

ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ У БОРУ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Веће научних области техничких наука

(Број захтева)

(Датум)

З А Х Т Е В

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације и о одређивању ментора

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

ПРИЛОГ ДЕФИНИСАЊУ ГЕОМЕТРИЈСКИХ ПАРАМЕТАРА ДНА ОТКОПНИХ БЛОКОВА ПРИ ПРИМЕНИ БЛОКОВСКИХ МЕТОДА ОТКОПАВАЊА

НАУЧНА ОБЛАСТ: **Рударско инжењерство**

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата: **Младен (Бране) Радовановић**
2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Технички факултет у Бору, Рударско инжењерство

3. Година завршетка претходног нивоа студија: **2016.**
4. Година уписа на докторске студије: **2016.**
5. Назив студијског програма докторских студија: **Рударско инжењерство**

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

1. Име и презиме ментора: **др Радоје Пантовић**

Звање: **редовни професор, Технички факултет у Бору, Универзитет у Београду**

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

R. Lapcevic, S. Kostić, **R. Pantovic**, N. Vasovic, **Prediction of blast-induced ground motion in a coppermine**, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 69, (2014), 19-25, [Impact factor (IF) 2.312/2014] **(M-21a)**

2. S. Stojadinović, M. Žikić, **R. Pantović**, I. Svrkota, D. Petrović, **High slope waste dumps – a proven possibility**, Acta Montanistica Slovaca, Vol 18, No 1, 2013, pp. 40-51. [IF (2012) = 0,094, ISSN: 1335-1788] **(M-23)**

3. S. Stojadinovic, N. Lilic, I. Obradovic, **R. Pantovic**, M. Denic, **Prediction of flyrock launch velocity using artificial neural networks**, Neural Comput & Applic, 27 (2), (2016), 515 – 24 [ISSN: 0941-0643; IF(2016)=2,505; Computer Science, Artificial Intelligence53/123] **(M-22)**

4. S. Stojadinovic, **R. Pantovic**, M. Zikic, G. Stojanovic, **FEM Comparison of crack response to blasting ground vibrations and environmental changes**, Acta Montanistica Slovaca, 19 (4), (2014), pp. 175 – 181, [ISSN 1335-1788; Impact factor (IF) 0,374/2014] **(M-23)**

5. M. Pavlovic, **R. Pantovic**, Z. Jankovic, D. Nedeljkovic, N. Nikolic, M. Pavlovic, J. Stevanovic, **Electric Conductivity of Electrolytic Copper Powder Filled Poly (Lactide-co-Glycolide) Composites**, International Journal of Electrochemical Science 14(10), (2019), pp. 9825-9837, [Impact factor (IF) 1.628/2021] **(M-23)**

Обавештавамо вас да је НАСТАВНО-НАУЧНО ВЕЋЕ ТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БОРУ на седници одржаној **26.01.2023.** размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Дејан Таникић

- Прилог
1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
 2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

Универзитет у Београду
Технички факултет у Бору
Број: VI/4-4-12
Бор, 27. 01. 2023. године

На основу чл. 49. Статута Техничког факултета у Бору и чл. 35. Правилника о докторским студијама на Техничком факултету у Бору, Наставно научно веће Факултета на седници одржаној 26. 01. 2023. године, донело је

О Д Л У К У

I Прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације кандидата **Младена Радовановића**, мастер инжењер рударства, студента докторских академских студија студијског програма Рударско инжењерство.

II Одобрава се именованом израда докторске дисертације под називом: „**Прилог дефинисању геометријских параметара дна откопних блокова при примени блоковских метода откопавања**“.

III За ментора се именује **др Радоје Пантовић**, редовни професор Универзитета у Београду, Техничког факултета у Бору.

IV Одлуку доставити надлежном Већу научне области Универзитета у Београду, ради давања сагласности на одлуку о прихватању теме и оређивању ментора.

