

Факултет Рударско-геолошки

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука
(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

(Датум)

ЗАХТЕВ

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:

„Развој хибридног модела за управљање ризиком при стратешком планирању

површинских копова“

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Рударско инжењерство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

Петар (Предраг) Марковић, маг. инж. рударства

2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):

Рударско инжењерство

Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет

3. Година завршетка

претходног нивоа студија: 2020. год.

4. Година уписа на докторске студије:

2020/21. год.

5. Назив студијског програма
докторских студија:

Рударско инжењерство

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: др Дејан Стевановић, Рударско-геолошки факултет

Звање: Ванредни професор

Списак радова:

1. Aleksandar Doderovic, Svetozar-Milan Doderovic, Sasa Stepanovic, Mirjana Banković, & **Dejan Stevanović**, (2023). **Hybrid Model for Optimisation of Waste Dump Design and Site Selection in Open Pit Mining**. Minerals, 13(11), 1401–1401. (M22) IF=2.2, <https://doi.org/10.3390/min13111401>
2. Markovic, P.; **Stevanovic, D.**; Kolonja, B.; Slavkovic, D.; Krzanovic, D., (2025). **A Hybrid Model for Risk-Based Strategic Planning in Open-Pit Mining: Integrating Deterministic, Stochastic, and ISO 31000 Approaches**. Applied Science, 15(5), 2500. (M22) IF=2.5 <https://doi.org/10.3390/app15052500>
3. Banković, M., **Stevanović, D.**, Pešić-Georgiadis, M., Tomašević, A., & Kolonja, L. (2018). **Improving efficiency of thermal power plants through mine coal quality planning and control** [Vinča Institute of Nuclear Sciences]. Thermal Science, 22(1 Part B), 721–733. (M22) IF= 1.541, <https://doi.org/10.2298/tsci170605209b>
4. Kržanović, D., Conić, V., **Stevanović, D.**, Kolonja, B., & Vaduvesković, J. (2017). **Long-Term Planning for Open Pits for Mining Sulphide-Oxide Ores in Order to Achieve Maximum Profit**, Archives of Mining Sciences, 62(4), 807–824. (M23) IF= 0.629 <https://doi.org/10.1515/amsc-2017-0056>,
5. Miodrag Čelebić, Dragoljub Bajić, Sanja Bajić, Mirjana Banković, Duško Torbica, Aleksej Milošević, **Dejan Stevanović**, (2024). **Development of an integrated model for open-pit-mine discontinuous haulage system optimization**. Sustainability, 16(8), 3156. (M22) IF=3.3, <https://doi.org/10.3390/su16083156>

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној _____ 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

- 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

На основу члана 67. и 114. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и члана 30. Правилника о докторским студијама на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној 24.04.2025. године, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације **Петра Марковића, маг. инж. рударства**.
2. Одобрава се именованом израда докторске дисертације под насловом *„Развој хибридног модела за управљање ризиком при стратешком планирању површинских копова“*.
3. Тема докторске дисертација је оригинална идеја, од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.
4. За ментора се именује др Дејан Стевановић, ванр. проф.
5. Сагласност на предлог теме докторске дисертације из ове одлуке даје Веће научних области техничких наука.

Д Е К А Н

др Александар Цвјетић, ред. проф.

Достављено:

- Већу научних области техничких наука
- Ментору
- Именованом
- Одељењу за студентска питања

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Научна заснованост теме кандидата Петра Марковића, мастер инжењера рударства, за израду докторске дисертације.

Одлуком Наставно-научног Већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду бр. 1/71 од 01.04.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Петра Марковића, мастер инжењер рударства, под називом: „Развој хибридног модела за управљање ризиком при стратешком планирању површинских копова“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, на основу спроведене одбране предложене теме која је организована 04.04.2025. године у 12:00 сати, као и на основу Записника о одбрани, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1.1. Општи биографски подаци

Петар Марковић, мастер инжењер рударства, рођен је 09.01.1997. године у Приштини, Републици Србији. Основну школу „Јован Цвијић“ завршио је у Костолцу, а средњу „Политехничку школу Пожаревац“ (смер: саобраћајни техничар) у Пожаревцу. Током основног и средњошколског образовања учио је два страна језика - енглески и француски.

По завршетку „Политехничке школе Пожаревац“, уписује Основне академске студије на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, смер „*Рударско инжењерство*“, модул „*Површинска експлоатација лежишта минералних сировина*“, и исте завршава 2019. године, у предвиђеном року од четири школске године. Завршни рад на тему „Прорачун основних механизма багера дреглајна ЕШ 6/45“, под менторством проф. др Драгана Игњатовића, одбранио је 26. августа 2019. године са оценом 10 и тиме стекао звање дипломираног инжењера рударства. Просечна оцена на Основним академским студијама: 9,02 (девет и 02/100).

Након завршених Основних академских студија, у октобру 2019. године, уписује Мастер академске студије на истом факултету, на смеру „*Рударско инжењерство*“, модул

„Површинска експлоатација лежишта минералних сировина“, и исте завршава 2020. године, у предвиђеном року у трајању једне школске године. Завршни рад на тему „Дефинисање развоја рударских радова у програмском пакету Whittle“, под менторством проф. др Дејана Стевановића, одбранио је 25. септембра 2020. године са оценом 10 и тиме стекао звање мастер инжењера рударства. Просечна оцена на Мастер академским студијама: 10,00 (десет и 0/100).

