

Vitomir Milić, Igor Svrkota*, Dejan Petrović**

ANALYSIS OF BLOCK STABILITY FOR SEMI – LEVEL CAVING METHOD WITH LATERAL LOADING

Abstract

In the current conditions for global underground mining, with the new ore deposits lying deeper and deeper, with reduced ore grades, the bulk mining is a necessity. Only high production level provides chances for positive economic results of underground mining. The high productive mining methods enable significant reducing of costs per ton of excavated ore. Different variants of block methods belong to this group of bulk mining methods. One of them, named the semi – level caving, is present in this paper, with analysis of its block and drawbells stability.

Keywords: *underground mining, mining method design, drawbells*

INTRODUCTION

The underground mining in Bor ore deposit has experienced serious difficulties for many years. Formerly active ore bodies, like Tilva Ros, P₂A and Brezonik are either in the final stage of mining or became inactive due to various problems. Low – scale ore bodies, such as T₁, T₂ and D are interesting and currently active or in preparation, but they are only considered as a transition to only possible future of underground mining – the ore body Borska Reka.

Preparation and development of smaller ore bodies is in progress, including exploration works, design of mining method and determination of different technical and technological solutions for their operation. All of that in order to maximize production efficiency.

Considering the ore body Borska Reka, there were many research works, analyses, studies and suggestions for the method design in the last twenty years. Each part of technological process has been closely considered, including opening, development, mining method, transport, hoisting, ventilation, dewatering, servicing, etc. Since main properties of this ore body are significant depth, low – graded ore and huge ore reserves, the goal of each consideration was to minimize the costs and enable positive economic results [1].

In researches related to the mining method design, it was of a great importance to determine the optimal construction parameters, construction stability, stability of drawbells and enabling safe and secure working conditions at such huge depth.

* *University of Belgrade, Technical Faculty in Bor*

DESCRIPTION OF MINING METHOD

Semi-level caving is the biggest modification in design of sublevel caving methods. This method, along with many other variants of sublevel caving, belongs to a group of methods with caving of ore and hanging wall rock. Methods with full caving of entire block are called the block methods. Block methods may include natural caving (block caving methods) or induced caving (single or double step caving). Since this method includes full caving, it belongs to the block methods with induced caving. The difference between certain variants from this group is in pattern of blasting, because it can be done from one or more levels. If the blasting is done from a single level, it means that blastholes are drilled by entire block height. This group of methods is called level methods. In case of variant shown in this paper, drilling and blasting is performed from two levels and that is why this variant is called "semi – level". Also, this name is given because adjacent blocks are misplaced by half of level height, which means that loading is performed at each semi - level, at 40 m vertical spacing.

Drilling and blasting pattern is as follows: blasting blocks are 40 m high and 24 – 42 m thick. Ore drawing width is 10 – 16 m, while drawing height matches level height. Such geometry enables high outputs, which puts this method into a group of bulk mining methods. [1]

Advantage of new method design is exceeded height of ore drawing zone, since it matches the level height. Besides, the adjacent blocks are misplaced by half of their height. Such construction provides most of drawn ore to be surrounded by

intact rock, which is very favorable from the aspect of ore dilution and recovery in the process of ore drawing. [2]

Since ore drawing zone is very thick, drawbells will have lateral loading rooms, thus enabling ore drawing by entire block width. Simultaneous ore drawing from wide zone enables significant increase of productivity, improves utilization of drilling, loading and transport equipment and finally improves dynamics of ore body development. [3]

Also, such method design enables increase of blasted ore volume gained by single blasting and brings conveniences related to the ore blasting in tight fit zones.

Method design provides lateral ore loading. Such construction enables more draw points in a single block, because of exceeded thickness of drawing zone. In classic method designs, with frontal loading, exceeded thickness of drawing zone causes the increase of ore dilution and decrease of ore recovery. [4]

From the aspect of ventilation, lateral loading is also more convenient than frontal, because it enables flow – through ventilation in loading drifts, instead of auxiliary ventilation required at frontal loading. Ventilation of 12 m long loading rooms is performed by diffusion.

Alternate layout of blocks, excavated and in process of mining (Figure No 1), is not suitable for concentration of underground stresses. This is yet another convenience of semi – level caving, which makes it suitable for application in thick and deep ore deposits.

Figure 1 shows the design of semi – level caving with lateral loading.