Доставити:

- ВНО Универзитет у Београду
- именованом
- студентској служби
- архиви

ПРЕДСЕДНИК
НАСТАВНО-НАУЧНОГ ВЕЋА

ДЕКАН

Проф. др Дејан Таникић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Младена Радовановића, маг. инж. рударства

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, бр. VI/4-3-15 од 23.12.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме за израду докторске дисертације кандидата Младена Радовановића, под називом: „Прилог дефинисању геометријских параметара дна откопних блокова при примени блоковских метода откопавања“. Предложена тема припада научном пољу техничко-технолошких наука и научној области рударско инжењерство, за коју Технички факултет у Бору има акредитоване докторске академске студије. На основу расположивог материјала Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Младен Радовановић је рођен 26.08.1984. у Књажевцу. Основну школу „Тимочки партизани“ у Књажевцу завршио је 1999. године. Књажевачку гимназију уписује исте године и завршава 2003. године. Технички факултет у Бору, студијски програм Рударско инжењерство, смер Експлоатација лежишта минералних сировина, уписује 2003. године и завршава 2012. године са просечном оценом 8,24. Дипломски рад са темом „Анализа постојећег стања, могућности и перспективе подземне експлоатације у Јами Бор“, одбранио је са оценом 10. Мастер академске студије на истом студијском програму уписује 2013. године и завршава 2016. године са просечном оценом 9,75. Мастер рад са темом „Развој површинског копа кварцног пешчара Део Доња Бела Река за период 2016.-2021. године“, одбранио је са оценом 10. Докторске академске студије, уписао је школске 2016/2017 године на Техничком факултету у Бору, на студијском програму Рударско инжењерство. Положио је све испите предвиђене студијским програмом са просечном оценом 9,89.

У току досадашњих докторских академских студија на студијском програму Рударско инжењерство, кандидат Младен Радовановић је положио следеће испите:

- 1) Нумеричке методе у геомеханици (оцена 10);
- 2) Методологија научно истраживачког рада у рударству (оцена 9);
- 3) Теоријски принципи гравитацијске концентрације (оцена 10);
- 4) Специфичне технологије површинске и подводне експлоатације (оцена 10);
- 5) Нетрадиционалне технологије подземне експлоатације (оцена 10);
- 6) Докторска дисертација - дефинисање теме (оцена 10);
- 7) Докторска дисертација - студијски истраживачки рад 1 (оцена 10);
- 8) Докторска дисертација - студијски истраживачки рад 2 (оцена 10);
- 9) Докторска дисертација - студијски истраживачки рад 3 (оцена 10),

чиме је стекао услов да пријави тему за израду докторске дисертације.

Септембра 2014. године заснива радни однос у погону „Белоречки пешчар“ који послује у оквиру компаније Југо-Каолин, која је део немачке Qwarzwerke групе, на радном месту Главни инжењер службе експлоатације и прераде на дробљењу, да би касније током 2016. године био унапређен у Руководиоца службе експлоатације и прераде на дробљењу и на том месту остаје до јануара 2018. године.

Од јануара 2018. године започиње радни однос на Техничком факултету у Бору на месту универзитетског сарадника - асистента за ужу научну област Рударство и геологија – рударска група предмета, са пуним радним временом. У том периоду ангажован је на извођењу вежби из предмета Технологија подземне експлоатације, Методе откопавања, Пројектовање рудника и Транспорт, који по важећој акредитацији припадају основним академским студијама, као и на предметима Планирање јамске производње, Контролисано минирање и Техно-економска оцена пројеката који по важећој акредитацији припадају мастер академским студијама.

Аутор је или коаутор већег броја радова публикованих у међународним часописима и часописима националног значаја, као и саопштења са конференција међународног и националног значаја, а такође је учествовао и у изради неколико студија и пројеката.

1.2. Истраживачка интересовања

Радови објављени у научним часописима међународног значаја (M20)

Рад у међународном часопису (M23)

1. V. Milić, **M. Radovanović**. Determination of the Main Parameters of Semi-Level Induced Caving Method with Lateral Loading, Journal of Mining Science, ISSN: 1062-7391, Vol 57, No. 1, pp. 76-85, 2021, [Impact factor (IF) 0.850/2021] (M23)

Радови у националном часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком (M24)

1. V. Milić, **M. Radovanović**. Applicability of the shortwall mining methods in Rembas mine pits, Mining and Metallurgy Engineering Bor, ISSN: 2334-8836, No. 3-4/2018, pp. 19-26, M24, 2018.

