



ЗРГИМ
Здружение на
рударски и
геолошки инженери
на Р. Македонија

XIII TO СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

Технологија на подземна и површинска експлоатација на
минерални сировини

ПОДЕКС – ПОВЕКС '22

Охрид
14 – 16. 10. 2022 год.

ПРИМЕНА НА МЕТОДИТЕ ЗА ОТКОПУВАЊЕ СО ЗАПОЛНУВАЊЕ НА ОТКОПАНИТЕ ПРОСТОРИ ВО ПОДЗЕМНИТЕ РУДНИЦИ ЗА МЕТАЛИ ВО МАКЕДОНИЈА

Зоран Десподов¹, Сојанче Мијалковски¹

¹Универзитет „Гоце Делчев“, Факултет за природни и технички науки,
Штип, Р. Северна Македонија

Апстракт: Во овој труд е презентирана примената на методите за откопување со пополнување на празните простори во подземните рудници за метали во Република Северна Македонија од аспект на: видот на користениот засипен материјал, применетата механизација за извршување на рударските операции, како и постигнатите производни резултати.

Клучни зборови: метода за кровно откопување со пополнување, цврст засип, хидрауличен засип, паста.

APPLICATION OF BACKFILLING METHODS IN UNDERGROUND METAL MINES IN MACEDONIA

Zoran Despodov¹, Stojance Mijalkovski¹

¹University “Goce Delcev”, Faculty of Natural and Technical Sciences, Stip,
R. of North Macedonia

Abstract: This paper presents the application of excavation methods by filling the empty spaces in the underground mines for metals in the Republic of North Macedonia from point of view: the type of backfill material used, the applied mechanization for performing the mining operations, as well as achieved production results.

Keywords: cut and fill mining method, rock waste, hydraulic fill, paste fill.

1. ВОВЕД

Еволуцијата на технологијата на откопување со пополнување на откопаните простори (Cut and Fill) е тесно поврзана со видот и карактеристиките на материјалот употребен како засип. Тргувајќи од јаловиот материјал добиен при изработката на подготвителните објекти – сув засип, отпадниот материјал добиен од флотациските постројки – хидрозасип, потоа цементниот хидрозасип,

денес во експанзија е примената на засип во вид на густа смеса т.н. паста, [1], [5].

Во трудот е презентирана примената на методите за откопување со пополнување на откопаните простори во рудниците за олово цинк во Р.С.М од аспект на користениот материјал за пополна. Несомнено е дека за усовршувањето на оваа технологија на откопување свој придонес има и развојот односно модернизирањето на рударската механизација за дупчење, како и товарење и транспорт на ровната руда и самио засип.

Со развојот на овие методи дојде до зголемување на производните учиноци и капацитети, намалување на производните трошоци, зголемен е степен на безбедност при извршувањето на рударските операции и заштита на животната средина.

2. ОСНОВНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА МЕТОДИТЕ ЗА ОТКОПУВАЊЕ СО ЗАПОЛНУВАЊЕ НА ОТКОПАНИТЕ ПРОСТОРИ (CUT AND FILL MINING METHODS)

Методите со пополнување на откопаните простори се применуваат за откопување на различни форми на правилни и неправилни рудни наоѓалишта, со апофизи, тектонски пореметени наоѓалишта, рудни тела со јалови вклучувања, многу тенки рудни жици и сл. Рудата треба да биде цврста, а боковите се најчесто со послаба цврстина. При тенките наоѓалишта падниот агол треба да биде 60°, а кај подебелите тој може да биде и помал.

Кај овие методи постојат две основни варијанти, и тоа: откопување по протегање на наоѓалиштето и попречно на протегањето на наоѓалиштето. Меѓутоа, постојат и различни модификации на методата, кои меѓусебно се разликуваат според начинот на пополнување, применетата механизација за товарење и одвоз на рудата од откопите, начинот на дупчење и сл. Подградување на откопите најчесто не се врши, освен во некои делови каде кровот или боковите се склони на зарушување. Ова делумно подградување најчесто се врши со анкери и прскан бетон.