Докторске студије на Рударско-геолошком факултету у Београду, студијски програм - „Рударско инжењерство“, уписао је 2020. године. До сада је положио 16 испита, са просеком 10,00 и стекао 175 од 180 ЕСПБ бодова.

Списак положених испита на докторским студијама

Бр.	Ознака	Назив испита	Оцена	ЕСПБ бодови
1.	20-3ВКОР	Вишекритеријумско одлучивање у рударском инжењерству	10	10
2.	20-3ИДД1	Израда докторске дисертације 1	10	10
3.	20-3ИДД2	Израда докторске дисертације 2	10	10
4.	20-3ОПВС	Одабрана поглавља из вероватноће и статистике	10	10
5.	20-3ИНФС	Информациони системи	10	10
6.	20-3ГГИС	Геостатистика и географски информациони системи	10	10
7.	20-3ГСМР	Геостатистичко моделирање у рударству	10	10
8.	20-3ИДД3	Израда докторске дисертације 3	10	10
9.	20-3ОСПЕ	Оптимизација система површинске експлоатације	10	10
10.	20-3ИДД4	Израда докторске дисертације 4	10	10
11.	20-3ПОЛК	Планирање и оптимизација површинских копова	10	10
12.	20-3ОПМД	Одабрана поглавља из механике стена	10	10
13.	20-3НИР1	Научно-истраживачки рад 1	10	5
14.	20-3ИДД5	Израда докторске дисертације 5	10	25
15.	20-3НИР2	Научно-истраживачки рад 2	10	5
16.	20-3ИДД6	Израда докторске дисертације 6	10	20

Од 2019. године члан је највећег светског удружења из области рударства „Society for Mining, Metallurgy & Exploration“ (SME). Годину дана касније постао је и члан „Савеза инжењера рударства и геологије Србије“, а две године касније и члан „Коморе рударских и геолошких инжењера Србије“. Поседује активно знање енглеског језика а служи се и француским језиком.

У марту 2023. године, положио је стручни испит прописан Законом о рударству и геолошким истраживањима (Сл. Гласник РС број 101/2015, 95/2018 и 40/2021).

Током студирања од 2019. до 2022. године, као студент са просечном оценом преко 9,00 био је стипендиста Републике Србије, а током 2018. године и стипендиста града Пожаревца.

1.2. Предлог теме докторске дисертације

Кандидат Петар Марковић, мастер инж. рударства у својој пријави предложио је тему докторске дисертације под називом:

„Развој хибридног модела за управљање ризиком при стратешком планирању површинских копова“.

На седници Катедре за пројектовање и планирање површинских копова, одржаној 05.03.2025. године, на којој је разматрана иста пријава, предложена тема је усвојена и покренут је поступак за именовање Комисије за оцену научне заснованости предложене теме. Предлогом од стране Катедре за пројектовање и планирање површинских копова (бр. 1/41 од 05.03.2025. године), предложена је Комисија у следећем саставу:

1. др Дејан Стевановић, ванредни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду,
2. др Мирјана Банковић, доцент Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и
3. др Даниел Кржановић, виши научни сарадник Института за рударство и металургију Бор.

На седници Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, која је одржана 01.04.2024. године, одлуком (бр. 1/71 од 01.04.2025. године) именована је Комисија за оцену научне заснованости предложене теме.

1.3. Подаци о садашњем и претходном запослењу

Од новембра месеца 2019. године до марта месеца 2023. године, кандидат је био запослен на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, на катедри за Пројектовање и планирање површинских копова, на позицији стручног сарадника. У међувремену, дана 20. октобра 2022. године, стекао је и звање истраживача-приправника.

Дана 01.04.2023. године изабран је у звање асистента на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, на катедри за Пројектовање и планирање површинских копова. На овом радном месту се тренутно налази, где је ангажован на следећим предметима:

Списак предмета на којима је кандидат ангажован

Назив предмета	Студијски програм	Степен	Часова
Пројектовање површинских копова	Рударско инжењерство	ОАС	2+2
Транспорт на површинским коповима	Рударско инжењерство	ОАС	2+2
Оптимизација површинских копова	Рударско инжењерство	ДАС	2+2
Планирање и системи површинске експлоатације	Рударско инжењерство	ДАС	2+2
Примењена геостатистика у рударству	Рударско инжењерство	ДАС	2+2
Геостатистичко моделирање лежишта	Рударско инжењерство	ДАС	2+2
Техноекономска оцена пројеката у рударству 1	Рударско инжењерство	ДАС	2+2

1.4. Списак објављених научних и стручних радова

У току досадашњег рада и студирања, кандидат је имао прилику да учествује у реализацији укупно 9 научно-истраживачких и стручних радова који су публиковани у часописима и зборницима радова пратећих конференција, на којима је потписан као аутор или коаутор.