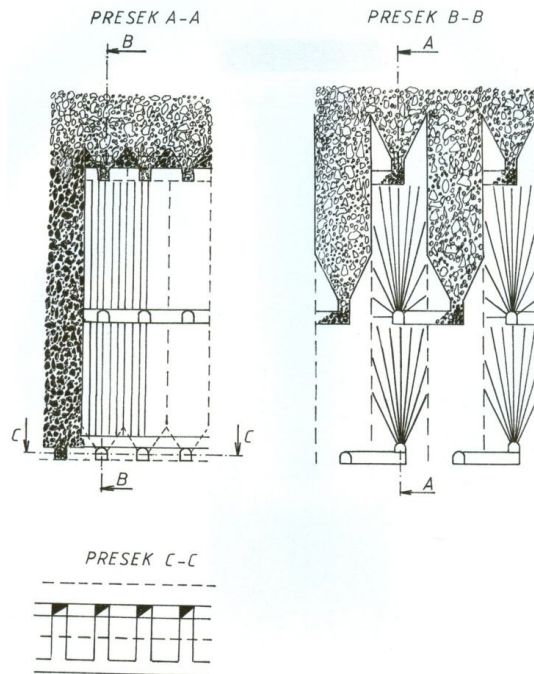


Figure 1 Semi – level caving with lateral ore loading

ANALYSIS THE GEOMECHANICAL CONDITIONS OF EXPLOITATION

Applicability of mining method requires a determination of its basic design parameters. Along with properties of ore and surrounding rock, there are several techno – economic conditions that have to be fulfilled, such as:

- safety of operation,
- low ore and metal losses,
- enabling projected outputs,
- low production costs.

Safety of operation is a basic prerequisite for any method design. Any possible endangerment of manpower and equipment is forbidden. [5]

For suggested design of semi – level caving method, it is necessary to analyze the stability of blocks. Special attention has to be paid to drawbells and their stability.

Main goal of stability analysis is to determine, based on scientific principles, whether designed geometry provides functionality, safety and all the other requirements during the excavation.

Stress analysis for specific underground point, or object, or slope, can be performed using different theories, such as:

- physical models (method of photoelasticity);
- numerical models (finite element method, finite difference method);
- analytical methods (theories of elasticity and plasticity).

Selection of specific theory depends on available parameters needed for determination the failure criterion and secondary stresses in the rock.

NUMERICAL METHODS

The majority of underground openings have irregular shape and their position is near some other opening. For instance, such group of underground objects may be stopes with auxiliary objects, shafts, etc. All of them make a group of three – dimensional objects. Besides that, the surrounding rock is not ideal, but always contains cracks, fissures and similar. Analysis of stress and deformations in such conditions cannot be performed by exact mathematical methods. Instead, numerical methods are used in this case. Numerical methods are known for many years, but their rapid development and increased application has started with development of modern computers.

The main principle in numerical methods is division of model into smaller parts, whose sum of influences approximates behavior of entire system. Series of equations formed in such process require a specific method for their solution.

Numerical methods, used in geomechanics, may be divided into two groups: boundary methods and domain methods. In application of boundary methods, only the contour of underground object is divided into elements, while rock massif is represented as an infinite continuum. Domain

methods divide rock massif into zones of simple geometric shape, where each of them has its own properties. Behavior of entire system is defined through complex models depending on interaction between elements. Finite element method and finite difference method belong to a group of domain methods, where rock massif is treated as a continuum.

These two methods may also be combined, thus forming a hybrid model that contains all of the positive properties of each method.

Before selection of specific modeling technique, it is necessary to understand the basic components of each technique.

RESULTS OF CALCULATIONS USING THE PHASE SOFTWARE

Analysis of stability for blocks was performed using the Phase software. This software is used for analysis of stress and deformation around underground objects. Special attention was paid to drawbells and drifts in the block bottom.

The main goal of analysis was to determine a stability of lateral loading rooms. A detail of semi – level caving method design showing single – sided lateral loading is given bellow.

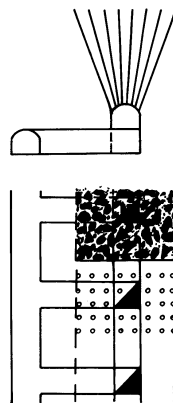


Figure 2 Detail of Semi – level caving method design with single – sided lateral loading

During stability analysis, typical cross – sections were made for both variants. Model layout is shown on Figures 3 to 6. Network of finite elements is also shown in these models.