Предности на методите:

- големо и искористување на рудата од наоѓалиштето,
- безбедно извршување на работните операции,
- мал коефициент на подготвителни работи,
- ниско осиромашување на рудата при откопувањето,
- стабилизирање на карпестиот масив од геомеханички аспект,
- еколошки прифатлива технологија поради враќање на јаловината, се елеминираат хидројаловиштата.

Недостатоци на методите:

- високи трошоци при откопувањето,
- помали производни капацитети поради дополнителната фаза за пополнување,
- се откопуваат наоѓалишта со повисока содржина на метал, и
- потреба од изградба на дополнителна постројка за подготовка на засип.

3. ТЕХНИЧКИ ОПИС НА ПРИМЕНЕТИТЕ МЕТОДИ СО ЗАПОЛНУВАЊЕ НА ОТКОПАНИТЕ ПРОСТОРИ

3.1. Метода за кровно откопување со пополнување на празните простори со сув засип

Оваа откопна метода е наречена Злетовска откопна метода и таа се применува од почетокот на експлоатација на рудното наоѓалиште “Злетово”.

Кај оваа откопна метода рудата се откопува во хоризонтални појаси почнувајќи од дното на рудниот блок и напредувајќи нагоре. Минираната руда се потоварува и комплетно отстранува од откопот. Кога еден хоризонтален појас на руда се откопа, соодветниот волумен на празниот простор се пополнува со јалов материјал, кој служи како потпора на ѕидовите и како подлога од која ќе се откопува следниот хоризонтален појас (слика 1).

Заполнувачкиот материјал се состои од јалови карпи од подготовката, и истиот се дистрибуира механички преку целокупната зона на откопот.

Методата за хоризонтално кровно откопување со пополнување со сува пополна се применува за откопување на наклонети рудни жици со релативно висока вредност на рудата. Оваа метода нуди одредени предности во споредба со останатите методи (подетажна со отворени откопи и магацинска) во случај на селективна експлоатација. Таа може да се прилагоди за откопување на рудни жици со неправилни и дисконтинуирани контури за да се искористат деловите со висока содржина на метал и остават деловите со пониска содржина.

Димензиите на рудниот блок изнесуваат:

- должина 50 ÷ 60 m
- височина 50 ÷ 60 m.