Рад у међународном часопису на SCI листи категорије M22:

1. Stanic, N.; Gomilanovic, M.; **Markovic, P.**; Krzanovic, D.; Doderovic, A.; Stepanovic, S. A *Model for Determining the Dependability of Continuous Subsystems in Coal Mines Using the Fuzzy Logic Approach*. Applied Sciences 2024, 14(17), 7947. <https://doi.org/10.3390/app14177947> (M22) IF=2.5

Рад у врхунском часопису од националног значаја M51:

2. **Marković P.**, Stevanović D., Pešić Georgiadis M., Banković M. *Application of MCDA in the determination of optimal block size for open-pit modelling and mine planning* Underground Mining Engineering, 2021, 3, 67-85, University of Belgrade - Faculty of Mining and Geology, UDK 62, ISSN: 0354-2904 [10.5937/podrad2138067M](https://doi.org/10.5937/podrad2138067M) (M51)

Саопштење са међународног скупа, штампано у целини M33:

3. **Petar Marković**, Dejan Stevanović, Mirjana Banković, Vuk Lazić. *Navigating the future: business risks and opportunities in the mining industry*, in XVI International conference OMC 2024, Zlatibor : Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju, 2024 (M33)
4. Aleksandar Doderović, Miljan Gomilanović, Saša Stepanović, Nikola Stanić, Daniel Kržanović, **Petar Marković**, Tanja Stanković, *Constructing dewatering facilities to stabilize the slope of an unstable opencast mine*, The 55th International October Conference on Mining and Metallurgy, pp. 115 - 120, ISBN 978-86-7827-053-6, Kladovo, Serbia, 15-17. Oct, 2024. (M33)
5. **Petar Marković**, Dejan Stevanović, Mirjana Banković. *Impact of geological uncertainty in the development of mining projects* in International conference coal and critical minerals, CCM 2023, Zlatibor, Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju, 2023 (M33)
6. Stevanović D., Ignjatović D., Šubaranović T., Banković M, **Marković P.**, *Comparative analysis of the final designs of open pit Drmno* in XV International conference OMC 2022, Zlatibor, 12-15. Oct. 2022, pp. 172-185. Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju, ISBN: 978-86-83497-29-4, 2022 (M33)
7. Stevanović D., **Marković P.**, Banković M, Živković M., *Optimizacija faznog razvoja površinskog kopa Ciganuša – Škorac u cilju definisanja dugoročne dinamike eksploatacije*, in XV International conference OMC 2022, Zlatibor, 12-15. Oct. 2022, pp. 172-185. Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju, ISBN: 978-86-83497-29-4, 2022 (M33)
8. Nasirinezhad A., Stevanović D., Ignjatović D., **Marković P.**, *Overview of In-Pit Crushing and Conveying Technology In Open Pit Mines*, 8th International Conference on Mining and

Environmental Protection, Sokobanja, September 22-25. 2021, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, (M33)

9. Stevanović D., Banković M., Pešić Georgiadis M., **Marković P.**, Ranković D., *Application constrains of optimization algorithms in the case of coal mines*, in XIV International conference OMC 2022, Zlatibor, 14-17. Oct. 2020, pp. 76-87. Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju, ISBN: 978-86-83497-27-0, (M33)

1.5. Сечено стручно искуство

Поред активног бављења научно-истраживачким радом, кандидат Петар Марковић активно је учествовао у изради укупно 23 рударска пројекта и студија у својству одговорног пројектанта или пројектанта сарадника, на катедри за Пројектовање и планирање површинских копова на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду.

Током претходних пет година радног стажа на Рударско-геолошком факултету, имао је прилику да учествује у изради текстуалне и графичке документације рударских пројеката и студија, коришћењем великог броја специјализованих софтверских пакета попут: Geovia Surpac, Geovia Minex, Geovia Whittle, Haulsim (RMP Global), Talpac 2D (RMP Global), Talpac 3D (RMP Global), Helix DeltaT и QGIS. Ове софтверске пакете користио је за потребе оптимизације површинских копова, пројектовање и планирање производње, моделирање лежишта минералних сировина и симулирање утоварно-транспортних система (дисконтинуалних и континуалних). У наставку је списак пројеката и студија на којима је кандидат учествовао као одговорни пројектант или пројектант сарадник:

1. Допунски рударски пројекат експлоатације угља на површинском копу „Потрлица – Пљевља“ за период од 2020. до 2025. године (Инвеститор: Рудник угља А.Д. Пљевља, Црна Гора, 2020. година)
2. Студија изводљивости експлоатације лежишта минералних сировина „Велики Кривељ“ за годишњи капацитет руде од 23,1 милиона тона (Инвеститор: Serbia Zijin Copper DOO, 2020. година)
3. Студија изводљивости експлоатације лежишта „Западни Костолац“ (Инвеститор: Електропривреда Србије, 2020. година)
4. Допунски рударски пројекат формирања одлагалишта у откопани простор површинског копа „Краку Бугареску Цементација 1“ (Инвеститор: Serbia Zijin Copper DOO, 2020. година)
5. Студија дугорочне експлоатације угља на лежишту Богутово Село – Угљевик Исток 1 за потребе снабдевања термоелетермоелектране Угљевик (Инвеститор: Рудник и Термоелектрана Угљевик, 2020. година)
6. Студија изводљивости подземне експлоатације лежишта литијума и бора „Јадар“ (Инвеститор: Rio Tinto, 2021. година)