Зборници међународних научних скупова (M30)

Саопштења са научног скупа штампана у целини (M33)

1. J. Ivaz, D. Petrović, V. Milić, S. Stojadinović, P. Stojković, R. Pantović, **M. Radovanović**, Procedure for management of self-contained self-rescuer as a waste in underground coal mining, 26th International Conference Ecological Truth & Environmental Research, Bor Lake, Bor, Serbia, 2018, pp. 355-360.
2. V. Milić, **M. Radovanović**, S. Tasić. Analysis of the possibility for application of shortwall method in the Ravna Reka coal deposit of the Rembas mine, 50th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia, 2018, pp. 151-154.
3. J. Ivaz, **M. Radovanović**, P. Stojković, D. Petrović, V. Milić, S. Stojadinović, M. Žikić. Analysis of CO emissions in Bor and Zaječar, 27th International Conference Ecological Truth and Environmental Research, Bor Lake, Bor, Serbia, 2019, pp. 135-141.
4. **M. Radovanović**, J. Ivaz, P. Stojković, D. Petrović, V. Milić, S. Stojadinović, M. Žikić. Analysis of environmental pollution with dust from non-metallic open pits, 27th International Conference Ecological Truth and Environmental Research, Bor Lake, Bor, Serbia, 2019, pp. 142-147.
5. J. Ivaz, **M. Radovanović**, D. Petrović, V. Milić, S. Stojadinović, P. Stojković. Prediction of SO₂ emissions in city of Bor, based on artificial neural network, 51th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia, 2019, pp. 253-256.
6. J. Ivaz, P. Stojković, **M. Radovanović**, R. Pantović, D. Petrović, V. Milić, S. Stojadinović. Peak particle velocity prediction of blasting vibration based on ANN, 51th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia, 2019, pp. 295-298.
7. **M. Radovanović**, J. Sokolović, V. Milić, J. Ivaz. Optimization and automation of production process at the Belorecki pescar processing plant, 51th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia, 2019, pp. 242-245.
8. V. Milić, **M. Radovanović**, J. Ivaz, D. Pešić. Selection of the mining method for excavation in mining field Blagodot of lead and zinc mine Grot, 51th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia, 2019, pp. 246-249.

Учешће на пројектима које финансира привреда

1. S.Stojadinović, R. Pantović, M. Žikić, D. Petrović, J. Ivaz, **M. Radovanović**, P. Stojković. Projekat seizmičkog monitoringa miniranja na izradi niskopa prema rudarskom projektu na istraživanju čvrstih mineralnih sirovina u hidrotermalnom Cu-Au sistemu Čukaru Peki, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 2018.
2. S.Stojadinović, R. Pantović, M. Žikić, D. Petrović, J. Ivaz, **M. Radovanović**, P. Stojković. Elaborat o nultom stanju objekata u okolini radilišta portala istražnih niskopa prema Rudarskom projektu na istraživanju čvrstih mineralnih sirovina u hidrotermalnom Cu-Au sistemu Čukaru Peki, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 2018.
3. R. Pantović, M. Žikić, N. Vušović, S.Stojadinović, D. Petrović, **M. Radovanović**, J. Ivaz, P. Stojković. Studija geomehaničkih ispitivanja na prostoru Potaj Čuka, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 2019.
4. M. Ljubojev, **M. Radovanović**, S. Obradović. Merenje naponskog stanja (monitoring) u blizini otkopa u rudnom telu "Borska Reka" za potrebe eksploatacije rudnog tela "Borska Reka" Rudnika Jama komorno stubnom metodom zapunjavanja otkopnog prostora pastom-zasipom, IRM Bor, Bor 2021.
5. S. Stojadinović D. Petrović, D.Tanikić, B. Živković, J. Ivaz, P. Stojković, **M. Radovanović**. Tehnički rudarski projekat prevoza i ljudi postojećim transporterom sa gumenom trakom u glavnom transportnom niskopu od K-21 m do K-235 m u Jami Bor, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 2022.
6. S. Stojadinović, R.Pantović, D. Petrović, J. Ivaz, P. Stojković, **M. Radovanović**, M. Stajić. Idejni projekat otkopavanja kvarcnog peska na ležištu "Deo" Donja Bela Reka, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 2022.
7. S. Stojadinović, R.Pantović, D. Petrović, J. Ivaz, P. Stojković, **M. Radovanović**, M. Stajić. Projekat sanacije i rekultivacije površinskog kopa "Deo" Donja Bela Reka, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 2022.
8. R.Pantović, S. Stojadinović, D. Petrović, **M. Radovanović**, M. Stajić, M. Voza. Elaborat o dopunskim laboratorijskim geomehaničkim ispitivanjima za novu trasu obilaznog tunela Kriveljske reke, Tehnički fakultet u Boru, Bor, 2022.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу увида у биографске податке, претходно изнетих података о досадашњем раду, оствареним резултатима током докторских академских студија и научно-истраживачког рада кандидата, Комисија је установила, да кандидат Младен Радовановић има научно–стручну усмереност, способност и самосталност за научно-истраживачки рад у области којој припада предложена тема дисертације, те се оцењује подобним за рад на предложеној теми. Комисија закључује, да кандидат Младен Радовановић поседује све потребне квалификације и испуњава формалне услове за израду докторске дисертације под називом „Прилог дефинисању геометријских параметара дна откопних блокова при примени блоковских метода откопавања“.