The results gained by this procedure can be also represented graphically, as it is shown in Figures 3 to 6. Final results of geomechanic analysis for semi - level caving and presentation of block stability are also shown in these figures.

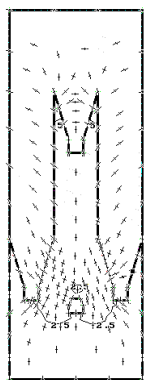


Figure 3 Model M- 1
Maximal principle stress, σ_1

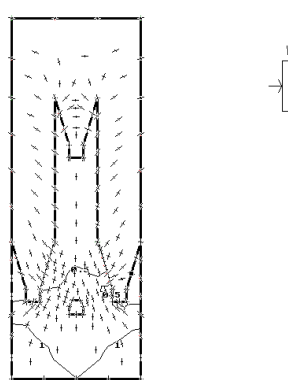


Figure 4 Minimal principle stress, σ_3

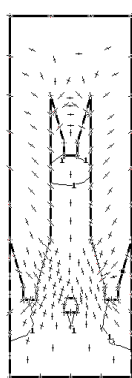


Figure 5 Vertical stress σ_z

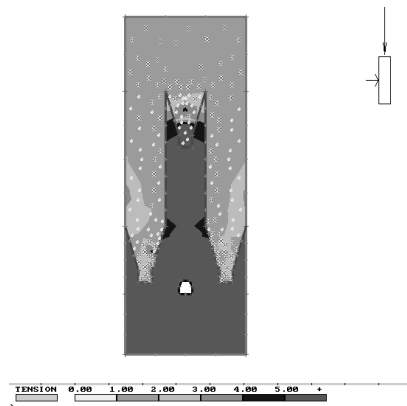


Figure 6 Factor of safety F_s

ANALYSIS OF THE RESULTS OF NUMERICAL CALCULATIONS

Research of stress and deformations for designed method was performed on a model, shown in figures above. Those figures also show model layout, maximal values of stresses and Factor of safety.

Model parameters, primary stresses and values of uniaxial stress of rock massif were taken from study [6].

Results of numerical calculations are as follows:

- Values of principal stresses in the zone of active stopes: $\sigma_1 = 16$ MPa, $\sigma_3 = 4$ MPa, $\sigma_z = 4$ MPa.

There are two quasi – homogenous zones in the model:

1. Intact ore (ore) with the following properties:

- specific density $\gamma = 0.0027$ kN/m³;
- deformation modulus $\varepsilon = 39,640$ MPa;
- Poisson's ratio $\mu = 0.217$.

Using the Hoek – Brown model, a rock massif was determined with the following properties:

- uniaxial compressive strength $\sigma_p = 85.5$ MPa;
- $m = 0.4$;
- $s = 0.062$.

2. Blasted ore and caved rock from hanging wall (caved ore), with the following properties:

- specific density $\gamma = 0.0022$ kN/m³;
- deformation modulus $\varepsilon = 10,000$ MPa;
- Poisson's ratio $\mu = 0.25$.

In this case, Mohr – Coulomb's Non – tension model was used for calculations, with following properties:

- tension strength $\sigma_i = 0$;
- cohesion $c = 0.1$ MPa;
- angle of internal friction $\varphi = 30^\circ$.

CONCLUSION

Some results of numerical calculations were presented graphically in figures 3 to 6. Characteristic cross – sections were used for presentation of main principal stresses and distribution of factor of safety. After analysis of the results, the following conclusions can be derived:

1. Values of main principle stresses do not exceed failure limit in any part of designed construction, which means that the construction will remain stable.

2. Some instability was spotted at the top of blocks, which would probably cause their damaging during the ore drawing process,

but it has absolutely no influence to the global construction stability.

3. From the aspect of stability, the critical point is a junction of loading drift with block trench. However, the results do not indicate that the main principle stresses exceed critical values. Loss of functionality in this area might be possible due to the structural instability. That could be analyzed by methods of structural analysis which would include interactions between underground construction and surrounding rock.

Finally, the results of analyses clearly prove that designed construction provides stability in space and time.

