

ПРЕГЛЕД ТЕХНИЧКИХ РЕШЕЊА ЗА
ПОДЗЕМНИ РУДНИК У ПРОЈЕКТУ „ЈАДАР“

REVIEW OF TECHNICAL SOLUTIONS FOR
UNDERGROUND MINE IN PROJECT „JADAR“

DOI: 10.5937/RG2402073P

Стручни рад
Expert Paper

Огњен Поповић¹

Саша Јовановић²

¹ Рударски институт д.о.о. Београд

² Факултет техничких наука,

Универзитет у Приштини, Косовска Митровица

ognjen.popovic@ribeograd.ac.rs

Ognjen Popović¹

Saša Jovanović²

¹ Рударски институт д.о.о. Београд

² Faculty of Technical Sciences,

University of Priština, Kosovska Mitrovica

ognjen.popovic@ribeograd.ac.rs

Примљен 5. јуна 2024; Рецензиран 6 децембра 2024; Прихваћен 9 децембра 2024.
Received 5 June 2024; Received in revised 6 Decembre 2024; Accepted 9 Decembre 2024

Сажетак: Пројекат „Јадар“ је већ неко време у центру пажње, не само у Србији, већ и у Европи. Многе информације су тренутно непознате, што узрокује бројне погрешне интерпретације, као и изношење у јавност информације које нису проверене. Овај рад ће се фокусираати на предлоге техничких решења за подземни рудник, која укључују отварање рудника, припремне просторије, методе откопавања, утовар и транспорт до површине, као и све додатне информације повезане с овим чињеницама, које су потврђене званичним документима објављеним од стране инвеститора или организација повезаних с њима. Овај рад неће обухватати никакву процену утицаја на животну средину и фокусираће се искључиво на инжењерска решења за подземни рудник.

Кључне речи: ПОДЗЕМНА ЕКСПЛОАТАЦИЈА, ЛИТИЈУМ, БОР, ПРОЈЕКАТ „ЈАДАР“

Abstract: Project “Jadar” has been center of attention for some time now, not just in Serbia, but in Europe. A lot of information is unknown currently, which causes a lot of misinterpretation, as well as some information that is unverified. This paper will focus on propositions of technical solutions given for an underground mine, which includes underground opening infrastructure, development work, preparation underground rooms, excavation method, load and transport method to the surface and all additional information connected to these facts, that are verified by official documents published by investors or organizations associated with them. This paper will not include any type of environmental impact assessment and will solely focus on engineering solutions for the underground mine.

Key words: UNDERGROUND MINING, LITHIUM, BORON, PROJECT „JADAR“

УВОД

Пројекат „Јадар“ је планиран да се реализује у западном делу Србије, близу града Лознице. Укупна површина потребна за

INTRODUCTION

Project “Jadar” is planned to be realized in western part of Serbia, near city of Loznica. The total area needed for mining activities is

рударске активности износи 854,8 хектара, што укључује инфраструктуру за приступ руднику, површинске објекте и сам подземни рудник. Само рудно лежиште је веома специфично, са ендемским минералом јадаритом ($\text{LiNaSiB}_3\text{O}_7(\text{OH})$) као носиоцем овог лежишта. Из хемијске формуле може се видети да је то минерал литијума и бора, који су оба веома вредна у данашње време.

У распореду, лежиште има површину од 12 km^2 , у којем су означена три нивоа (слоја) са јадаритом. Ове зоне се састоје од рудних тела која садрже јадарит, која су слојевито-сочивастог облика, са дубинама од 250-750 m. [1]

Дебљина рудних тела разликује се од једног до другог, али се генерално креће од 3,5 до 10 метара у вишим слојевима, са 10 до 50 метара у најнижем слоју, који је економски интересантан за ископавање. Количина истражених билансних минералних резерви износи 158647256 тона, са просечним садржајем Li_2O – 1,8% и B_2O – 14,8%.

ПРИПРЕМНИ РАДОВИ

Просечна годишња производња рудника је 1,6 милиона тона, са максималном производњом од 1,8 милиона тона, што би обезбедило производњу од 286000 тона борне киселине, 58000 тона литијум-карбоната и 259000 тона натријум-сулфата.

С обзиром на то, са просечном дубином рудног тела од око 400 m, усвојен је систем два окна (транспортно и вентилационо) као начин отварања рудника. Транспортно окно је дубине 433,45 m, док је вентилационо окно дубине 380,3 метра. Транспортно окно има пречник од 8,5 m, док вентилационо окно има пречник од 6,5 m. Ова два окна су повезана спојним ходником који обезбеђује вентилацију. Овај ходник је дуг 182,6 m и има попречни пресек са димензијама 8x8 m (10x8 m на делу где је перионица). Ово је приказано на слици 1.