2. Предмет и циљ истраживања

2.1. Предмет истраживања

Блоковске методе откопавања, нарочито оне из групе са зарушавањем руде и пратећих стена, постају све заступљеније при експлоатацији рудних лежишта са сиромашнијом рудом, која залежу на већим дубинама. Код блоковских метода откопавања процес истакања руде од суштинског је значаја за искоришћење и осиромашење руде, а самим тим и за ефикасност методе откопавања, док је за безбедне и сигурне услове за рад потребно остварити неопходну стабилност откопа. За блоковске метода откопавања карактеристична је припрема дна откопних блокова. Стабилност откопа, као и успешност процеса истакања руде зависи пре свега од конструкције дна откопних блокова укључујући просторије подсецања, бушења, утовара, њихов међусобни положај и растојање, као и величину и облик попречног пресека ових просторија. Геометријски параметри дна откопних блокова, као и врста конструкције дна откопних блокова условљени су усвојеном методом откопавања и димензијама откопних блокова који се најчешће одређују према најповољнијим вредностима искоришћења и осиромашења руде. Услед све сложенијих услова у којима се експлоатација одвија у данашње време, дефинисање геометријских параметара дна откопних блокова са аспекта стабилности добија на значају. Поред конструктивних карактеристика дна блока, дубине на којој се врши експлоатација, физичко-механичких карактеристика и примарног напонског стања стенског масива, при анализи стабилности дна блока треба узети у обзир и карактеристике које нису одраз природног стања стенске масе, а могу утицати на промену њеног квалитета. Приликом израде просторија и формирања дна откопа, као и услед минирања при експлоатацији руде, у деловима око ископа формирају се зоне са лошијим геомеханичким карактеристикама у односу на интактну стену. Величина ослабљене зоне, то јест њена ширина и степен оштећења, који настају као последица извођења рударских радова зависе од примењене технологије израде просторија, односно начина откопавања и услова радне средине. Квалитет минирања у комбинацији са садржајем влаге у јамском ваздуху, уз присуство пукотинских система, осим на ширину ослабљене зоне утиче и на степен оштећења стенске масе. Генерализовани *Hoek-Brown*-ов критеријум лома који се користи при анализи напонско-деформационих стања укључује степен оштећења стенске масе услед минирања у одређеној мери. Међутим, константе које узимају у обзир оштећења сетенске масе код овог критеријума лома усвајају се само на основу претпоставки о квалитету минирања при изради просторија или формирању откопа, тако да би најефикасније решење било када би се степен оштећења стенске масе одредио ин-ситу и као такав искористио у анализи стабилности. На тај начин би се приликом креирања модела могла дефинисати зона са лошијим геомеханичким карактеристикама око израђених просторија у дну откопног блока и на тај начин добити прецизнији резултати који би са инжењерског аспекта имали много већу примену, поготово при експлоатацији на већим дубинама.

Предметом истраживања дисертације дефинисаће се параметри као што су ширина, висина подсецања, положај и растојање између утоварних просторија у дну

блока итд., у функцији стабилности дна откопних блокова и просторија припреме у њима. Физичко-механичке карактеристике стенске средине добијене лабораторијским испитивањем на узорцима из дела просторија које су ослабљене под утицајем дејства рударских радова, физичко-механичке карактеристике непоремећене радне средине и напонско стање стенске масе добијено мерењима на терену, користили би се као улазни подаци приликом креирања модела. Креирање нумеричког модела вршило би се у програмским пакетима који омогућавају 3D анализу стабилности и на тај начин би се утврдило на који начин и у којој мери сваки од параметара утиче на стабилност различитих конструкција дна откопних блокова, а самим тим и на стабилност читавог система.