REFERENCES

- [1] V. Milić, Research the Basic Parameters of the New Methods Semilevel Caving for Excavation the Deep Parts of the Bor Deposit. PhD Thesis, Bor, 1996 (in Serbian);
- [2] Ž. Milićević, Modification of Sublevel Caving of Ore in Order to Increase the Thickness of Belt from which the Ore is Simultaneously Discharged, XX October Conference of Mining and Metallurgy, Bor, 1988 (in Serbian);
- [3] V. Milić, Ž. Milićević, N. Atanasković, Determining the Parameters of Semi-level Caving Method by Modeling, Underground Works. Belgrade, 1994 (in Serbian);
- [4] V. Milić, Ž. Milićević, Application of Mining Methods with Side Ore Loading, XVII October Conference of Mining and Metallurgy, Bor, 1985 (in Serbian);
- [5] B. Gluščević, Opening and Underground Mining Methods, Minerva, Subotica-Belgrade, 1974 (in Serbian);
- [6] Study of Stress-Deformation Behavior of Rock Massif Due to the Underground Mining of the Ore Body "Tilva- Roš", Volume 1, Preliminary 2D Model, Institute of Water Resources "Jaroslav Černi" Belgrade, 1995 (in Serbian).

Vitomir Milić*, Igor Svrkota*, Dejan Petrović*

ISTRAŽIVANJE STABILNOSTI DNA OTKOPNOG BLOKA ZA METODU POLUETAŽNOG PRINUDNOG ZARUŠAVANJA SA JEDNOSTRANIM BOČNIM UTOVAROM RUDE

Izvod

U sadašnjim uslovima podzemne eksploatacije kad je neophodno otkopavati ležišta na sve većim dubinama i sa sve siromašnijom rudom, kao neminovnost, javlja se potreba za primenom metoda otkopavanja sa masovnim dobijanjem rude. Na taj način stvara se potreban preduslov da se obezbedi neophodna ekonomična eksploatacija. Visokoproduktivne i visokoproduktivne metode otkopavanja omogućuju da se većim proizvodnim kapacitetima obezbede minimalni troškovi po toni dobijene rudne mase. Jedna varijanta iz grupe blokovskih metoda opisana je u ovom radu, a dati su rezultati određivanja njenih parametara i stabilnosti otkopa u dnu otkopnog bloka.

Ključne reči: podzemna eksploatacija, metode otkopavanja, dno bloka.

UVOD

U borskom ležištu rude bakra, za nastavak podzemne eksploatacije interesantna su manja rudna tela „T-1“, „T-2“, „D“, preostale rezerve u rudnom telu „Brezonik“, delovi rudnog tela „Tilva Roš“ pre svega u severnom, zapadnom i južnom delu rudnog tela. Ipak, najveću pažnju privlači rudno telo „Borska Reka“, kako po svojoj veličini, tako i prema količini rudnih rezervi.

Uvodjenjem pomenutih rudnih tela u eksploataciju, postigla bi se neophodna zamena, tj. nadoknada kapaciteta koji se gase iscrpljivanjem ležišta i rudnih tela, koja se nalaze u fazi postupnog likvidiranja eksploatacionih radova.

Za navedena ležišta u predhodnom periodu već su obavljena značajna istraživanja, u osnovi kojih su razmatrana najsavremenija tehnička i tehnološka rešenja. Ovim rešenjima se želi pre svega povećati ukupna efikasnost eksploatacije. U dosadašnjim istraživanjima mogućnosti eksploa-

tacije rudnog tela "Borska Reka" detaljno je razmatran problem otvaranja ležišta, metode otkopavanja, transporta i izvoza iskopine, servisiranja, provetravanja, odvodnjavanja i ostalih faza tehnološkog procesa eksploatacije ležišta. U svim razmatranjima tražena su najracionalnija rešenja kojim bi se našla mogućnost svodjenja troškova na minimalni iznos, što predstavlja glavni uslov za ekonomičnu eksploataciju ležišta [1].

Pri istraživanju novih konstrukcija metoda otkopavanja posebna pažnja posvećena je određivanju optimalnih parametara, određivanje stabilnosti otkopa, stabilnosti dna otkopnih blokova, odnosno stvaranju uslova za siguran i bezbedan rad na velikim dubinama.

OPIS METODE OTKOPAVANJA

Metoda "Poluetažnog prinudnog zarušavanja" predstavlja najveću modifikaciju do

* Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru

sada primenjivanih metoda iz grupe podetažnih metoda otkopavanja.