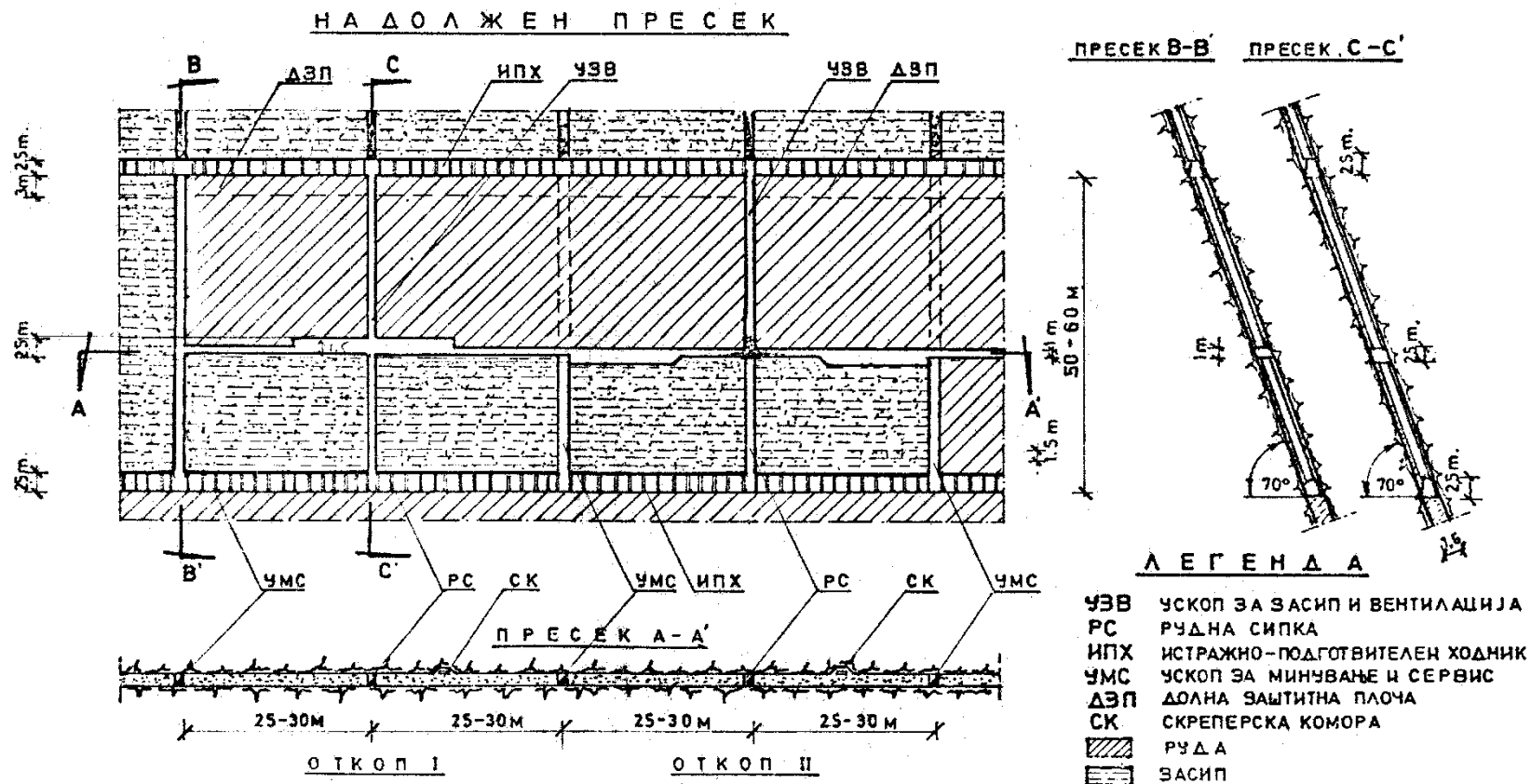
Карактеристики на рудното тело/рудната жица:

- паден агол 60 ÷ 70°
- дебелина 1.6 ÷ 4 m.

Подготовката за откопување (слика 1), содржи:

- 1.Транспортен ходник изработен во рудната жица.
- 2.Подсекување на рудната жица, обично 2.5m над транспортниот ходник.
- 3.Кратки ускопи за премин на работниците и рудни сипки (слика 1), изработени од транспортниот ходник до потсекот.
- 4.Ускоп за поврзување со повисокиот хоризонт, кој служи за вентилација и достава на сув засип.

ШЕМА ЗА МЕТОДАТА ХОРИЗОНТАЛНО КРОВНО ОТКОПУВАЊЕ НА ТЕНКИ РУДНИ ЖИЦИ
СО ЗАСИПУВАЊЕ ВО РУДНИЦИТЕ
З Л Е Т О В О'

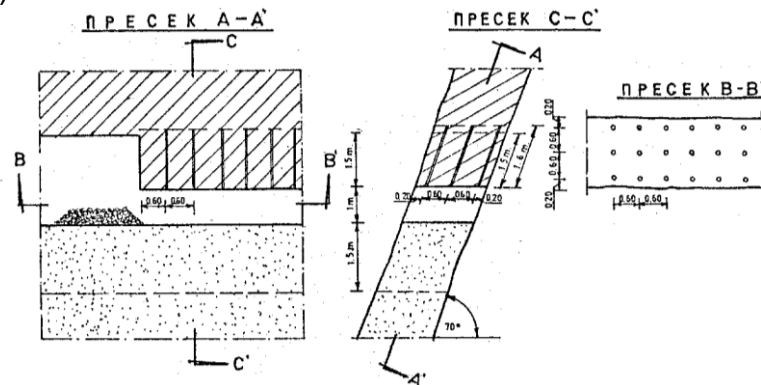


Слика 1. Метода за хоризонтално кровно откопување со пополнување на откопите



Слика 2. Изградба на рудни сипки во засип

Хоризонталниот појас кај методата со потсекување и пополнување може да биде дупчен на два начини, со хоризонтални мински дупки и со вертикални мински дупки (слика 3).