Као што се види на слици 1, основне припремне просторије су направљене као прстен око рудног тела, тако да се могу лако

854.8 ha, and that includes infrastructure for approach to the mine, surface objects for the mine and underground mine itself. Mine deposit is very specific, with endemic mineral jadarite ($\text{LiNaSiB}_3\text{O}_7(\text{OH})$) as a main value of this deposit. It can be seen from chemical formula that it is the mineral of lithium and boron, both very valuable in today's time.

In layout, mine deposit has an area of 12 km^2 , in which are marked three levels (zones) with jadarite. These zones are consisted of ore bodies containing jadarite, which are layered-lens shaped, with depths of 250-750 m. [1]

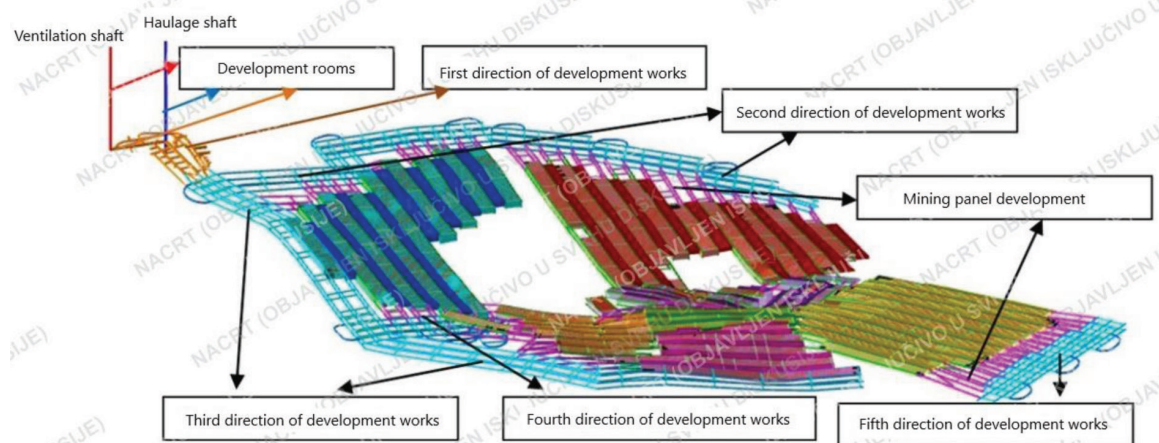
Thickness of ore bodies differ from one to the other, but it is generally around 3.5-10 meters in higher layers, with 10-50 meters in the lowest layer, which is economically interesting for excavation. Quantity of explored balance mineral reserves is 158647256 tons, with average content of Li_2O – 1.8% and B_2O – 14.8%.

DEVELOPMENT WORKS

Average annual production of a mine is planned to be an average 1.6 millions of tons, with maximal production of 1.8 Mt, which would provide production of 286000 t of boric acid, 58000 t of lithium-carbonate and 259000 sodium-sulfate.

Taken that into consideration, with average depth of a ore body at around 400 m, system of two shafts (haulage and ventilation) is adopted as an opening method. The haulage shaft is 433.45 m deep, and ventilation shaft is 380.3 meters deep. Haulage shaft has a diameter of 8.5 m, while ventilation shaft has 6.5 m. These two shafts are connected with snicket gate that secures good ventilation. This gate is 182.6 meters long and has a cross-section with dimensions 8x8 m (10x8 m where the washer is). This can be seen on Figure 1.

As seen from the Figure 1, basic development rooms are made as a ring around an ore body, so that they can be easily expanded into mining panels. Every panel has four development



Слика 1, План рудника

Figure 1, Mine plan

проширити у ревиру. Сваки ревир има четири развојне просторије, две при подини и две при кровини рудног тела.

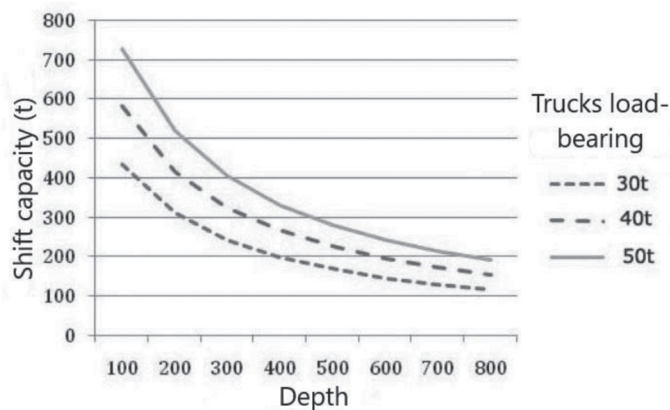
Два главна начина отварања рудника су рампа и вертикално окно. Приликом избора оптималног начина отварања, исплативост је главни фактор одлучивања. Потребно је пронаћи најјефтинији начин за отварање подземног лежишта минералних сировина, али да се задовоље одређени фактори. Главни фактори које треба узети у обзир при избору начина отварања су капацитет рудника и дубина рудног тела. Оба фактора су кључна за прорачун оптималног начина транспорта, а самим тим и за одређивање начина отварања. [2]

Када су камиони средство основног транспорта, капацитет драстично опада са повећањем дубине рудника (Слика 2).

rooms, two next to the footwall and two next to the hanging wall.