Ova metoda kao i mnogobrojne varijante podetažnog zarušavanja po svojim karakteristikama i principima otkopavanja spada u grupu metoda sa zarušavanjem rude i krovinskih stena. Poznato je da se metode otkopavanja kod kojih se obaranje rude vrši po celoj visini bloka nazivaju blokovskim. Blokofske metode mogu biti sa samoobrušavanjem rude ili prinudnim zarušavanjem (jednostepenim ili dvostepenim). Obzirom da se kod razmatrane metode primenjuje obaranje rude po celoj visini bloka, ona pripada blokovskim metodama sa prinudnim zarušavanjem rude. Medjutim, kod ovih metoda se obaranje rude nekad može vršiti miniranjem samo sa jednog nivoa (bušenjem minskih bušotina po celoj visini bloka) kada se nazivaju etažnim metodama. U ovom slučaju obaranje rude se vrši bušenjem sa dva nivoa pa se otuda u nazivu metode javlja termin "poluetažno". Takodje termin "poluetažno" usvojen je iz razloga što su otkopni blokovi "smaknuti" za polovinu visine horizonta (etaže) pa se utovar rude iz otkopnih blokova vrši na svakoj "poluetaži" tj. na nivoima sa visinskom razlikom od 40 m.

Kod metode blokovskog poluetažnog zarušavanja, miniranje rude se vrši u blokovima velike visine (40 m) i velike moćnosti (24 - 42 m). Istakanje rude se vrši iz blokova širine (10 - 16 m) i visine koja je jednaka visini horizonta. Na taj način stvoreni su uslovi za ostvarenje visoke proizvodnosti rude, što ovu metodu svrstava u grupu metoda sa masovnim dobijanjem rude [1].

Originalnost predložene konstrukcije metode "Poluetažnog prinudnog zarušavanja" ogleda se u tome što se ruda obara u blokovima velike visine, koja odgovara visini horizonta. Susedni blokovi su medjusobno rasporedjeni visinski za polovinu visine horizonta (etaže). Ovakav "smaknut" položaj otkopnih blokova obezbedjuje da se veći deo minirane rude nalazi u neminiranom masivu rude, čime se značajno produžava vremenski period istakanja čiste

rude. Na taj način povećava se iskorišćenje i smanjuje osiromašenje rude u procesu njenog istakanja, odnosno stvaraju se povoljniji uslovi za istakanje minirane rude jer donja polovina bloka nema vertikalnog kontakta sa jalovinom, osim čeonog kontakta miniranog pojasa [2].

Obaranje rude u blokovima vršice se u pojasima velike moćnosti, pa se konstrukcijom dna bloka sa bočnim utovarnim komorama, omogućava istovremeno istakanje rude po celoj širini miniranog pojasa. Istovremeno istakanje rude iz pojasa velike moćnosti omogućava značajno povećanje proizvodnosti metode otkopavanja, povećava iskorišćenost opreme na bušenju, utovaru i prevozu rude, poboljšava dinamika pripreme ležišta za otkopavanje [3].

Metoda omogućava povećanje količine jednovremeno obrušene rude i korišćenje pogodnosti miniranja rude u stešnjennoj sredini.

Konstrukcijom metode otkopavanja predvidjen je bočni utovar odminirane rude, koji omogućava da se u istovremenom radu nadje veći broj utovarnih mesta u jednom otkopnom bloku. To se obezbedjuje time što je moguće odminirati veći pojas rude u jednom bloku bez bojazni da će procesom utovara ostati veći deo odminirane mase zarobljen jalovinom tj. zauvek izgubljen, što je slučaj kod čeonog utovara sa povećanom moćnošću pojasa odminirane rude [4].

Sa aspekta ventilacije bočni utovar takodje ima prednost nad čeonim načinom utovara jer obezbedjuje protočnu vetrenu struju u utovarnom hodniku za razliku od čeonog utovara gde se ventilacija vrši separatnim načinom. Provetravanje utovarnih komora, čija je dužina 12 m, vrši se difuzno.

Naizmeničan raspored otkopnih blokova (vidi poprečni presek metode), otkopanih i onih koji se nalaze u fazi eksploatacije, ne pogoduje koncentraciji podzemnih pritisa. Ovo je još jedna od pozitivnih karakteristika metode poluetažnog prinudnog zarušavanja, koja je čini pogodnom za otkopavanje moćnih rudnih ležišta na velikim dubinama.

Na slici 1. prikazana je varijanta metode "Poluetažnog prinudnog zarušavanja sa jednostranim bočnim utovarom".