Слика 3. Мински дупкотини за соборување на рудата при методата со пополнување со сув засип

За дупчење на минските дупкотини се користат рачни дупчечки чекани: Atlas Copco BBD 91, Sig 23, RK 28 и Falcon.

Имајќи во предвид дека пополнувачкиот материјал со состои од парчиња карпи, тие често пати се распоредуваат во откопот со скрепери (слика 4). Алтернатива на скреперот посебно при откопување на дебели рудни жици се самоодните товарно-транспортна машина Savo 310 и T2GH. Со овие машини се врши транспорт на рудата од челото до рудните сипки.



Слика 4. Електричен скрепер за развлекување на засипниот материјал во откопите

Техничко - економски параметри на откопувањето:

При откопување на тенки рудни жици со паден агол од 45⁰ до 90⁰ со оваа откопна метода се постигнуваат следните техничко - економски параметри:

▪ Осиромашување на рудата (Ос)	15 %
▪ Искористување на рудата (Ис)	98 %
▪ Коефициент за подготвителните работи (Кр)	19.04 mm/t
▪ Капацитет на откопите (Q)	44 t/den
▪ Интензитет на откопувањето (Ин.)	66 t/m ² god.
▪ Просечен учинок за подготовка, откопување и засипување	3.30 t/nad.
▪ Оперативни трошоци (C _o)	18.95 \$/t

3.2. Метода за кровно откопување со пополнување на празните простори со хидрауличен засип

Во рудникот за производство на оловно-цинковна руда “Саса” односно ревиорот “Голема Река” од 1993 год., се применуваше метода за откопување во хоризонтални појаси и пополнување на откопаните простори со хидрозасип од флотациска јаловина (слика 5). Пополнувањето на откопаните простори беше неопходно, затоа што рудното тело се наоѓа под капиталните објекти: флотација, индустриски круг и хидројаловиштето, за кои и по завршетокот на експлоатацијата е неопходно да се обезбеди целосна сигурност од деформации и зарушување на тлото, [2].

Хидрозасипот се подготвуваше со циклонирање на флотациската јаловина во посебна постројка за подготовка на хидрозасип, лоцирана во непосредна близина на постројката за преработка на минералните суровини (слика 6).

Имајќи ја во предвид локацијата на рудното тело, хидрозасипот до откопите се транспортираше по гравитациски пат низ цевководи, така што 1 m³ хидромешавина содржи:

- циклонирани песок од флотациска јаловина, d=0.197 mm	1039.8 kg/m ³
- вода	693.2 kg/m ³

Мешавината песок – вода е со тежинска концентрација C_z = 0.6 и густина $\gamma_m = 1.733 \text{ t/m}^3$.

Методата ги има следниве основни карактеристики:

Должината на рудниот блок е 100 m, за дебелина на рудното тело до 10 m, а за дебелина над 10 m се применува попречно откопување со комори 20 x 20 m и столбови од 6 m.

Подготовката за откопување (слика 1), содржи:

- 1.Транспортен ходник изработен во подината на рудното тело.
- 2.Изработка на откопна рампа и пристапни ходници до рудното тело на секои 3 метри по височина.
- 3.Изработка на централен ускоп за хидрозасип и вентилација.
- 4.Изработка на рудна сипка.
- 5.Подсекување на рудното тело по целокупната широчина на ниво транспортниот ходник.
- 6.Изработка на кратки ускопи за вентилација и одводнување од пристапните ходници на ниво на транспортниот ходник до потсекот.