7. Технички рударски пројекат експлоатације, транспорта и одлагања откривке на површинском копу Дрмно (Инвеститор: Електропривреда Србије, ТЕ - КО Костолац, 2022. година)
8. Технички рударски пројекат експлоатације и транспорта угља на површинском копу Дрмно (Инвеститор: Електропривреда Србије, ТЕ – КО Костолац, 2022. година)
9. Главни рударски пројекат експлоатације жељезне руде у руднику Љубија лежишта Цигануша – Шкорац (Инвеститор: ArcelorMittal Prijedor, 2022. година)
10. Студија оптимизације завршне контуре површинског копа на лежиштима карбонатне и лимонитне руде Цигануша и Шкорац (Инвеститор: ArcelorMittal Prijedor, 2022. година)
11. Студија изводљивости експлоатације угља на површинском копу Дрмно – Актуелизација (Инвеститор: Електропривреда Србије, 2022. година)
12. Техничка контрола Допунског рударског пројекта откопавања површинског копа Северни ревер у руднику бакра Мајданпек, (Инвеститор: Serbia Zijin Copper DOO, 2023. година)
13. Технички рударски пројекат откривке и експлоатације угља на П.К. „Угљевик Исток 1“ – за период 2023-2027. година (Инвеститор: Рудник и Термоелектрана Угљевик, 2023. година)
14. Прелиминарна анализа експлоатације лежишта минералних сировина "Церово" за годишњи капацитет руде од 13,2 Mt (Инвеститор: Serbia Zijin Copper DOO, 2023. година)
15. Елоборат о класификацији, категоризацији и прорачуну резерви цинка и олова лежишта „Шупља Стијена“ и „Бурђево воде“, стање 31.12.2022. године (Инвеститор: Градир Монтенегро д.о.о. Пљевља, 2023. године)
16. Ревизија блок модела лежишта Бувач рудника Омарска (Инвеститор: ArcelorMittal Prijedor, 2023. године)
17. Студија оптимизације завршне контуре површинског копа Бувач рудника Омарска (Инвеститор: ArcelorMittal Prijedor, 2023. године)
18. Главни рударски пројекат експлоатације жељезне руде лежишта Омарска – локалитет „Бувач“ (Инвеститор: ArcelorMittal Prijedor, 2023. године)
19. Студија изводљивости експлоатације лежишта Западни Костолац (Инвеститор: Електропривреда Србије, тренутно у фази израде)
20. Допунски рударски пројекат одлагања јаловине са површинског копа Северни ревер (Инвеститор: Serbia Zijin Copper DOO, тренутно у фази израде)

21. Техничка контрола „Допунског рударског пројекта откопавања рудних тела Цементација 2 и Цементација 3 у лежишту Краку Бугареску Церово-Цементација“ (Инвеститор: Serbia Zijin Copper DOO, тренутно у фази израде)
22. Допунски рударски пројекат експлоатације дацита као техничко-грађевинског камена на површинском копу Ђерамиде код Рудника (Инвеститор: Teko Mining d.o.o., тренутно у фази израде)
23. Стратегија управљања минералним и другим геолошким ресурсима Републике Србије за период од 2025. до 2040. године, са пројекцијом до 2050. године (Инвеститор: Министарство рударства и енергетике Републике Србије, тренутно у фази израде)

1.6. Стручно усавршавање

Током 2022. године кандидат је похађао курс „*Cost Estimation For Mining*“ из области рударске економије, којим су обухваћене методе процене капиталних и оперативних трошкова експлоатације минералних сировина, као и методе формирања економског модела рударских пројеката. По завршетку овог курса, успешним решавањем тестова у циљу провере стеченог знања, стекао је сертификат *Ingeoexpert* онлајн тренинг центра који нуди велики број специјализованих курсева из области рударства, геологије, грађевинарства, заштите животне средине и архитектуре.

Током 2020. године, похађао је курсеве из области симулације утоварно – транспортних система на површинским коповима и у подземним рудницима, са циљем оптимизације продуктивности рударске опреме и редуковања оперативних и капиталних трошкова. По завршетку свакаког од следећих курсева: „*Haulsim (Surface) Training*“, „*Haulsim (Underground) Training*“, „*Talpac 3D Training*“, успешно је стекао три сертификата интернационалне компаније RPM Global, са седиштем у Аустралији, која се бави консалтингом и развојем специјализованих софтвера из области рударства и геологије.

Курс „*The Business of Mining*“ успешно је завршио 2019. године и тиме стекао сертификат од стране аустралијског Универзитета *Curtin*, који је уједно био организатор поменутог курса. Овај курс је за циљ имао боље разумевање рударске индустрије, и то кроз упознавање учесника са најчешћим техничким и економским проблемима који утичу на развој рударских пројеката.

Током летњег периода (јул месец) 2019. године, обављао је стручну праксу у ЈП Електропривреда Србије: Огранак „ТЕ-КО Костолац“ на површинском копу „Дрмно“.

1.7. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат Петар Марковић је, током свог досадашњег школовања и вишегодишњег рада на Рударско - геолошком факултету Универзитета у Београду, стекао неопходна знања и успешно овладао научним методама и техникама неопходним за рад на докторској дисертацији коју је пријавио. У потпуности је упознат са научном и стручном литературом и актуелним научним достигнућима која су директно повезана са темом његовог истраживања. Кандидат је савладао методологију научно - истраживачког рада, поседује потребну аналитичност и систематичност у раду.

С обзиром на досадашње образовање кандидата, професионално искуство, положене испите на докторским академским студијама, објављене резултате научно - истраживачког рада и стручне доприносе, Комисија сматра да је кандидат Петар Марковић адекватно припремљен и квалификован да самостално ради на предложеној теми докторске дисертације, те да ће остварити одговарајуће научне доприносе у тој области.

На основу увида у приложену биографију и објављене научне и стручне радове, Комисија сматра да кандидат Петар Марковић поседује потребна знања и искуство за израду докторске дисертације на предложеном тему.

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

2.1. Предмет истраживања

Процес стратешког планирање у површинској експлоатацији представља кључни аспект у развоју рударских пројеката, јер омогућава оптимизацију експлоатације рудног ресурса, смањење оперативних ризика и максимизацију економске исплативости. Међутим, традиционални приступи планирања често не узимају у обзир све факторе који могу утицати на дугорочну стабилност и одрживост експлоатације. Ова проблематика произилази из сложености геолошких карактеристика лежишта, променљивости тржишних услова, као и динамичких промена у техничким и регулаторним захтевима.