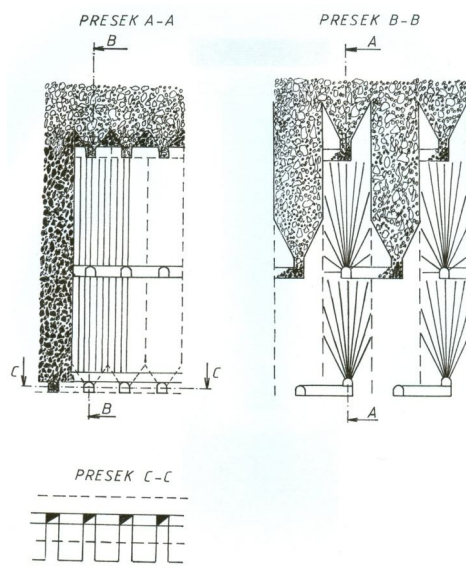
ISTRAŽIVANJE GEOMEHANIČKIH USLOVA EKSPLOATACIJE

Primenljivost metode otkopavanja podrazumeva određivanje njenih osnovnih konstruktivnih parametara. Pored izučavanja i poznavanja prirodnih uslova ležišta, potrebno je da se ispuni niz tehničko-

ekonomskih uslova medju kojima treba istaći sledeće:

- sigurnost rada,
- niski gubici rude odnosno metala,
- obezbedjenje potrebnog kapaciteta proizvodnje i
- niski troškovi proizvodnje.

Sigurnost pri radu kod svake metode otkopavanja su glavni uslov, koji se mora ispuniti. Ne sme se dozvoliti da metoda postane opasna po život ljudi i rudničke instalacije [5].



Sl. 1. Metoda "Poluetažnog prinudnog zarušavanja" sa jednostranim bočnim utovarom rude

Za razmatranu metodu poluetažnog prinudnog zarušavanja, u konkretnom slučaju, neophodno je proveriti stabilnost otkopnih blokova. Posebna pažnja posvećuje se proveru stabilnosti prostorija u dnu otkopnog bloka. Osnovni cilj proračuna stabilnosti podzemnih objekata je da se na naučno zasnovanim principima definišu dimenzije objekata, koje će za planirani period vremena obezbediti funkcionalnost objekata, projektovanih za različite namene u toku eksploatacije ležišta. Proračun napona u masivu oko podzemnog objekta, nekog

poprečnog preseka, a za definisane konturne uslove može se izvršiti na nekoliko načina:

Na fizičkim modelima:

- metodom fotoelastičnosti.

Na numeričkim modelima:

- metodom konačnih elemenata,
- metodom konačnih razlika

Analitičkim metodama korišćenjem aparata teorija elastičnosti i plastičnosti. Koji će se od ovih postupaka koristiti, zavisi od stepena poznavanja parametara potrebnih za proračun kriterijuma loma i sekundarnih napona stenskog masiva.

NUMERIČKE METODE

Većina podzemnih objekata ima nepravilan oblik i nalaze se u blizini drugih objekata. Ovu grupu objekata mogu da čine otkopi sa raznim pomoćnim prostorijama, okna, navozišta i td. Svi oni čine kompleks trodimenzionalnih oblika. Pored toga stenski masiv je ispresecan pukotinama. Analiza naponsko-deformacijskih stanja u stenskoj masi, sa složenom konstrukcijom otkopa, koja se ne može vršiti uz pomoć egzaktnih matematičkih metoda rešava se primenom numeričkih metoda. Ove su metode poznate dugi niz godina, ali je njihov ubrzan razvoj i ogromna praktična primena usko vezana sa razvojem savremenih računara.

Pristup koji je prihvaćen kod svih ovih metoda je fizička podela modela u manje delove čiji zbir uticaja aproksimira ponašanje čitavog sistema. Niz jednačina oformljenih u ovom postupku zahteva neki metod rešenja.

Numeričke metode, koje se koriste u mehanici stena, mogu se podeliti u dve grupe: granične i domen metode. Kod graničnih metoda samo se kontura prostorije deli na elemente, a unutrašnjost stenske mase predstavlja matematički kao beskonačni kontinuum. Domen metode dele unutrašnji deo stenske mase u geometrijski proste zone, svaka sa svojim osobinama.