Дупчењето се извршува со електро-хидраулични дупчалки хоризонтално-кровно, со машини тип BOOMER 251 и 252H, со должина на минските дупки од 2.70 m, а минирањето се извршува со гранулиран ксплозив. Од едно минирање

се добиваат 350 ÷ 500 тони руда. Вкупната висина на откопот е 4.5 m, при што со хидрозасип се пополнува висина од 3 до 3.5 m, а височината од 1 до 1.5 m, е празна заради вентилација на откопите.

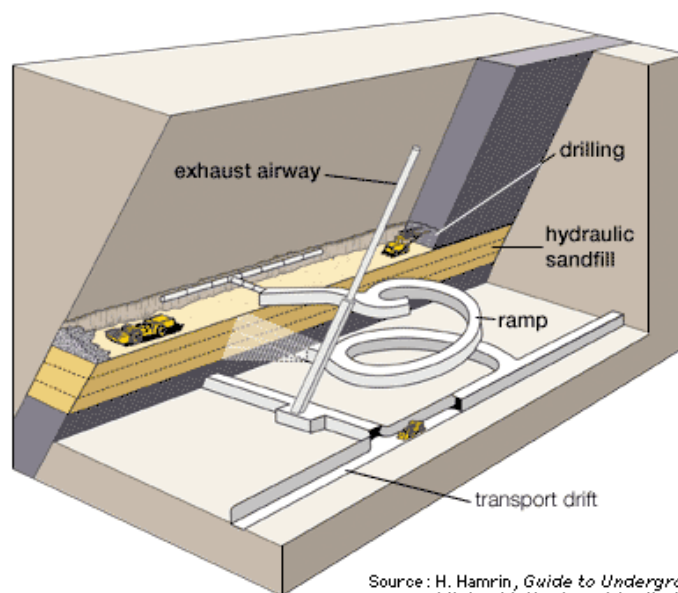
Товарењето и транспортот на рудата до рудните сипки се извршува со самоодни дизел товарчи, тип GHH-LF 4.1, со зафатнина на лажицата од 2 до 3 m³ и носивост од 4 до 6 t.

По вградувањето на хидрозасипот и неговото исцедување, продолжува фазата на дупчење и минирање, како и товарење и одвоз на рудата во следниот хоризонтален појас.

Техничко - економски параметри на откопувањето:

При откопување на рудни тела со паден агол од 45⁰ до 50⁰ и дебелина од 10 m со оваа откопна метода се постигнуваат следните техничко - економски параметри:

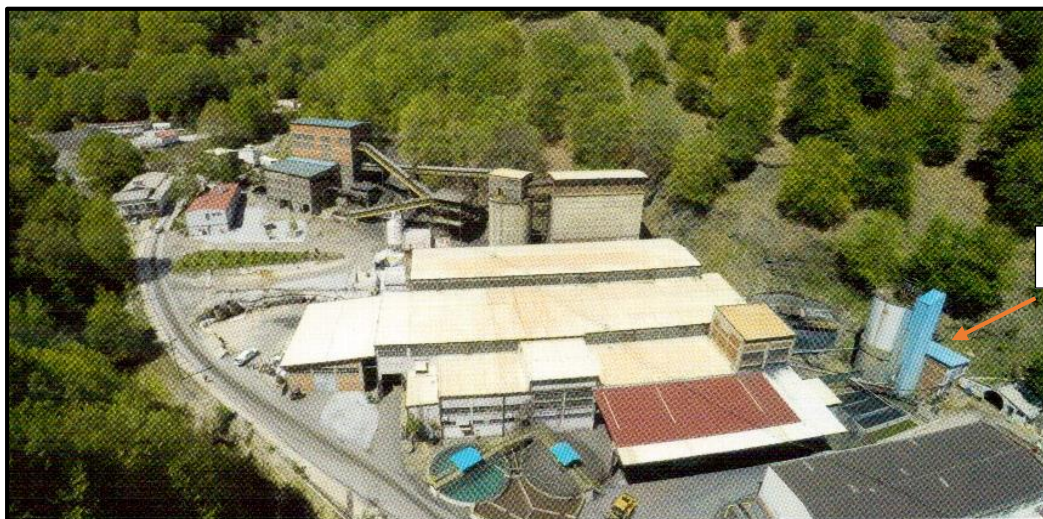
▪ Осиромашување на рудата (Os)	12 %
▪ Искористување на рудата (Is)	95 %
▪ Коефициент за подготвителните работи (Kp)	2.51 mm/t
▪ Капацитет на откопите (Q)	758 t/den
▪ Интензитет на откопувањето (In.)	50 t/m ² god.
▪ Просечен откопен учинок (Uo)	28 t/nad.
▪ Оперативни трошоци (Co)	16.05 \$/t