2.2. Циљ истраживања

Код блоковских метода откопавања осим параметара откопних блокова веома битну улогу има конструкција дна откопних блокова. С обзиром на то да се у дну блока, тј. у просторијама у дну блока одвијају све главне технолошке операције при експлоатацији, као што су утовар, бушење, минирање, по потреби и запуњавање откопних простора, значи да је стабилност ових просторија од највећег значаја за безбедност запослених при откопавању, као и успешну примену изабране методе.

Циљ истраживања јесте креирање нумеричког модела на основу дефинисаних улазних параметара, помоћу кога се може одредити у којој мери и на који начин одређени параметар утиче на стабилност дна откопног блока и на основу кога се може за усвојене димензије откопног блока и дубину на којој се врши експлоатација одредити најповољнији геометријски параметри дна откопног блока. За дефинисање параметара неопходних за креирање модела (ширина и висина откопних блокова, врста и конструктивне карактеристике дна блока, висина и ширина подсецања, начин утовара руде, положај и растојање између утоварних ходника итд.) потребно је анализирати параметре блоковских метода које имају најширу примену у пракси, припрему дна блока са становишта конструкције, као и геомеханичке услове стабилности.

2.3. Осврт на релевантне библиографске изворе

Досадашња истраживања блоковских метода су углавном била усмерена на процес истакања и искоришћење и осиромашење руде. Параметри истакања руде испитивани су на физичким моделима сличности и на нумеричким моделима, при чему је акценат стављан на одређивању оптималног растојања између испусних отвора. Конструкција дна откопних блокова и параметри који утичу на стабилност дна откопних блокова нису били предмет посебних истраживања, већ је стабилност анализирана у склопу испитивања самих откопних блокова и параметара истакања. Истраживања спроведена у рудницима у којима се за откопавање примењују методе блоковског самообрушавања показују да се параметри откопних блокова, одређени на основу наојптималнијих вредности за искоришћење и осиромашење руде, не морају поклапати са најповољнијим параметрима са аспекта стабилности откопа. У циљу постизања најповољнијих откопних и економских показатеља, комбинацијом

испитивања параметара истакања руде и анализом стабилности дна блока на нумеричким моделима може се добити оптимална конструкција откопа. Стабилност производног нивоа код неких варијанти блоковског самообрушавања руде проучавана је на основу начина и квалитета подсецања, напонског стања и висине између нивоа подсецања и нивоа истакања руде.

У доступној литератури стабилност откопа је анализирана одређивањем напонског стања за дефинисане контурне услове неком од аналитичких, емпиријских или нумеричких метода. На основу анализе доступне литературе везане за испитивање услова стабилности установљено је да поред напонско-деформацијског стања и физичко-механичких карактеристика стенског масива велики утицај на стабилност има сама конструкција, оријентација и димензије откопа. Такође, услови стабилности испитивани су и на основу димензионисања сигурносних стубова и утицаја односа ширина/висина и односа дужина/ширина код стубова. Величине напона одређене рачунским путем могу се знатно разликовати од измерених вредности, нарочито у случају хоризонталних напона, док је код вертикалног напона изражен јасан тренд раста са повећањем дубине и као такав има и велики утицај на стабилност при експлоатацији на већим дубинама. Утицај зоне са слабијим физичко-механичким карактеристикама које се јављају око припремних и откопних просторија, као и утицај саме конструкције дна откопног блока на стабилност нису биле предмет посебног истраживања у доступној литератури.

Релевантна литература коришћена за дефинисање и обраду теме ове докторске дисертације је дата по абecedном редоследу:

Bullock, R. and Hustrulid, W., Planning the Underground Mine on the Basis of Mining Method, Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.: Littleton, Colorado, USA, 2001; pp. 29-49.

Butcher, R.J., Design rules for avoiding draw horizon damage in deep level block caves, The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 1999, vol. 99, pp. 151-155.

Campbell, R., Banda, H., Fajar, J. and Brannon, C., Optimising for success at the Grasberg Block Cave, Caving 2018: Proceedings of the Fourth International Symposium on Block and Sublevel Caving, Canada, Vancouver, 2018, pp. 3-16.

Castro, R.L., Gonzales, F. and Arancibia, E., Development of a gravity flow numerical model for the evaluation of drawpoint spacing for block/panel caving, The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 2009, vol. 109, no. 7, pp. 393-400.