Ukupno ponašanje i međusobna interakcija ovih prostih zona, modeliraju kompleksnije i često nepredvidivo ponašanje stenske mase. Metod konačnih elemenata i metoda konačnih razlika su domen metode koje tretiraju stensku masu kao kontinuum.

Ove dve grupe metoda mogu se i kombinovati u hibridni model koji sadrži sve pozitivne osobine obe grupe metoda.

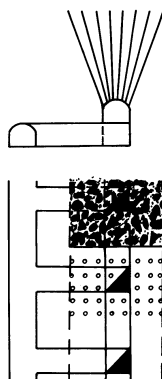
Pre izbora odgovarajuće tehnike modeliranja specifičnog problema neophodno je razumeti osnovne komponente svake od tehnika.

REZULTATI PRORAČUNA PRIMENOM PROGRAMA PHASE

Ispitivanje uslova stabilnosti otkopnih blokova izvršeno je primenom programa PHASE. Ovaj program se koristi za analizu napona i deformacija masiva oko podzemnih objekata. Naročita pažnja posvećena je stabilnosti dna otkopnih blokova i pripremnih prostorija u njima.

Za metodu Poluetažnog prinudnog zarušavanja, izvršena su geomehanička istraživanja sa osnovnim zadatkom da se proverii stabilnost u bočnim utovarnim komorama.

Detalj pripreme dna bloka za varijantu sa jednostranim bočnim utovarom prikazan je na slici 2.



Sl. 2. Priprema dna bloka za metodu Poluetažnog prinudnog zarušavanja sa jednostranim bočnim utovarom rude

Pri analizi za obe razmatrane varijante uradjeni su karakteristični preseći reprezentativnog modela konstrukcije metode otkopavanja. Izgled modela prikazan je na sl. 3, 4, 5 i 6. Na ovako uradjenim (početnim) modelima prikazana je i mreža konačnih elemenata.

Istim postupkom dobijeni su rezultati koji se grafički mogu prikazati slajdovima PHASE *. gif. Korišćenjem programa za crtanje Corel Photo-Paint dobijene su slike 3 - 6 koje predstavljaju krajnje rezultate geomehaničkog ispitivanja uslova stabilnosti u dnu otkopnog bloka za varijantu metode "Poluetažnog prinudnog zarušavanja".

ANALIZA REZULTATA NUMERIČKIH IZRAČUNAVANJA

Istraživanje naponsko-deformacijskih stanja konstrukcije otkopa obavljeno je na

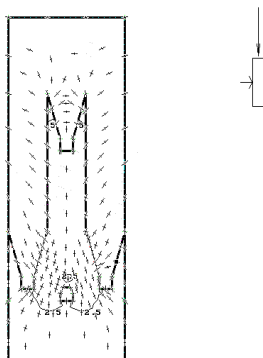
modelu koji je prikazan na slikama 3, 4, 5 i 6. Izgled modela, maksimalne vrednosti napona i faktor sigurnosti dat je na navedenim slikama.

Parametri modela, primarno naponsko stanje i parametri čvrstoće stenskog masiva preuzeti su iz studije [6].

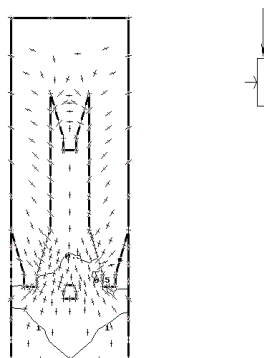
Na osnovu numeričkih izračunavanja otkopavanja ustanovljeno je da se maksimalni naponi koji se mogu pojaviti u zoni aktivnih otkopa mogu opisati komponentama maksimalnih glavnih napona $\sigma_1 = 16$ MPa, $\sigma_3 = 4$ MPa, $\sigma_z = 4$ MPa. Na modelima su prisutne dve kvazihomogene zone:

1. Ruda u neporemećenom stanju (ruda) opisana sa sledećim parametrima:

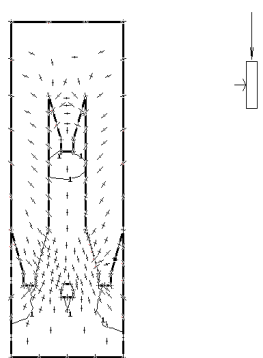
- zapreminska težina $\gamma = 0,0027$ kN/m³
- modul deformacije $\varepsilon = 39640$ Mpa
- Poisonov koeficijent $\mu = 0,217$