Two main ways of opening a mine are ramp and vertical shaft. When deciding for optimal opening method, the economy is the main decider. It is needed to find the cheapest way to open an underground ore body (bodies), but to satisfy some factors. The main factors that are needed to be taken into consideration when deciding method of opening an underground mine is the production of a mine and the depth of an ore body. Both factors are crucial to calculate optimal transport method, and by that to determine the best opening works. [2]

When the basic transport tools are trucks, capacity drastically falls with the depth of a mine (Figure 2).



Слика 2, Промена капацитета камиона са променом дубине

Figure 2, Capacity change with depth change

Са слике 2 види се да је капацитет транспорта камионима за лежишта на дубини од 400 м упола мањи у поређењу са рудним телима на дубини од 100 м. Такође се примећује да камиони са већом носивошћу имају већи дубински лимит на којем је транспорт камионима јефтинији од транспортног скип-окна. Инжењерска пракса генерално прихвата да је транспорт камионима конкурентан до дубине од 300 м и годишње производње од 300.000 тона, што су ниже вредности од оних коришћених у овом пројекту. Важно је помнути и могућност отварања рудника рампом уколико се користи континуално откопавање (или нека друга метода откопавања високог капацитета), чиме је употреба транспортних трака оправдана за аутоматизацију и убрзавање читавог процеса.

Једна ствар која може бити проблематична су димензије спојног ходника који спаја два окна, који се налази на дубини од око 380 м и има димензије 8x8 метара. Ове димензије су прилично велике за ову дубину, али с обзиром на то да нису дати подаци о спецификацији стенске масе, верује се да је процена стабилности стена правилно урађена.

Након завршетка радова на отварању и припреми и успостављања потребног вентилационог система путем пролазног ходника, изводе се радови на развоју рудног тела. Прва фаза обухвата изградњу просторија за приступ при подини, док друга фаза обухвата изградњу просторија за приступ при кровини. Висинска разлика између просторија у подини и просторија у кровини једнака је дебљини рудног тела, што је висина ревира (слике 3 и 4).

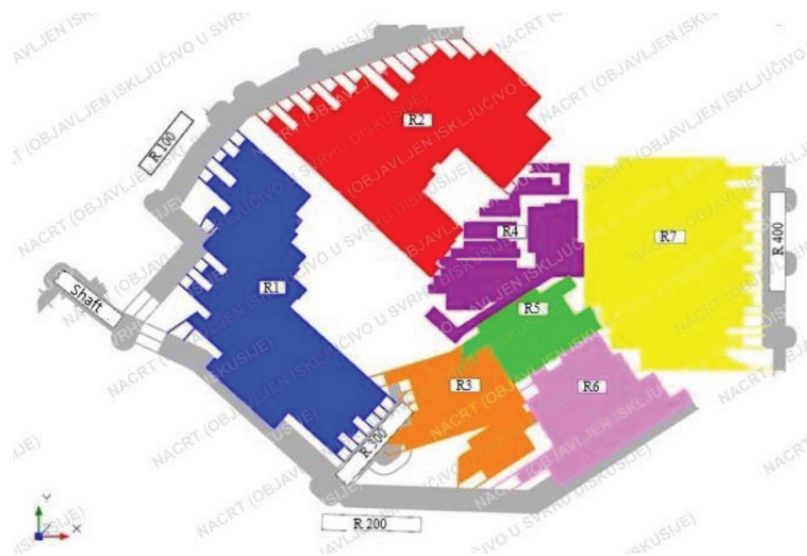
Као што се види, рудно тело је подељено на 7 ревира. Такође је закључено да су припремне просторије паралелне једна другој са висинском разликом која је једнака дебљини рудног тела. Овај развојни систем је познат у рударству, са спојним ходницима за вентилацију, и углавном се користи у експлоатацији угља методом широког чела, када се транспорт угља обавља транспортним тракама (слика 5). [3, 4]

From Figure 2, it is seen that capacity of truck transport for ore bodies at 400 m depth is twice as lower as for ore bodies at 100 m depth. It is also noted that trucks with higher load-bearing have a higher depth limit where the trucks transport is cheaper than skip shaft. It is generally accepted as an engineering practice that truck transport is competitive up to 300 m depth and annual production of 300000 t, which are lower values than values used in this project. Also worth mentioning is the capability of opening a mine with ramp if the mechanical (continual) excavation is used (or some other high capacity mining method), so that usage of conveyor belts is justified to automate and speed up the whole process.