Cuello, D. and Newcombe, G., Key geotechnical knowledge and practical mine planning guidelines in deep, high-stress, hard rock conditions for block and panel cave mining, Caving 2018: Proceedings of the Fourth International Symposium on Block and Sublevel Caving, Canada, Vancouver, 2018, pp. 17-36.

Delentas, A., Bernados, A. and Nomikos, P., Analyzing Stability Conditions and Ore Dilution in Open Stope Mining, *Minerals*, 2021, vol. 11, no. 6, 1404, doi.org/10.3390/min11121404.

Esterhuizen, G, Dolinar, D. and Ellenberger, J., Pillar Strength and Design Methodology for Stone Mines, *Proceedings of the 27th International Conference on Ground Control in Mining*, USA, West Virginia, Morgantown, 2008, pp. 241-253.

Gomez, R., Saez, K., Pino, N., Labbe, E. and Marambio, E., Analysis of extraction level layouts for block caving, *MassMin 2020: Proceedings of the Eighth International Conference & Exhibition on Mass Mining*, University of Chile, Santiago, 2020, pp. 773-786.

Guo, M., Tan, Y., Chen, D., Song, W. and Cao, S., Optimization and Stability of the Bottom Structure Parameters of the Deep Sublevel Stope with Delayed Backfilling, *Minerals*, 2022, vol. 12, no. 6, 709, doi.org/10.3390/min12060709.

Hoek. E. and Brown, E.T., The Hoek–Brown failure criterion and GSI – 2018 edition, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2019, vol.11, no. 3, pp. 445-463.

Julin, D.E. and Tobie, R., Block caving, *Mining Engineering Handbook*, 2nd ed., Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.: Littleton, Colorado, USA, 1992; pp. 1815- 1836.

Kaiser, P., Kim, B., Bewick, R. and Valley, B., Rock mass strength at depth and implications for pillar design, *Mining Technology*, 2011, vol. 120, no. 3, pp. 170-179.

Laubscher D.H., Jakubec J., The MRMR rock mass classification for jointed rock masses. In: Hustrulid WA, Bullock RL, eds. *Underground mining methods: engineering fundamentals and international case studies*. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 2001, pp. 475–481.

Marinos P., Hoek E., GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. In: *Proceedings of the GeoEng2000 at the international conference on geotechnical and geological engineering*, Melbourne, Technomic publishers, Lancaster, 2000, pp 1422–1446.

Martin, C.D. and Maybee, W.G., The strenght of hard-rock pillars, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2000, vol. 37, pp. 1239-1246.

McNearn, R.L. and Abel, J.F., Large-scale two-dimensional block caving model tests, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 1993, vol. 30, pp. 93-109.

Nikolić M., Roje-Bonacci T., Ibrahimbegovic A., Overwiev of the numerical methods for the modelling of rock mechanics problems, *Technical Gazzete*, 2016, vol. 23, no. 2, pp. 627-637.

Peters, D., Physical modelling of the draw behavior of broken rock in caving, *Quart. Colorado School of Mines*, 1984, vol. 79, no. 1, pp. 1-48.

Sankhaneel, S. and Walton, G., Integration of three-dimensional continuum model and two-dimensional bonded block model for studying the damage process in a granite pillar at the

Creighton Mine, Sudbury, Canada, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 275-288.

Sankhaneel, S. and Walton, G., Numerical analyses of pillar behavior with variation in yield criterion, dilatancy, rock heterogeneity and length to width ratio, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2019, vol. 11, no. 1, pp. 46-60.

Sepehri, M., Finite Element Analysis Model for Determination of In-situ and Mining Induced Stresses as a Function of Two Different Mining Methods Used at Diavik Diamond Mine. Doc. Min. Sci. Thesis, University of Alberta, Department of Civil and Environmental Engineering, Canada, 2016.

Shelswell, K.J., Labrecque, P.O. and Morrison, D.M., Increasing productive capacity in block caving mines, *Caving 2018: Proceedings of the Fourth International Symposium on Block and Sublevel Caving*, Canada, Vancouver, 2018, pp. 107-118.

Susaeta, A., Theory of gravity flow (part 1), *Proceedings of the 4th International Conference & Exhibition on Mass Mining*, University of Chile, Santiago, Chile, 2004, pp. 167-172.