Савремени приступи стратешког планирања рударских операција морају обухватити различите изворе неизвесности како би омогућили флексибилно доношење одлука. Кључни изазов у овом процесу је прецизно квантификовање и интеграција ризика у планирању површинских копова, чиме би се омогућило доношење исправних стратешких одлука уз свођење потенцијалних губитака на минимум. Постојећи детерминистички модели често подразумевају поједностављења која не одражавају реалне варијације геолошких, оперативних и економских фактора. С друге стране, искључиво стохастички приступи могу бити неефикасни због превеликог броја варијабли и потреба за великим количинама података, чија је доступност често ограничена.

Предложена дисертација тежи да превазиђе ове недостатке кроз развој хибридног модела који интегрише детерминистичке и стохастичке методе планирања, усклађене са међународним стандардима за управљање ризиком, попут стандарда ИСО 31000. Интеграцијом ових метода омогућиће се реалистичнија и свеобухватнија анализа ризика, која ће обухватити техничке и економске аспекте рударских операција које директно утичу на оптимизацију граница копа и процену експлоатационих резерви. Тиме ће се омогућити доношење одлука заснованих на подацима и побољшати дугорочна одрживост површинске експлоатације.

Очекује се да ће резултати овог истраживања допринети развоју нових алата и методологија које ће унапредити процес планирања рударских операција. Развијени модел моћи ће се применити у различитим условима експлоатације, чиме ће се побољшати прецизност предикција, смањити неизвесности и оптимизовати економски и технички показатељи успешности рударских пројеката.

2.2. Циљ истраживања

Развојем и валидацијом хибридног модела стратешког планирања површинских копова заснованог на ризику, створиће се могућност за свеобухватну анализу кључних економских и технолошких параметара који утичу на доношење оптималних стратешких одлука. Модел ће интегрисати геолошке карактеристике лежишта, оперативне трошкове, цене метала, искоришћење, инвестиционе захтеве и друге релевантне факторе у циљу динамичке оптимизације граница копа и процене експлоатационих резерви.

С једне стране, кроз стандардне детерминистичке методе оптимизације може се постићи основна процена економске вредности сваког блока у геолошком моделу лежишта, док ће примена стохастичких приступа омогућити квантификацију ризика и анализа варијабилности кључних параметара који на поменуто економску вредност утичу. Тиме ће се обезбедити свеобухватан оквир за доношење одлука који узима у обзир реалне неизвесности у рударским операцијама.

Крајњи резултат истраживања биће систематска корелација између детерминистичких и стохастичких метода оптимизације површинских копова, при чему ће се испитати како неизвесности у геолошким, економским и технолошким параметрима утичу на доношење одлука о експлоатацији. Развијени модел омогућиће прецизнију процену економске исплативости и смањење финансијских ризика, што ће значајно допринети дугорочном планирању одрживих рударских операција. Додатно, модел ће омогућити систематично управљање ризицима кроз препознавање критичних тачака у процесу планирања, оцену њихове вероватноће и могућих последица, као и дефинисање стратегија прилагођавања, чиме ће се повећати поузданост и отпорност рударских пројеката у неизвесним тржишним и оперативним условима.

2.3. Списак релевантних библиографских јединица

Оквирна листа библиографских јединица које ће бити коришћене приликом израде докторске дисертације:

1. Canessa, G.; Moreno, E.; Pagnoncelli, B.K. The risk-averse ultimate pit problem. *Optim. Eng.* **2021**, *22*, 2655–2678. <https://doi.org/10.1007/s11081-020-09545-4>.
2. Holloway, E. Risk in Ultimate Pit Selection. *Min. Metall. Explor.* **2024**, *41*, 589–605. <https://doi.org/10.1007/s42461-023-00906-y>.
3. Dimitrakopoulos, R. Stochastic optimization for strategic mine planning: A decade of developments. *J. Min. Sci.* **2011**, *47*, 138–150. <https://doi.org/10.1134/S1062739147020018>.
4. Jelvez, E.; Morales, N.; Ortiz, J.M. Stochastic final pit limits: An efficient frontier analysis under geological uncertainty in the open-pit mining industry. *Mathematics* **2021**, *10*, 100. <https://doi.org/10.3390/math10010100>.
5. Jelvez, E.; Ortiz, J.; Varela, N.M.; Askari-Nasab, H.; Nelis, G. A Multi-Stage Methodology for Long-Term Open-Pit Mine Production Planning under Ore Grade Uncertainty. *Mathematics* **2023**, *11*, 3907. <https://doi.org/10.3390/math11183907>.