The one thing that can be problematic is dimensions of snicket gate, which is located at around 380 m of depth and has dimensions of 8x8 meters. These dimensions are quite big for this depth, but since no information is given about specification of rock mass, it is trusted that rock stability assessment is correctly done.

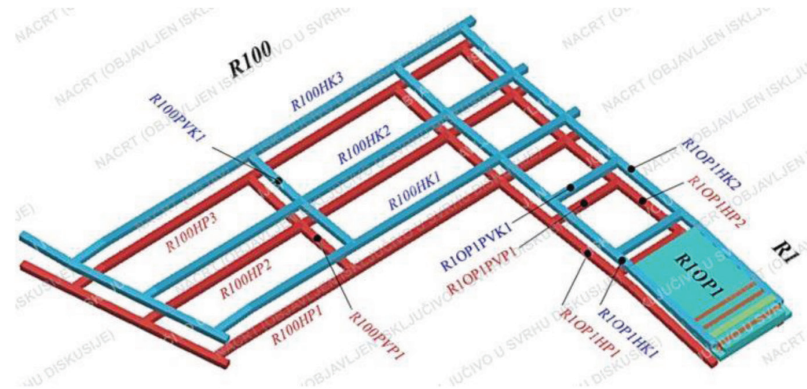
After opening works are done and required ventilation system established by snicket gate, ore body development works are done. The first phase consists of rooms construction to access next to the foot wall, while in the second phase rooms to access next to the hanging wall are constructed. The height difference between foot wall rooms and hanging wall rooms is equal to the thickness of ore body, which is the height of mining districts (Figures 3 and 4).

As seen, ore body is divided into 7 mining districts. It is also concluded that development rooms are parallel to each other with height difference that is equal to the thickness of ore body. This development system is familiar in mining, with connecting gates for ventilation, and it is used mostly in longwall coal mining, when the transport of coal is done by conveyor belts (Figure 5). [3, 4]



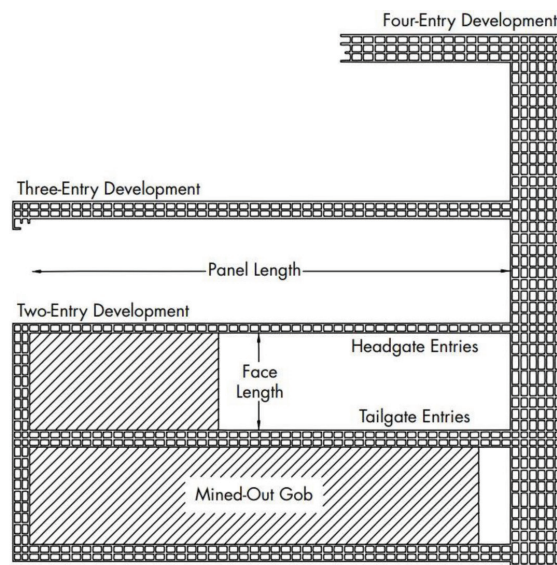
Слика 3, Подела лежишта на ревије

Figure 3, Mining districts



Слика 4, Пријемне просторије при кровини (плава боја) и при једини (црвена боја)

Figure 4, Development rooms next to the foot wall (red) and next to the hanging wall (blue) with mining panel

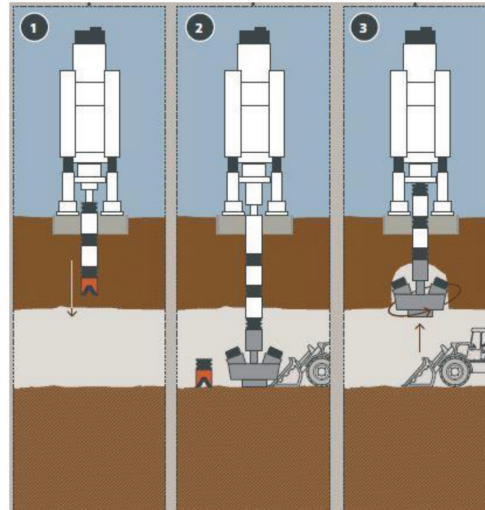


Слика 5, Широко чело и пријемни радови за ојкојавање уља

Figure 5, Longwall coal mining development

Окна су предвиђена да буду изграђена бушењем и минирањем, док ће вентилационе везе (пречника 3 m) бити изграђени “raise boring” методом, слика 6. [5]