Susaeta, A. and Diaz, H., Estado del arte del modelamiento del flujo gravitacional en minería por hundimiento de bloques. *Minerales*, 2000, vol. 55, no. 255, pp. 17–26.

Swart, A.H. and Handley, M.F., The design of stable stope spans for shallow mining operations, *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 2005, vol. 105, pp. 275-286.

Taherynia M. H., Agha S., and Fahimifar A., In-Situ Stress State and Tectonic Regime in Different Depths of Earth Crust. *Geotechnical and Geological Engineering*, 2016, vol. 34, pp. 679-687.

Trueman, R., Castro, R. and Halim, A., Study of multiple draw-zone interaction in block caving mines by means of a large 3D physical model, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2008, vol. 45, no. 7, pp. 1044-1051.

Trueman, R., Pierce, M. and Wattimena. R., Quantifying stresses and support requirements in the undercut and production level drifts of block and panel caving mines, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2002, vol. 39, no. 5, pp. 617-632.

Zhi-Yuan, X. and Zhuo-Ying, T., Study on Instability Mechanism of Extraction Structure under Undercut Space Based on Thin Plate Theory in Block Caving Method, *Shock & Vibration*, 2021, 2/28/2021, pp. 1-11.

Zhiyuan, X., Zhuoying, T., Qingyan, P. and Junhu, W., Ground Pressure Damage Evolution Mechanism of Extraction Level Excavations Induced by Poor Undercutting in Block Caving Method, *Geotechnical and Geological Engineering*, 2019, vol. 37, pp. 4461-4472.

3. Полазне хипотезе

У оквиру докторске дисертације „Прилог дефинисању геометријских параметара дна откопних блокова при примени блоковских метода откопавања“ биће испитана општа хипотеза истраживања:

Применом експерименталних и нумеричких метода могуће је креирати модел који се може користити за одређивање параметара дна откопних блокова у зависности од конструкције откопа, дубине на којој се врши експлоатација и геомеханичких карактеристика стенске масе, за које ће посматрани систем бити стабилан.

4. Научне методе истраживања

У почетној фази истраживања са циљем израде докторске дисертације извршиће се одређивање физичко-механичких карактеристика стенске средине лабораторијским методама на узорцима који ће се добити из бушотина у боковима просторија. Прикупљање узорка за одређивање физичко-механичких особина стенске масе који ће се користити при креирању модела за анализу стабилности, биће спроведени у рудном телу „Борска Река“, у оквиру рудника бакра Јама, који се налази у саставу Рудника бакра Бор. Рудно тело „Борска Река“ припада категорији лежишта великих размера, са ниским садржајем корисне компоненте. Имајући у виду да је главна карактеристика подземне експлоатације широм света експлоатација лежишта на све већим дубинама са ниским садржајем корисне компоненте, а да је просечна крајња дубина рудног тела од површине терена око 900 m, може се закључити да рудно тело „Борска Река“ представља адекватно место за експериментална истраживања. За одређивање специфичне масе користиће се метода која је позната као пикнометарска метода, док ће се запреминска маса одредити потапањем узорка у воду и мерењем истиснуте течности уз претходно парафинисање и мерење масе узорка. Чврстоћа на притисак, као и параметри деформабилности Јунгов модуло еластичности и Поасонов коефицијент добиће се из опита једнооксијалне компресије на пробним телима у облику ваљка. Затезна чврстоћа ће се добити из Бразилског теста, такође на пробним телима у облику ваљка. Параметри отпора смицању кохезија и угао унутрашњег трења одредиће се на основу резултата добијених триаксијалним тестом, док ће се брзине простирања таласа добити ултразвучном методом.

У другом делу дисертације, на основу добијених података и конструктивних параметара откопних блокова и припремних радова у дну откопних блокова, вршиће се креирање нумеричког тродимензионалног модела у програмском пакету *Midas GTS NX* применом методе коначних елемената. При креирању модела за критеријум лома користиће се генерализовани *Hoek-Brown-ov* критеријум лома. На тако конструисаном нумеричком моделу применом методе коначних елемената за променљиве вредности геометријских параметара дна откопних блокова, вршиће се анализа стабилности дна откопних блокова и просторија припреме у њима преко фактора сигурности и величина напона и померања, при чему ће различите комбинације улазних параметара и њихових вредности доводити до различитих излазних вредности, односно резултата.