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

Source: H. Hamrin, *Guide to Underground Mining Methods and Applications* (Stockholm: Atlas Copco, 1997)

Слика 5. Метода за хоризонтално кровно откопување и пополнување на откопите со хидрозасип



Постројка за хидрозасип

Слика 6. Локација на постројката за подготовка на хидрозасип во Рудникот “Сага”, ревер “Голема Река”

3.3. Метода за кровно откопување со пополнување на празните простори со засип во вид на паста

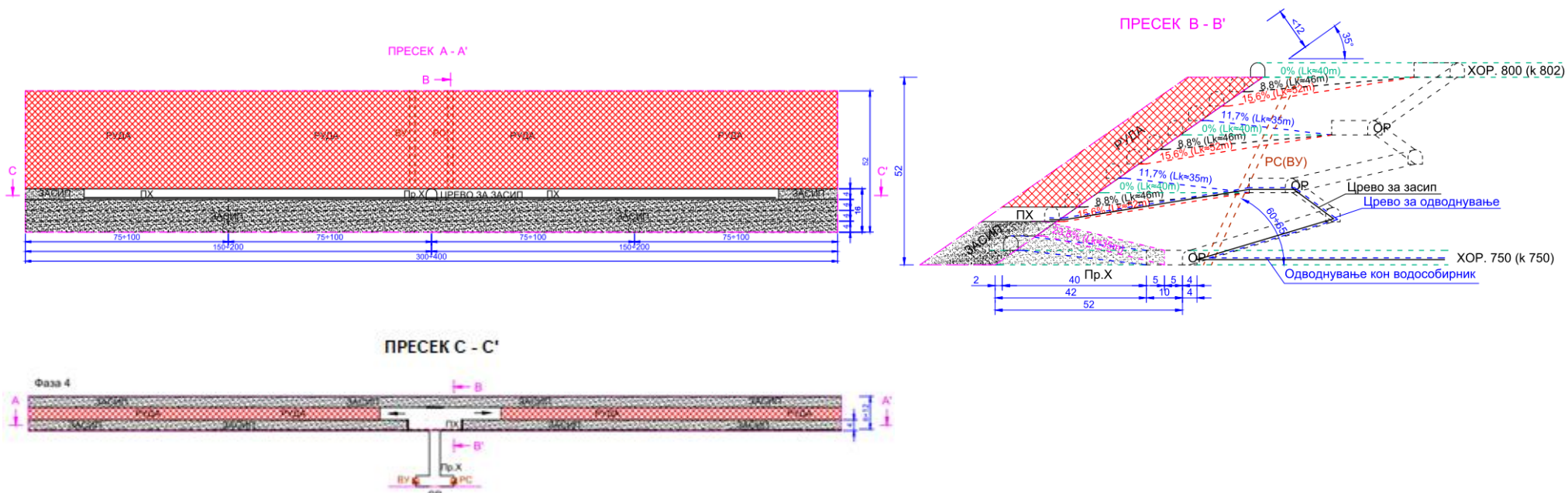
Рудното наоѓалиште за олово и цинк “Свиња Река” во интервалот помеѓу хоризонтите 990 и 750, каде е проектирана метода за откопување со ходници и пополнување на откопаните простори со густа мешавина – паста (слика 7), представува континуирана оруднета зона со следните основни параметри:

- должина 900 m,
- широчина од min 4.5m до max 30 m, или средно 17.2 m, и
- агол на наклон од $30^\circ \div 45^\circ$, средно $(37.5)^\circ$.