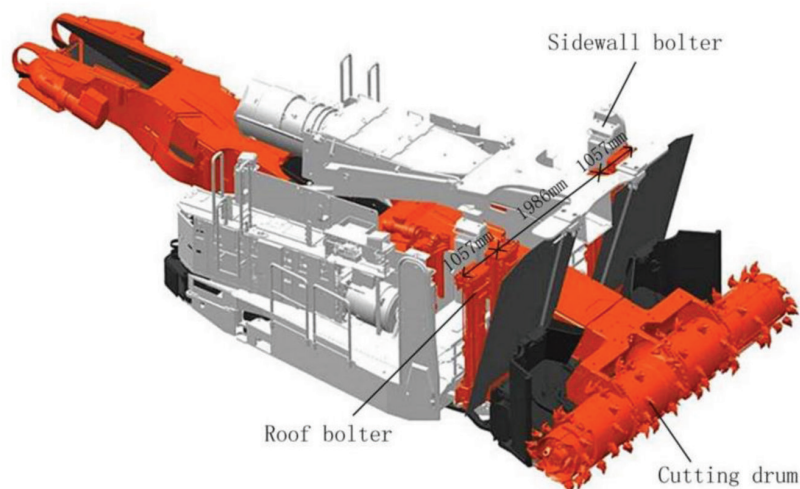
Shaft are predicted to be constructed with drill and blasting technology, while the vertical ventilation gates (diameter 3 m) will be done with raise boring method, Figure 6. [5]



Слика 6, Израда окна „Raise boring” методом
 Figure 6, Raise boring shaft construction

Планирано је да се израда хоризонталних и косих просторија до 15° врши и механизовано и методом бушења и минирања. Све просторије са попречним пресеком 5x5 m биће изграђене помоћу машине Continuous Bolter Miner (CBM) (слика 7). Просторије са мањом ширином биће рађене помоћу Roaheader-а или методом бушења и минирања. Просторије са висином већом од 6,2 m биће изграђене методом бушења и минирања у нивоима. Предвиђена подграда се састоји од анкера, челичне мреже и торкрет бетона.

Construction of horizontal and angled rooms up to 15° is planned to be both mechanized and drill and blasting. All rooms with cross-section 5x5 m would be done by Continuous Bolter Miner (CBM) machine (Figure 7). [6] Rooms with smaller width would be constructed with Roaheader or drilling and blasting. Rooms with height above 6.2 m would be constructed by drill and blasting in levels. Predicted support consists of anchors, steel mesh and guniting.



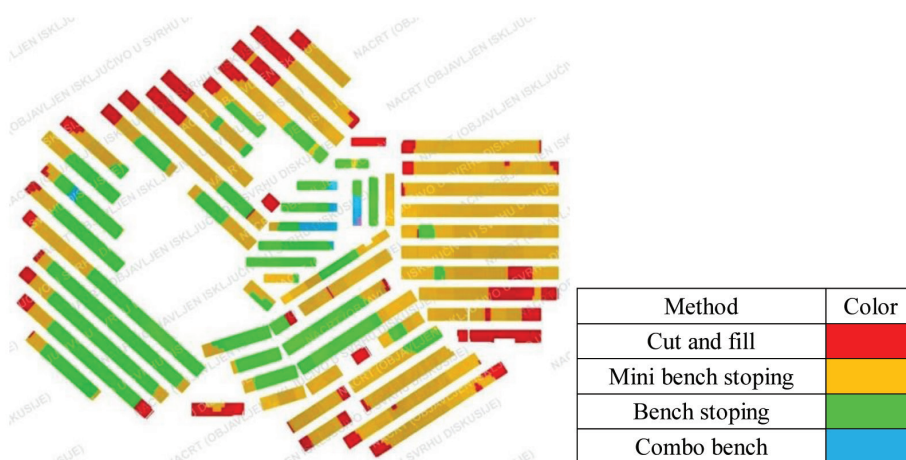
Слика 7, CBM машина фирме Sandvik
 Figure 7, CBM machine of Sandvik company

МЕТОДЕ ОТКОПАВАЊА И ОДРЖАВАЊЕ РУДНИКА

Користиће се неколико метода откопавања, а имплементација ових метода зависи од висине откопа: метода етажног откопавања са засипавањем (3-8 m), метода панелног откопавања са засипавањем са нижим откопима (8-22 m), метода панелног откопавања са засипавањем са вишим откопима (22-32 m) и комбинована метода панелног откопавања са засипавањем (>34 m). Просторна примена ових метода приказана је на слици 8.

EXCAVATION METHODS AND MAINTAINANCE

Several excavation methods will be used, and the implementation of these methods depends on height of a face.: cut and fill (3-8 m), mini bench stoping (8-22 m), bench stoping (22-32 m) and combo bench (>34 m). Spatial application of these methods is shown in Figure 8.



