18 / 22	36 / 36	1 / 1 / 1	1 / 1 / 1	3,99	7,92	30	59
ПЕ 802/2 ГП 820	x:4665757.8 y:7624295.3 z:802.189	<u>ВИСИНА</u> 4,522 m <u>ШИРИНА</u> 4,395 m	12 / 24	12 / 27	18 / 18	36 / 40	1 / 1 / 1	1 / 1 / 1	5,27	7,92	30	45
ПЕ 802/2 ГП 840 бр. 29	x:4665787.7 y:7624307.6 z:801.92	<u>ВИСИНА</u> 4,3 m <u>ШИРИНА</u> 4,3 m	12 / 24	16 / 36	20 / 25	36 / 40	1 / 1 / 1	1 / 2 / 1	5,7	13,2	30	69

#### 4. ЗАКЛУЧОК

Имајќи ги предвид се поголемите потеби за металични минерални суровини на светско ниво неопходно е да се применуваат методи за нивна експлоатација кои ќе обезбедат поголемо искористување на рудните резерви, како што е методата за откопување со пополнување на празните простори.

Од друга страна пак искористувањето на флоатациската јаловина, како компонента во пастата за пополнување го намалува негативното влијание врз животната средина.

Барикадите се конструктивни објекти кои го спречуваат слободното движење на пастата и можат да бидат изградени од различни материјали, но светското искуство покажало дека лачните барикади од прскан бетон се најсигуно и најпогодно решение за оваа намена.

Количината на потрошен материјал при изградба на барикадите зависи од површината на профилот на барикадата и висината на откопаниот простор. Овде прикажаниот начин на изградба е поконзервативен и обезбедува коефициент на сигурност 2 до 3.

Поголемата потрошувачка на конструктивни материјали во наведениот случај, имајќи го предвид краткото искуство на работниот персонал, овозможува поголема сигурност на барикадите. Сепак потрошувачката на конструктивните материјали треба континуирано да се следи и анализира. Ова ќе овозможи изградба на сигурни барикади и оптимална потрошувачка на материјали.

#### КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Донева Н. (2014). Принципи во рударството (рецензирана скрипта). Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Македонија;
- [2] Report of Shotcrete Bulkhead Design (2017) Backfill Geotechnical Mining Consultants Pty Ltd, Balwyn North, Australia;
- [3] Li L., Aubertin M. (2009). Horizontal pressure on barricades for backfilled stopes. Part I: Fully drained conditions, Canadian Geotechnical Journal, Volume 46, Issue 1, Pages 37 – 46;
- [4] Veenstra, RL; Zhao, X; Fourie, AB; Grobler, JJ. A comparison of cemented paste backfill shotcrete barricade design methods. Proceeding of the 24<sup>th</sup> International Conference of Paste, Thickened and Filtered Tailings, Australian Centar for Geomechanics;
- [5] Дополнителен рударски проект за разработка и подземно откопување на рудно наоѓалиште со метода со пополнување помеѓу хоризонтите 750 и 990 во ревиrot Свиња Река, рудник за олово и цинк Саса - М. Каменица, Книга 2: Транспорт и вградување на материјалот за пополнување на откопите (2021), Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип;
- [6] Техничка документација од рудник „Саса“, М.Каменица (2024).