6. Gilani, S.O.; Sattarvand, J. Integrating geological uncertainty in long-term open pit mine production planning by ant colony optimization. *Comput. Geosci.* **2016**, *87*, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.11.008>.
7. Martinez, L.A. Why accounting for uncertainty and risk can improve final decision-making in strategic open pit mine evaluation. In Proceedings of the Project Evaluation Conference, Melbourne, VIC, Australia, 21–22 April 2009; p. 113.
8. Acorn, T.; Boisvert, J.B.; Leuangthong, O. Managing geologic uncertainty in pit shell optimization using a heuristic algorithm and stochastic dominance. *Min. Metall. Explor.* **2020**, *37*, 375–386. <https://doi.org/10.1007/s42461-019-00165-w>.
9. Koushavand, B.; Askari-Nasab, H. Transfer geological uncertainty into mine planning. In Proceedings of the MPES-International Symposium of Mine Planning and Equipment Selection, Banff, AB, Canada, 16–19 November 2009; pp. 462–476.
10. Benndorf, J. Adding project value by managing geological risk in mining. *AMS Online Adv. Min. Solut.* **2013**, *3*, 13–21.
11. Baek, J.; Choi, Y.; Park, H.S. Uncertainty representation method for open pit optimization results due to variation in mineral prices. *Minerals* **2016**, *6*, 17. <https://doi.org/10.3390/min6010017>.
12. Del Castillo, F.; Dimitrakopoulos, R. Joint effect of commodity price and geological uncertainty over the life of mine and ultimate pit limit. *Min. Technol.* **2014**, *123*, 207–219. <https://doi.org/10.1179/1743286314Y.00000000069>.
13. Rahmanpour, M.; Osanloo, M. Determination of value at risk for long-term production planning in open pit mines in the presence of price uncertainty. *J. South. Afr. Inst. Min. Metall.* **2016**, *116*, 229–236.
14. Dehghani, H.; Ataee-Pour, M. Determination of the effect of operating cost uncertainty on mining project evaluation. *Resour. Policy* **2012**, *37*, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2011.11.001>.
15. Amini, M.; Alijani, F.; Mozaffari, Z. Economic evaluation of mining projects under conditions of uncertainty for prices and operating costs. *Int. J. Innov. Appl. Stud.* **2015**, *10*, 881.
16. Morales, N.; Seguel, S.; Cáceres, A.; Jélvez, E.; Alarcón, M. Incorporation of geometallurgical attributes and geological uncertainty into long-term open-pit mine planning. *Minerals* **2019**, *9*, 108. <https://doi.org/10.3390/min9020108>.
17. Mata, J.F.C.d.; Nader, A.S.; Mazzinghy, D.B. A Case Study of Incorporating Variable Recovery and Specific Energy in Long-Term Open Pit Mining. *Mining* **2023**, *3*, 367–386. <https://doi.org/10.3390/mining3020022>.
18. Both, C.; Dimitrakopoulos, R. Utilisation of geometallurgical predictions of processing plant reagents and consumables for production scheduling under uncertainty. *Int. J. Min. Reclam. Environ.* **2023**, *37*, 21–42. <https://doi.org/10.1080/17480930.2022.2139350>.
19. Park, S.J.; Matunhire, I.I. Investigation of factors influencing the determination of discount rate in the economic evaluation of mineral development projects. *J. South. Afr. Inst. Min. Metall.* **2011**, *111*, 773–780.
20. Erdem, Ö.; Güyagüler, T.; Demirel, N. Uncertainty assessment for the evaluation of net present value: A mining industry perspective. *J. South. Afr. Inst. Min. Metall.* **2012**, *112*, 405–412.
21. Deutsch, M.; González, E.; Williams, M. Using Simulation to Quantify Uncertainty in Ultimate Pit Limits and Inform Infrastructure Placement. *Min. Eng.* **2015**, *67*, 49–55.

22. Dowd, P.A. Risk assessment in reserve estimation and open-pit planning. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.* **1995**, 4, 168A.
23. Wei, J.; Jian, Z.; Li, J. Mining investment risk analysis based on Monte Carlo simulation. In Proceedings of the Fifth International Conference on Management of e-Commerce and e-Government, Wuhan, China, 5–6 November 2011; pp. 72–75.
24. Fontes, M.P.; Koppe, J.C.; Albuquerque, N. Comparison between traditional project appraisal methods and uncertainty analysis applied to mining planning. *REM-Int. Eng. J.* **2020**, 73, 261–265. <https://doi.org/10.1590/0370-44672019730108>.
25. Loarte-Flores, F.; Vasquez-Olivera, Y.; Mamani-Macedo, N.; Raymundo-Ibañez, C.; Dominguez, F. Comprehensive strategic risk management system to reduce evaluation times in small-scale mining projects. In Proceedings of the 2nd International Conference on Human Interaction and Emerging Technologies: Future Applications (IHET-AI 2020), Lausanne, Switzerland, 23–25 April 2020; pp. 603–609. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44267-5_91.
26. Espinoza, D.; Lagos, G.; Moreno, E.; Vielma, J. Risk averse approaches in open-pit production planning under ore grade uncertainty: An ultimate pit study. In Proceedings of the 36th International Symposium on the Applications of Computers and Operations Research in the Mineral Industry (APCOM), Porto Alegre, Brazil, 4–8 November 2013; pp. 492–501.
27. ISO 31000:2018; Risk management—Guidelines. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2018. Available online: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en>
28. Ebrahimi, A. Ultimate Pit Size Selection, Where Is the Optimum Point? In Proceedings of the 26th International Mining Congress and Exhibition of Turkey (IMCET), Antalya, Turkey, 16–19 April 2019.
29. Mwangi, A.D.; Jianhua, Z.; Gang, H.; Kasomo, R.M.; Innocent, M.M. Ultimate pit limit optimization methods in open pit mines: A review. *J. Min. Sci.* **2020**, 56, 588–602. <https://doi.org/10.1134/S1062739120046885>.
30. Stevanović, D. Open Pit Mine Optimization and Planning with Stochastic Models. Ph.D. Thesis, Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, Belgrade, Serbia, 2015.
31. Marković, P.; Stevanović, D.; Pešić, G.M.; Banković, M. Application of MCDA in the determination of optimal block size for open-pit modelling and mine planning. *Undergr. Min. Eng.* **2021**, 38, 67–85. <https://doi.org/10.5937/podrad2138067M>.
32. Artzner, P.; Delbaen, F.; Eber, J.M.; Heath, D. Coherent measures of risk. *Math. Financ.* **1999**, 9, 203–228. <https://doi.org/10.1111/1467-9965.00068>.
33. Rockafellar, R.T.; Uryasev, S. Optimization of conditional value-at-risk. *J. Risk* **2000**, 2, 21–42. <https://doi.org/10.21314/JOR.2000.038>.
34. Câmara, T.R.; Leal, R.S.; de Lemos Peroni, R.; Capponi, L.N. Controlling operational dilution in open-pit mining. *Min. Technol.* **2019**, 128, 1–8. <https://doi.org/10.1080/25726668.2018.1470275>.
35. Taheri, M.; Ataee-pour, M.; Irannajad, M. Estimating the discount rate for projects of a mining complex. *Int. J. Min. Miner. Eng.* **2010**, 2, 277–289.
36. Dominy, S.C.; Noppé, M.A.; Annels, A.E. Errors and uncertainty in mineral resource and ore reserve estimation: The importance of getting it right. *Explor. Min. Geol.* **2002**, 11, 77–98. <https://doi.org/10.2113/11.1-4.77>.

3. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ

Сазнања која ће послужити као основа за предложену хипотезу заснована су на досадашњем прегледу и анализи доступних истраживања и практичних имплементација у области стратешког планирања рударских операција.

Ограничен број истраживања бави се свеобухватном интеграцијом детерминистичких и стохастичких метода у планирању површинских копова, а већина постојећих радова фокусира се на парцијалне примене у моделирању ресурса, процени економске исплативости или управљању ризиком у изолованим сегментима рударских процеса.

Самим тим, постоји значајан простор за научни допринос кроз развој интегрисаног модела који омогућава холистички приступ планирању и управљању неизвесностима у рударским операцијама.

- A. Комбинација детерминистичких и стохастичких метода у планирању површинске експлоатације омогућиће прецизнију идентификацију и квантификацију ризика у поређењу са класичним детерминистичким моделима.
- B. Интеграција модела заснованих на ИСО 31000 стандарду за управљање ризицима пружиће свеобухватнији оквир за доношење стратешких одлука кроз објективну процену неизвесности, препознавање кључних фактора ризика и оптимизацију економских перформанси рударских операција.
- C. Развијени хибридни модел планирања рударских операција, који укључује детерминистичке и стохастичке компоненте, омогућиће бољу контролу над тржишним и оперативним ризицима, повећавајући флексибилност и прилагодљивост рударских стратегија.
- D. Имплементација овог модела резултираће бољом алокацијом ресурса и оптимизацијом капиталних инвестиција, при чему ће се узети у обзир финансијски ризици, променљивост цена минералних сировина и непредвиђене оперативне промене.
- E. Валидација развијеног модела кроз примену у реалним рударским операцијама показује да свеобухватан приступ анализи фактора ризика и економских параметара може унапредити целокупни процес стратешког планирања површинских копова, смањујући несигурности у процени експлоатационих резерви и побољшавајући дугорочну профитабилност.

4. НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

За потребе реализације планираног истраживања, примениће се следеће методе подељене у неколико целина:

- Кабинетшке методе – обухватају прикупљање и анализу обимне литературе о детерминистичким и стохастичким методама у стратешком планирању површинске експлоатације, као и истраживање доступних података из реалних рударских операција,

- Анализа тржишних података – подразумева прикупљање и обраду података о флукуацијама цена минералних сировина, оперативним трошковима и економским факторима који утичу на исплативост рударских пројеката, са посебним нагласком на анализу варијација цена сировина и инвестиционих ризика,
- Нумеричко моделирање и симулација – имплементација детерминистичких и стохастичких метода оптимизације површинских копова кроз специјализоване софтверске пакете. Овај део истраживања укључује развој симулационог оквира за квантификацију ризика и оптимизацију стратешког планирања рударских операција,
- Методе управљања ризиком – примена међународних стандарда (ИСО 31000) и квантитативних анализа ризика у циљу развијања свеобухватног модела за доношење одлука узимајући у обзир кључне факторе несигурности у процесу стратешког планирања рударских операција,
- Упоредна анализа методологија – кроз статистичке методе вршиће се поређење између резултата добијених детерминистичким приступима и стохастичким моделима, како би се успоставила функционална зависност између кључних параметара у развоју рударских пројеката,
- Студије случаја – модел ће бити валидиран кроз примену на реалном рударском окружењу како би се тестирала његова практична применљивост и ефикасност у управљању ризицима у површинској експлоатацији.

Комбинацијом ових метода омогућиће се свеобухватна анализа кључних фактора који утичу на доношење стратешких одлука у рударским операцијама, чиме ће се побољшати дугорочна предвидивост и отпорност рударских система на тржишне и техничке неизвесности.

5. НАУЧНИ ДОПРИНОС И ОЧЕКИВАНИ РЕЗУЛТАТИ

Развој хибридног модела за стратешко планирање заснован на ризику у површинској експлоатацији представљаће значајан искорак у научној заједници, јер омогућава унапређење метода доношења одлука у рударским операцијама. Примена овог модела омогућиће свеобухватнију процену економских и технолошких фактора, са посебним нагласком на управљање ризицима у процесу оптимизације граница површинског копа и утврђивању експлоатационих резерви.