Слика 8, Просторна примена метода откопавања

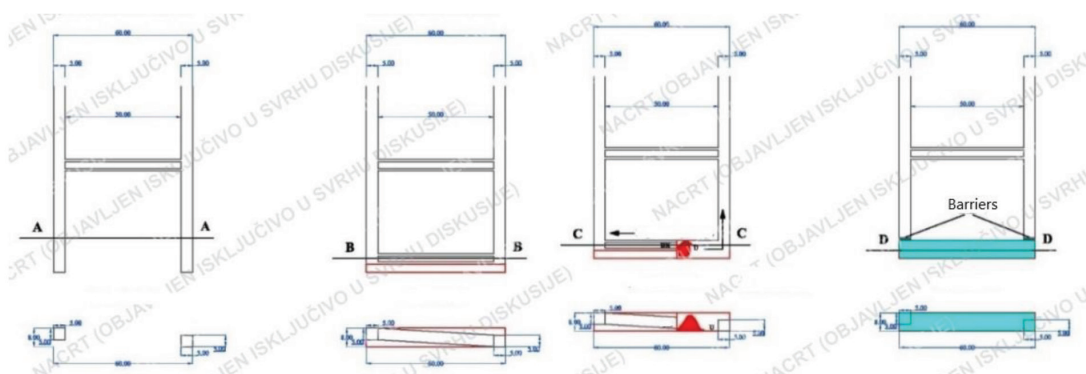
Figure 8, Spatial application of excavation methods

Слика такође показује да је рудно тело најтање на ободима, док се његова дебелина повећава према средини рудног тела.

The figure also shows that the ore body is the thinnest around the edges, while its thickness increases towards the middle of ore body.

Метода етажног откопавања са засипавањем предвиђена је за делове рудног тела чија је дебелина максимално 8 m и са максималном ширином чела 60 m (слика 9).

Cut and fill method is foreseen to be used for parts of ore body which thickness is maximum 8 m and will have a face with a width of 60 m (Figure 9).



Слика 9, Метода етажног откопавања са засипавањем

Figure 9, Cut and fill excavation method in this mine

Пошто постоји много варијација ове методе, која је примењива за широк спектар рудних тела, њено главно ограничење је цена засипа (везивни агенси, транспорт, постављање, цевоводи итд.). Ове околности значе да се ова метода користи када је вредност руде висока и када се висок коефицијент ископишћења са минималним осиромашењем, тако да се рудно тело не може економски оправдано откопати методама са зарушавањем. [4]

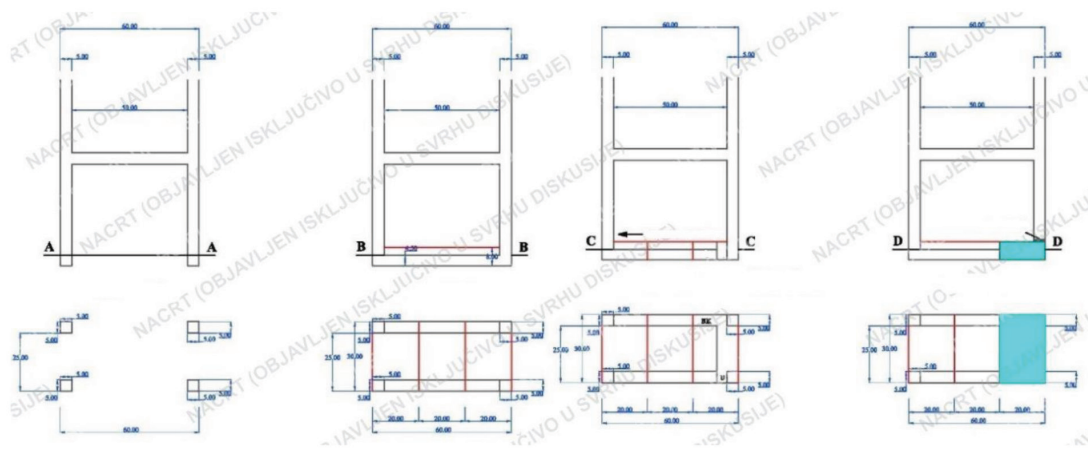
У овом случају, етажно откопавање са засипавањем подразумева да су изведена два приступна ходника с обе стране чела. Један ходник је изведен у кровини, а други у подини. Ова два ходника су затим повезана рампом, чиме се формира чело висине 8 m. Уз напредовање, ископани простор се попуњава засипом.

Панелно откопавање са засипавањем се користи за висине веће од 8 метара, уз мале варијације. Главна идеја је да се рудно тело подели на панеле, са различитим димензијама које су условљене димензијама рудног тела (слика 10).

Since there are a lot of variations of cut and fill method, which is a method applicable to a wide variety of ore bodies, its main restrain is the cost of fill material (binding agents, transport, placement, pipelines etc.). These conditions means that this method is favored when the ore value is high and the high recovery rate with minimal dilution can't be done by stoping ore caving methods. [4]

In this case, two access drifts were done on both sides of the face. One drift is done in hanging wall, and the other in the footwall. These two drifts are then connected with a ramp which then forms a face with height of 8 m. With a progression, excavated space is filled with some type of filling material.

Bench stoping is a variation of sublevel stoping method. This method is used with height higher than 8 meters, with small variations. The main idea is to divide the ore body into sections, with different dimensions conditioned by ore body dimensions (Figure 10).