Оруднувањето ќе биде поделено на три рудни блокови со димензии 300 x 50 m.
Подготвителни работи

Подготовката на откопниот блок со должина од 300 m е предвидена со следните подземни рударски објекти:

- Откопна сервисна рампа, лоцирана во подинските шкрилци, на оддалеченост од 20-30 m, со наклон од 15% и попречен профил 4 x 4 m. Нејзината намена е за отворање на хоризонталните појаси на висина од 20 m, сервисирање на откопот, пристап со механизација и др.
- Пристапни ходници, лоцирани во подината на оруднувањето и тие се врската на откопната рампа со: откопите, рудната сипка и ускопот за вентилација.
- Ускопи за вентилација, лоцирани исто така во подината, централно на откопниот блок во јаловите карпи, со профил 2 x 2 m, наклон 60° и должина 56 m.
- Рудни сипки, лоцирани во подината, централно на откопниот блок и непосредно поврзани со пристапните ходници. Нивната должина изнесува 56 m, наклонот 60° , а димензиите на профилот 2 x 2 m.



Слика 7. Шема на методата за откопување со ходници и пополнување на откопаните простори со паста (Drift and Fill Mining Method)

Детали на процесот на откопување

Откопувањето започнува од хоризонт 750 со изработка на пристапниот ходник, и Смерен попречен откопен ходник кој ја пресекува дебелината на рудното тело. Со тоа откопниот блок се дели на два полублока со динезии од 150 m. Потоа се врши изработка на Смерен откопен ходник во кровинскиот дел на оруднувањето до границата на откопниот блок. Димензиите на откопните ходници изнесуваат 4 x 4 m. Ако станува збор за тенки рудни тела со дебелина до 8 m тогаш се изработува еден смерен ходник, а остатокот од рудата се откопува на повлекување кон пристапниот ходник. Доколку станува збор за подебели рудни тела, со дебелина над 8 m, во тој случај се изработуваат три и повеќе смерни ходници, со тоа што откопувањето се врши преку еден ходник, на кој начин се остава заштитен столб. Кај пречниот откопен ходник се изработува барикада и се врши пополнување на кровинскиот смерен ходник со засип во вид на паста. За експлоатационо дупчење се предвидени дупчалки на електрохидрауличен погон, со должина на минските дупчотини од 3 m при изработката на откопните ходници.

Полнење и минирање: Во досегашната пракса се користени прашкасти емулзиони експлозиви, а иницирањето се врши со нонел детонатори.

Товарење и транспорт на откопите: Предвидени се дизел товарно транспортни машини (LHD), производство на компанијата Еригос, со зафатнина на лопатата од 2.8 m³.

Засипување на откопаните простори

Заполнувањето на откопаните простори ќе се врши со засипен материјал во вид на паста-кашеста материја (слика 8), кој е составен од следниве компонентни: флотациска јаловина, цемент и летечка пепел-производ на термоцентралите. За производство на пастата ќе биде изградена посебна постројка. Погонот за производство на паста (слика 10), ќе биде поставен на платото во непосредна близина на влезот на стариот Поткоп XIVo, јужно од рудното тело (слика 9). Локацијата е избрана поради близината на влезот/порталот на Поткоп XIVb низ кој ќе се води трасата на цевководот за паста и расположливиот простор.