Развијени модел омогућиће динамичку анализу варијабилних улазних параметара, као што су геолошке карактеристике лежишта, флукуације цена метала, оперативни трошкови и инвестициони захтеви. Овакав приступ ће допринети повећању прецизности процене економске вредности блока у геолошком моделу (као основне јединице која се користи за оптимизацију граница копа утврђивању експлоатационих резерви савременим алатима) и ефикасности доношења одлука у погледу одређивања оптималних граница копа. Поред тога, научни допринос се огледа у:

- Систематизацији знања из области детерминистичког и стохастичког моделирања рударских операција,
- Развоју методологије за анализу и квантификацију ризика у стратешком планирању површинских копова,
- Унапређењу постојећих модела планирања кроз интеграцију ИСО 31000 стандарда у процес доношења одлука,
- Примени статистичких и математичких метода за повећање прецизности у предикцији рударских параметара.

Поред наведеног научног доприноса, очекију се и стручни доприноси, укључујући:

- Повећање прецизности у одређивању економских параметара и оптимизацији рударских операција,
- Развој система подршке за доношење одлука који омогућава реалну процену ризика и смањење финансијске неизвесности у процесу експлоатације,
- Имплементацију алата за управљање рударским пројектима који обухватају динамичке симулације тржишних и техничких фактора,
- Повећање ефикасности експлоатационих стратегија кроз интеграцију детерминистичких и стохастичких метода у процесу планирања рударских операција,
- Оптимизацију капиталних инвестиција кроз реалистичнији приступ процени дугорочне исплативости рударских пројеката.

Очекује се да ће резултати дисертације бити тестирани и верификовани на студији случаја из реалних рударских операција, чиме ће се показати њихова примењивост у индустријском контексту. Развијени модел ће бити флексибилан и адаптиван, омогућавајући примену у различитим рударским окружењима која се суочавају са сличним изазовима у стратешком планирању и управљању ризицима.

6. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА РАДА

План истраживања докторске дисертације биће разрађен кроз неколико фаза, почевши од анализа постојеће литературе, преко прикупљања података и развоја модела, до валидације резултата кроз студије случаја. Основни задатак овог истраживања је развој и примена хибридног модела за стратешко планирање засновано на ризику у површинској експлоатацији, који интегрише детерминистичке и стохастичке методе са стандардима управљања ризицима.

Фазе истраживања:

- Анализа релевантне литературе – прикупљање, систематизација и критичка анализа доступних научних и стручних радова у области стратешког планирања површинских копова, управљања ризицима, економске анализе и математичког моделирања.
- Прикупљање и анализа података – обрада података о геолошким карактеристикама лежишта, ценама метала, оперативним трошковима, инвестицијама и другим факторима који утичу на стратешко планирање,
- Развој концептуалног модела – дефинисање структуре хибридног модела који комбинује детерминистичке приступе (основна анализа оптимизационих параметара), стохастичке методе (квантитативна анализа ризика) и кораке у управљању ризиком,
- Имплементација модела у специјализованом софтверу – примена алгоритама за оптимизацију површинских копова, анализа осетљивости и моделирање сценарија са различитим нивоима ризика.
- Валидација модела кроз студије случаја – тестирање развијеног модела на реалним подацима из рударске индустрије и упоређивање резултата са традиционалним методама планирања.
- Анализа резултата и дискусија – идентификација предности и недостатака предложеног приступа, упоређивање са постојећим методама и предлагање могућих унапређења.
- Писање и публикување научних радова – објављивање резултата истраживања у научним часописима и представљање на конференцијама.

У докторској дисертацији биће обрађено више поглавља која ће садржати уводна разматрања, теоријске поставке проблема, аналитички део, развој модела, студија случаја и закључна разматрања.

Оквирни садржај докторске дисертације:

1. Увод (предмет и циљ истраживања, основне хипотезе, проблем истраживања, кратак преглед поглавља).
2. Преглед литературе (светска и домаћа искуства у области управљања ризиком и оптимизације површинских копова)
3. Управљање ризицима у процесу стратешког планирања површинских копова
4. Развој хибридног модела за анализу ризика и оптимизацију површинских копова
5. Примена хибридног модела на конкретној студији случаја – анализа ризика у рударском пројекту
6. Дискусија и закључна разматрања.

7. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Анализом података из пријаве кандидата Петра Марковића, мастер инжењера рударства, Комисија закључује да је предложена тема актуелна и погодна за израду докторске дисертације, да кандидат испуњава све законом предвиђене услове, као и да има истраживачке способности за рад на докторској дисертацији. Имајући у виду све наведено, Комисија предлаже Наставно - научном Већу Рударско - геолошког факултета Универзитета у Београду, да кандидату Петру Марковићу, мастер инжењеру рударства, одобри израду докторске дисертације под насловом:

„РАЗВОЈ ХИБРИДНОГ МОДЕЛА ЗА УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ ПРИ СТРАТЕШКОМ ПЛАНИРАЊУ ПОВРШИНСКИХ КОПОВА“

из уже научне области Пројектовање и планирање површинских копова, за коју је матичан Рударско - геолошки факултет Универзитета у Београду.

За ментора докторске дисертације се предлаже др Дејан Стевановић, ванредни професор на Катедри за Пројектовање и планирање површинских копова, Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду.

У Београду 07.04.2025.

Чланови Комисије:

Др Дејан Стевановић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Мирјана Банковић, доцент
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

Др Даниел Кржановић, виши научни сарадник
Институт за рударство и металургију Бор