Слика 10, Панелно откопавање са засипавањем
Figure 10, Cut and fill excavation method in this mine

Четири ходника су изведена са висинском разликом од 20 m и хоризонталним размаком од 50 m. Панел се затим ископава блок по блок, са димензијама блока 30x20 m. Цео панел се ископава одједном, а затим се попуњава пастом. Минимално 14 дана је потребно да паста очврсне. Ископавање се обавља лепезастим бушењем из горњег ту-

Four drifts are done with vertical distance of 20 m and horizontal distance of 50 m. The section is then excavated block by block, with block dimensions of 30x20 m. The whole section is excavated at once and then filled with paste. Minimal 14 days is the time needed for paste to harden. The excavation is done with ring drilling from upper drift.

нела. Анкери се користе у горњим тунелима за осигурање крова.

Пошто је речено да ће дебљи делови рудног тела бити ископавани у панелима, који могу бити више од 34 m високи (максимална висина није наведена), може доћи до проблема са стабилношћу стенског масива. Геомеханичке карактеристике стенске масе нису објављене широј јавности, а цела просторија ширине 60 m и висине 34+ m би остала без потпоре (осим анкера у крову) минимум 14-28 дана (колико је потребно да паста засип очврсне). Поред тога, паста засип никада не може попунити целу запремину откопаних слојева. Узећи у обзир ове факторе, морају се извршити детаљни и пажљиви прорачуни и процене како би се предвидело понашање стена у овим условима.

Утовар и транспорт су планирани да се обављају подземним утоваривачима и камионима од чела до транспортног окна (скипова). Планирано је да скипови раде 335 дана годишње, 20 сати дневно. Рад ће се обављати у 3 смене, са ефективним радним временом од око 6,5 сати.

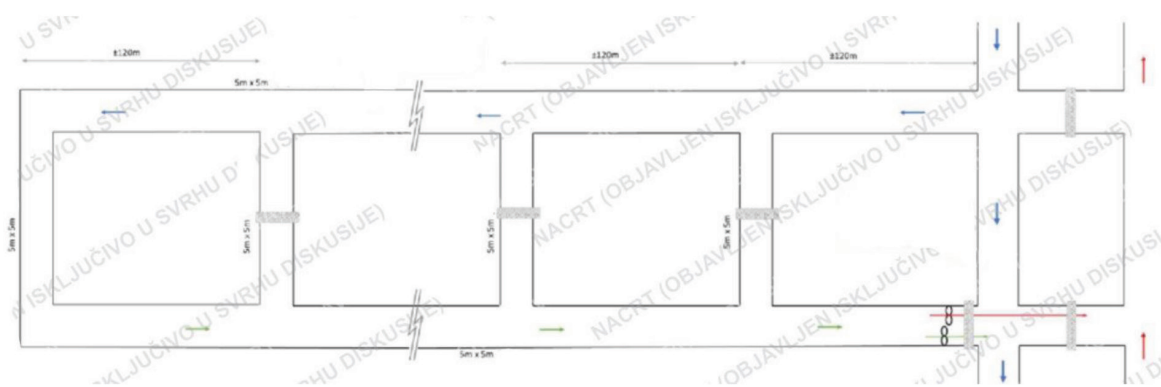
Вентилација је планирана као вентилација по потреби, са циљем да се одређени (радни) делови рудника снабдеју свежим (охлађеним) ваздухом, пошто је хлађење неопходно да би се испоштовали српски прописи у погледу максималне температуре у подземним рудницама. Панели ће имати веома сличан вентилациони систем као рудници угља (слика 11).

Anchors are used in upper drifts to secure the roof.

Since it is said that thicker parts of the ore body will be excavated in sections, which can be more than 34 m high (maximum height is not specified), a problem with rock stability may occur. The exact specification of rock is not shared with the public, and the whole room with 60 m width and 34+ m height would be unsupported (except for roof anchors) for minimum 14-28 days (how long is needed for paste to harden). Besides that, paste can never fill the whole excavated section. Taken that into consideration, detailed and careful calculations and estimations must be done to predict rock behavior under these circumstances.

Underground loading and transport are planned to be by underground loaders and trucks from faces to the haulage shaft (skips). It is planned that skips work 335 days/year, 20 hours/day. Work would be done in 3 shifts, with effective work time of around 6.5 hours.

Ventilation is planned to be as ventilation on demand which has the goal to supply some (working) parts of an underground mine with fresh (cooled) air, since the cooling is necessary to comply with Serbian regulations in terms of maximum temperature in underground mines. Sections will have very similar ventilation system as coal mines (Figure 11).



Слика 11, Вентилација панела

Figure 11, Section ventilation

Вентилациона врата се користе за усмеравање свежег ваздуха. Пошто је планирано да максимална производња буде 2046. године, вентилација би у том тренутку била најзахтевнија. Планирани проток ваздуха је 500 m³/s, са 2 главна вентилатора са притиском-депресијом од 4,2 kPa и комбинованом снагом од 2800 kW.