5. Очекивани научни допринос

Вредност напона одређена аналитичким и емпиријским методама у пракси се не мора поклапати са стварним напонским стањем у стенском масиву. Око израђених просторија формира се ослабљена зона у којој су услед извођења рударских радова геомеханичке карактеристике знатно лошије него код интактне стене. Због тога је неопходно извршити одређивање физичко-механичких карактеристика стенског масива око просторија са циљем утврђивања њихових стварних вредности. Анализа геомеханичких услова стабилности на основу тако одређених физичко-механичких карактеристика стенског масива, омогућиће усвајање улазних параметара за креирање модела, који утичу на стабилност посматраног система рудничких просторија у дну отконог блока. Осим тога неопходно је анализирати и параметре блоковских метода које имају најширу примену у пракси и припрему дна блока са становишта конструкције како би се усвојили параметри неопходни за креирање модела. Ту се пре свега мисли на ширину и висину откопних блокова, врсту и конструктивне карактеристике дна блока (висина и ширина подсецања, начин утовара руде, положај и растојање између утоварних ходника итд.).

Као резултат истраживања у оквиру дисертације очекује се остварење научног доприноса који се огледа у изради универзалног модела за одређивање геометријских параметара дна блока помоћу анализе стабилности, при примени блоковских метода откопавања, за различите конструкције дна откопних блокова. С обзиром на то да модел узима у обзир реалне параметре радне средине (степен оштећења и ширину ослабљене зоне која се формира око просторија), креирани модел се може користити за одређивање конструкције и геометријских параметара дна откопних блокова, који могу омогућити сигурне услове за рад на експлоатацији.

6. План истраживања и структура рада

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације спроводиће се у следећим фазама:

- Литературни преглед досадашњих истраживања из посматране области, као и других релевантних извора;
- Теоријска анализа параметара блоковских метода откопавања и припреме дна блока;
- Теоријска анализа геомеханичких услова стабилности – напонско стање стенског масива, деформабилност стенских маса, критеријуми лома стенске масе;
- Експериментални део – прикупљање узорака и лабораторијско одређивање физичко-механичких карактеристика стенске средине око израђених просторија, прикупљање и обрада добијених података, селекција и одабир улазних параметара;
- Анализа могућности примене нумеричких метода при креирању модела за анализу стабилности;
- Креирање нумеричког модела;
- Анализа и дискусија добијених резултата и закључни коментари.

Према датом плану истраживања може се очекивати следећа структура докторске дисертације: Увод, Литературни преглед досадашњих истраживања, Теоријски део, Експериментални део, Развој (креирање) модела за одређивање геометријских параметара дна блока, Резултати и дискусија, Закључак и Литература.

7. Закључак и предлог

На основу анализе података из пријаве кандидата и образложења теме докторске дисертације, Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Младена Радовановића, мастер инжењера рударства, закључује да кандидат испуњава све законске и суштинске услове за израду докторске дисертације. Такође, Комисија сматра да предложена тема „Прилог дефинисању геометријских параметара дна откопних блокова при примени блоковских метода откопавања“, по предмету истраживања, циљевима, садржају и очекиваним научним доприносима, представља значајно подручје истраживања и као таква може бити предмет докторске дисертације.

Комисија предлаже Наставно–научном већу Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, да се кандидату Младену Радовановићу, мастер инжењеру рударства, одобри израда докторске дисертације под називом „Прилог дефинисању геометријских параметара дна откопних блокова при примени блоковских метода откопавања“ и да се за ментора именује проф. др Радоје Пантовић, редовни професор Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, која испуњава све Законом предвиђене услове.

У Бору, јануара 2023. године

КОМИСИЈА:

др Дејан Петровић, доцент

Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

др Саша Стојадиновић, ванредни професор

Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

др Раде Токалић, редовни професор

Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Универзитет у Београду
ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ У БОРУ
Број: VI/1-997/6
Бор, 10.10.2022.

На основу члана 109. Закона о високом образовању и члана 101. Статута
Универзитета у Београду, доносим

Р Е Ш Е Њ Е

Радовановић Младену, бр. индекса 27/2016, студенту на докторским академским студијама, студијски програм: **Рударско инжењерство**, продужује се рок за завршетак студија до истека рока у троструком броју школских година потребних за реализацију студијског програма, односно до краја школске 2024/25. године.

Доставити:

- именованом
- студентској служби



ДЕКАН

Проф. др Дејан Таникић