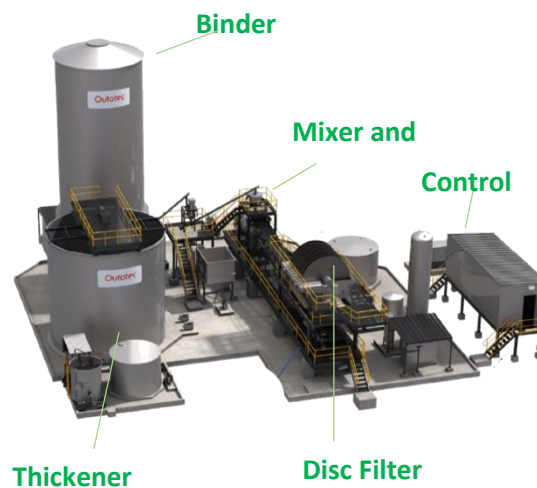


Слика 8. Детали од разводот и одлагањето на пастата во откопите



Слика 9. Локација на Постројката за производство на паста

Јаловината добиена од флотација ќе се згуснува, првично треба да се исцеди пред да се филтрира, [3]. Филтрираната смеса ќе оди или на депонијата за суво одлагање или во погонот за производство на засипна паста. Смесата што ќе влегува во погонот за производство на паста ќе се меша со вода и врзивно средство (цемент и летечка пепел) за да се направи засипна паста, [4]. Пастата ќе се пумпа во јама со помош на пумпи со позитивно поместување. Постројката за подготовка на пастата е прикажана на слика 10.



Слика 10. Постројка за подготовка на паста (Source P&C)

За да се покријат сите откопни зони каде што ќе се примени Методата на откопување со заполнување, потребно е да се инсталираат околу 7.5 km цевковод и 1 km дупчотини. Капцитетот на заполнување ќе изнесува 70 m³/h и пастата ќе се транспортира низ челични цевки (6 инчи и притисок од 13 бари). Доставата на засипот од Засипната станица до откопите ќе биде регулирана со систем за автоматска регулација – SCADA систем.

Системот за одводнување на засипот во откопите ќе се врши низ ускопите за вентилација и одводнување (слика 7), така што водата ќе се испумпува на хор.830, од каде ќе биде преземена од главниот систем за одводнување на рудникот.

Техничко - економски параметри на откопувањето:

При откопување на рудни тела со паден агол од 45⁰ до 50⁰ и дебелина од 17.2 m со оваа метода се постигнуваат следните техничко - економски параметри:

▪ Осиромашување на рудата (Os)	13 %
▪ Искористување на рудата (Is)	98 %
▪ Коефициент за подготвителните работи (Кр)	2.22 mm/t
▪ Капацитет на откопите (Q)	415 t/den
▪ Просечен откопен учинок (U _o)	28 t/nad.
▪ Оперативни трошоци (C _o)	53.78 \$/t

4. ЗАКЛУЧОК

Со примена на методите за откопување со пополнување на откопаните простори во главно се постигнуваат следниве цели, и тоа:

- обезбедување на долгорочна регионална стабилност на карпестиот масив, посебно при експлоатација на длабоки рудни наоѓалишта,
- намалување на димензиите на откопите кои се изложени на подземни притисоци,
- рационално искористување на минералните суровини,
- одлагање на јаловината односно елиминирање на скапите хидројаловишта и задоволување на еколошките стандарди при затворањето односно ликвидацијата на рудниците.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Десподов,З.,Мијалковски,С.: *Паста – совршен материјал за пополнување на подземните откопани простори*, IV^{то} Стручно советување со меѓународно учество ПОДЕКС'10, СРГИМ, 12-13 ноември, 2010.
- [2] Despodov,Z.,Mirakovski,D.,Zivanovic,J.: Exploitation of the ore deposit Golema Reka with minimum rock mass damage and protection of the main mining works, 4th International Symposium Mining and Environmental Protection, Faculty of Mining and Geology-Belgrade, Vrdnik, 2003.
- [3] Potvin,Y., Thomas,E., Fourie,A.: *Handbook on Mine Fill*, ACG, Nedlands, 2005.
- [4] Yilmaz,E., Mamadou, F.:*Paste Tailings Management*, ISBN 978-3-319-39680-4, 2005.
- [5] Kostovic, M.: *Paste backfill materials for underground mining – some experiences in Serbia – Part I, Underground mining engineering*, Vol.35, Faculty of Mining and Geology, Belgrade, 2019.