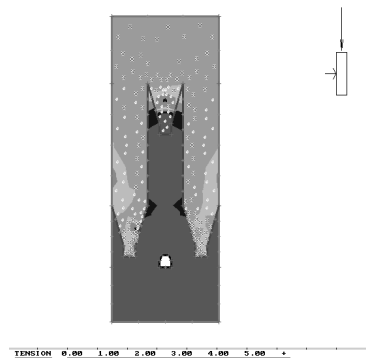
Sl. 3. Model M - 1. Maksimalni glavni napon σ_1



Sl. 4. Model M - 1. Minimalni glavni napon σ_3



Sl. 5. Model M - 1. Napon van ravni σ_z



Sl. 6. Faktor sigurnosti F_s

Korišćen je Hoek-Brown-ov elasto-idealno plastični model stenskog masiva opisan parametrima čvrstoće:

- jednoaksijalna čvrstoća na pritisak $\sigma_p = 85,5 \text{ MPa}$
- $m = 0,4$
- $s = 0,062$

2. Odmirana ruda odnosno zarušena krovna stena (ruševina) opisana sa sledećim parametrima:

- zapreminska težina $\gamma = 0,0022 \text{ kN/m}^3$
- modul deformacije $\varepsilon = 10000 \text{ MPa}$
- Poissonov koeficijent $\nu = 0,25$

Korišćen je Mohr-Columbov Non-tension model stenskog masiva sa sledećim parametrima čvrstoće:

- čvrstoća na istezanje $\sigma_i = 0$
- kohezija $c = 0,1 \text{ MPa}$
- ugao unutrašnjeg trenja $\varphi = 30^\circ$

ZAKLJUČAK

Rezultati numeričkih izračunavanja su delom grafički predstavljeni na slikama od 3 do 6. Na karakterističnim modelima prikazane su u prvom redu vrednosti maksimalnih glavnih napona i distribucija faktora sigurnosti. Interpretacija uradjena za deo konstrukcije otkopa čija je stabilnost od posebnog interesa upućuje na zaključak:

1. Vrednosti maksimalnih glavnih napona ni u jednom delu konstrukcije ne prelaze granicu loma stenskog masiva, odnosno da će sistem biti stabilan.
2. Zapaža se nestabilnost "vrhova bloka" i verovatno njihovo rušenje u procesu istakanja izminirane rude, a što nema nikakvog uticaja na globalnu stabilnost konstrukcije otkopa.
3. Kritično mesto sa stanovišta stabilnosti je spoj utovarnih hodnika sa tranšejom otkopnog bloka. Rezultati numeričkih izračunavanja pokazuju

da vrednosti maksimalnih glavnih napona ne prelaze granicu loma. Moguć je gubitak funkcionalnosti tog dela prostorije zbog strukturne nestabilnosti koja se može istraživati metodama strukturne analize interakcije ispucali stenski masiv - jamska konstrukcije. Navedena analiza jasno ukazuje da predložena konstrukcija otkopa obezbeđuje zahtevanu stabilnost određenih delova konstrukcije prostorno i vremenski definisanih za parametre stenskog masiva u analiziranom delu otkopa.

LITERATURA

- [1] V. Milić, Istraživanje osnovnih parametara novih metoda poluetažnog prinudnog zarušavanja za otkopavanje dubokih delova borskog ležišta, Doktorska disertacija, Bor, 1996.
- [2] Ž. Milićević, Modifikacija metode podetažnog zarušavanja rude u cilju povećanja moćnosti pojasa iz koga se istovremeno istače ruda. XX Oktobarsko savetovanje rudara i metalurga, Bor, 1988.
- [3] V. Milić, Ž. Milićević, N. Atanasković, Određivanje parametara metode poluetažnog prinudnog zarušavanja modeliranjem. Podzemni radovi, Beograd, 1994.
- [4] V. Milić, Ž. Milićević, Primena metoda otkopavanja sa bočnim utovarom rude. XXVII Oktobarsko savetovanje rudara i metalurga, Bor, 1985.
- [5] B. Glušćević, Otvaranje i metode podzemnog otkopavanja rudnih ležišta. Minerva, Subotica-Beograd. 1974.
- [6] Grupa autora, Studija naponsko deformacijskog ponašanja stenskog masiva usled jamske eksploatacije rudnog tela "Tilva Roš". Sveska 1, preliminarni 2D model. Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" Beograd, 1995.