Вреди напоменути да је планирано коришћење потпуно електричних подземних возила, с обзиром на проблеме са температурама у том подручју, што би у великој мери смањило захтеве вентилације.

Пошто се рудник налази у плавном подручју, где је терен с времена на време поплављен, одводњавање је такође важно техничко питање. Основна концепција је да се обезбеди довољан капацитет за одводњавање рудника у најгорем сценарију (поплава). Утврђено је да је проток воде око 38 l/s. Планирано је да систем одводњавања буде састављен од једне главне пумпне станице (постављене у близини транспортног окна) и 8 ободних пумпних станица распоређених кроз рудник. Максимални проток воде у главној пумпној станици је 58 l/s, а 30 l/s по ободној станици. Укупна динамичка висина за главну пумпну станицу је 450 m, а 156 m по ободној станици. Главна пумпна станица има 6 пумпи, док свака прстенаста пумпна станица има 3 пумпе.

ЗАКЉУЧАК

Техничка решења за подземни рудник пројекта „Јадар“ нису много различита од техничких решења многих других подземних рудника широм света. У овом раду истакнути су потенцијални проблеми као што су стабилност стенског масива и димензије просторија, при чему геомеханичке карактеристике стенске масе тренутно нису познате широј инжењерској јавности. Важно је напоменути да се процене не могу извршити без детаљних карактеристика стенске масе, тако да је овај закључак заснован не на познатим чињеницама, већ на инжењерском искуству. Већина података и чињеница о овом пројекту већ је објављена у нацрту Студије о процени утицаја на животну сре-

Air-doors are used to direct fresh air. Since the uniform maximum production is planned to be in 2046., ventilation demand would be highest at that point. Air flow is planned to be 500 m³/s, with 2 main ventilators with a pressure-depression of 4.2 kPa and combined power of 2800 kW.

It is worth mentioning that fully electrical underground vehicles are planned to be used, given the problems with temperatures at that area, which would immensely lower demands of ventilation.

Since the mine is located in a floodplain, where the area has been flooded from time to time, dewatering is also an important technical solution. Basic conception is to have enough capacity to dewater the mine in the worst-case scenario (flood). It is determined that the inflow of water is around 38 l/s. The dewatering system is planned to be made from one main pump station (located near haulage shaft) and 8 ring pump stations scattered through the mine. Maximum water flow in main pump station is 58 l/s and 30 l/s per ring station. Total dynamic head for main pump station is 450 m and 156 m per ring station. Main pump station has 6 pumps, while every ring pump station has 3 pumps.

CONCLUSION

Technical solutions for underground mine of project „Jadar“ are not that different from technical solutions of many other underground mines across the world. In this paper, the potential problems are highlighted as rock stability and room dimensions, with the rock specification currently unknown to the broad engineering public. It is important to mention that the evaluations can't be done without extensive specification of rock mass, so this conclusion is not based on known facts, just on engineering experience. The most figures and facts about this project is already published in the draft of Environmental impact assessment [1]. Technical solutions are based on references given in the said Assessment (f.e. SRK – Early Access Study, 2011.; Prefeasibility studies A and

дину [1]. Техничка решења су заснована на референцама наведеним у поменутој Студији (нпр. SRK – Прелиминарна студија, 2011.; Префизибилити студије А и Б итд.), али ове референце нису доступне јавности.

Веома је важно нагласити да је Студија о процени утицаја на животну средину у овом стадијуму нацрт, објављен како би се подстакла дискусија, што значи да техничка решења дата у њој нису коначна, већ само предлог.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade: Studija o proceni uticaja na životnu sredinu projekta podzemne eksploatacije ležišta litijuma i bora Jadar, postrojenja za obogaćivanje rude i odlaganje jalovine pri rudarskim aktivnostima – nacrt teksta studije, 2024.
- [2] Torbica S., Lapčević V.: Metode podzemnog otkopavanja, Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, 2020.
- [3] Genčić B.: Tehnološki procesi podzemne eksploatacije slojevitih ležišta, University of Belgrade, 1972.

B etc.), but these references are not available to the public.

It is very important to underline that the Environmental impact assessment is a draft at this stage, published to encourage discussion, which means that technical solutions given in it are not final, but just a proposition for now.

LITERATURE

- [4] Darling P.: SME Mining Engineering Handbook, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 2011.
- [5] Master Drilling, <https://www.masterdrilling.com/services/raise-boring/>
- [6] Xie Z., Zhang Nong, Qian D., Han C., An Y., Wang Y.: Rapid Excavation and Stability Control of Deep Roadways for an Underground Coal Mine with High Production in Inner Mongolia, Sustainability, MDPI, 10/1160, 2018. DOI: 10.3390/su10041160.