

ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ:

Име и презиме: др Томислав Шубарановић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују за учешће у Комисији за одбрану докторске дисертације:

1. Bojan Dimitrijević, **Tomislav Šubaranović**, Željko Stević, Mohamed Kchaou, Faris Alqurashi and Marko Subotić, A novel hybrid fuzzy multiple-criteria decision-making model for the selection of the most suitable land reclamation variant at open-pit coal mines, Journal Sustainability 2024, 16, 4424, M22, (IF = 3,9), <https://doi.org/10.3390/su16114424>
2. Jakovljevic I., Lazarevic M., Pavlovic N., **Subaranovic T.**, Petrovic M., Impact of change in coal quality on operating parameters of thermal power plant Stanari and its risk assessment, Journal Thermal Science, 2024, Vol. 28, No. 6A, pp. 4565-4578, Belgrade, M23, (IF = 1,1), <https://thermalscience.rs/authors/9526>
3. Jankovic I., Djenadic S., Ignjatovic D., Jovancic P., **Subaranovic T.**, Ristic I.,: Multi-criteria approach for selecting optimal dozer type in open-cast coal mining, Journal Energies, Vol. 12, Issue 12, 2245, 2019., DOI: 10.3390/en12122245, M22, (IF=2,676), <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/12/2245>
4. Djenadic S., Ignjatovic D., Tanasijevic M., Bugaric U., Jankovic I., **Subaranovic T.**: Development of the availability concept by using fuzzy theory with ahp correction, a case study: bulldozers in the open-pit lignite mine, Journal Energies, 12/21, 4044, 2019., DOI: 10.3390/en12214044, M22, (IF=2,676), <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/21/4044>
5. **Subaranovic T.**, Vujic S., Radosavljevic M., Dimitrijevic B., Ilic S., Jagodic Krunic D.: Multi-attribute scenario analysis of protection of Drmno open pit mine against groundwater, Journal of Mining Science, Nu 2, Vol 50, p.p. 280-286, 2019., ISSN: 1062-7391, DOI: 10.1134/S1062739119025564, Novosibirsk, Russia, M23, (IF=0,39), <https://link.springer.com/article/10.1134/S1062739119025564>

ДЕКАН

Рударско-геолошког факултета

Проф. др Александар Цвјетић

ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ:

Име и презиме: др Мирјана Банковић

Звање: доцент

Списак радова који квалификују за учешће у Комисији за одбрану докторске дисертације:

1. Ignjatović Jelena, Stevanović Dejan, **Banković Mirjana**, & Marković Petar (2026). A Genetic Algorithm Model for Short-Term Planning and Quality Management in Open-Pit Mining [MDPI AG]. Applied Sciences, 16(6), 2642, ISSN 2076-3417 (M22) IF=2.5 <https://doi.org/10.3390/app16062642>
2. Čelebić Miodrag, Bajić Dragoljub, Bajić Sanja, **Banković Mirjana**, Torbica Duško, Milošević Aleksej, & Stevanović Dejan (2024): Development of an Integrated Model for Open-Pit-Mine Discontinuous Haulage System Optimization [MDPI AG]. Sustainability 16(8), 3156, ISSN 2071-1050 (M23) IF=3.9 <https://doi.org/10.3390/su16083156>
3. Gomilanović Miljan, Bugarić Uglješa, **Banković Mirjana**, Stanić Nikola, & Stepanović Saša (2024): Determining the Availability of Continuous Systems in Open Pits Using ANFIS and a Simulation Model [MDPI AG]. Energies 17(5), 1138, ISSN: 1996-1073 (M23) IF=3.2 <https://doi.org/10.3390/en17051138>
4. Doderović Aleksandar, Doderović Svetozar-Milan, Stepanović Saša, **Banković Mirjana**, & Stevanović Dejan (2023). Hybrid Model for Optimisation of Waste Dump Design and Site Selection in Open Pit Mining [MDPI AG]. Minerals, 13(11), 1401. (M21) IF=2.5, <https://doi.org/10.3390/min13111401>
5. **Banković Mirjana**, Stevanović Dejan, Pešić-Georgiadis Milica, Tomašević Aleksandra, & Kolonja Ljiljana (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>

ДЕКАН

Рударско-геолошког факултета

Проф. др Александар Цвјетић

ПОДАЦИ О ЧЛАНУ КОМИСИЈЕ:

Име и презиме: др Даниел Кржановић

Звање: виши научни сарадник

Списак радова који квалификују за учешће у Комисији за одбрану докторске дисертације:

1. **Kržanović, D.**; Stojičić, I.; Gomilanović, M.; Miletić, F.; Stanić N. Application of Modal Analysis and Vibration Diagnostics for the Reconstruction of the Gearbox of the Drive System of the Bucket Wheel in the SRs1200 Rotor Bucket Excavator. *Appl. Sci.* 2026, 16(5), 2569; (M21) IF=2.5.
<https://doi.org/10.3390/app16052569>
2. Simonović, D.; **Kržanović, D.**; Kovacević, R.; Šteharник, M.; Stanković, S.; Urošević, D.; Krstić, V. Assessment of Cu and As in Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Arable Land in the Vicinity of Bor (Serbia): Implications for Food Safety and Human Health. *Plants* 2026, 15, 631, (M21), IF=4.1.
<https://doi.org/10.3390/plants15040631>
3. Nasirinezhad, A.; Stevanovic, D.; **Krzanovic, D.**; Rahmanpour, M. Model for Optimizing Waste-Haulage Systems in Open-Pit Mines (Trucks vs. IPCC System). *Appl. Sci.* 2025, 15, 13148. (M21) IF=2.5.
<https://doi.org/10.3390/app152413148>
4. Markovic, P.; Stevanovic, D.; Kolonja, B.; Slavkovic, D.; **Krzanovic, D.** A Hybrid Model for Risk-Based Strategic Planning in Open-Pit Mining: Integrating Deterministic, Stochastic, and ISO 31000 Approaches. *Appl. Sci.* 2025, 15, 2500. (M21) IF=2.5
<https://doi.org/10.3390/app15052500>
5. Ivana Jovanović, Fardis Nakhaei, **Daniel Kržanović**, Vesna Conić and Daniela Urošević, Comparison of Fuzzy and Neural Network Computing Techniques for Performance Prediction of an Industrial Copper Flotation Circuit, *Minerals* 2022, 12 (12), 1493. (M21) IF=2.5
<https://doi.org/10.3390/min12121493>

ДЕКАН

Рударско-геолошког факултета

Проф. др Александар Цвјетић

**УНИВЕРЗИТЕТУ БЕОГРАДУ
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

Предмет: Извештај о оцени докторске дисертације кандидаткиње Јелене Игњатовић,
мастер инжењера рударства под насловом

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду,
бр 1/192 од 27.04.2026. године донетој на седници одржаној 23.04.2026. године, именована
је Комисија за оцену докторске дисертације Јелене М. Игњатовић, мастер инжењера
рударства под насловом

**„Стохастички модел за управљање квалитетом при раду дисконтинуалног
система на површинским коповима“**

После прегледа достављене докторске дисертације и других пратећих материјала, Комисија
је сачинила следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ И ДИСЕРТАЦИЈИ

1.1 Биографски подаци о кандидату

Јелена (Милутин) Игњатовић је рођена 13. јула 1991. године у Ваљево. Основну школу је завршила у Горњој Топлици са одличним успехом. Године 2006. уписала је гимназију „Хиљаду триста каплара“ у Љигу, општи смер коју је такође завршила са одличним успехом. Рударско-геолошки факултет, Универзитета у Београду, уписала је 2010. године.

Основне академске студије је завршила 2014. године са просечном оценом 8,66 и одбраном завршног рада под називом: „Машине за рад на депонијама угља и начини депоновања и захватања мастер рада под називом: „Дефинисање континуалног система експлоатације II угљеног слоја на П.К. Дрмно“.

Од 2016. године запослена је у предузећу „Каолин“ а.д. Ваљево које се бави експлоатацијом кварцног песка и каолинске глине.

Докторске академске студије уписала је 2017. године на Рударско-геолошком факултету на студијском програму Рударско инжењерство. Положила је све испите са просечном оценом 9,94. “. Исте године је уписала мастер академске студије које је завршила 2015. године са просечном оценом 9,90 и одбраном

У Савезу инжењера и техничара Србије положила је стручни испит за обављање послова при експлоатацији минералних сировина 19. фебруара 2019. године.

Од марта 2021. године ради на позицији Главног рударског инжењера у предузећу „Каолин“ а.д. Ваљево. У оквиру својих професионалних активности учествује у истражним радовима, изради планова производње и припреме руде, задужена је за поштовању прописа и израду извештаја за Министарство рударства и енергетике.

У истраживању на докторским студијама, фокусирана је на проблеме оптимизација у процесу планирања на површинским коповима, са посебним освртом на испитивање могућности примене стохастичких алгоритама у процесу планирања.

1.2 Наслов и обим дисертације

Наслов докторске дисертације кандидата Јелене М. Игњатовић, мастер инжењера рударства је: „Стохастички модел за управљање квалитетом при раду дисконтинуалног система на површинским коповима“.

Дисертација садржи:

- 119 страна рачунарски обрађеног текста А4 формата укључујући и додатке, 104 стране рачунарски обрађеног текста, А4 формата, без додатака;
- 9 табела у тексту;
- 28 графичких илустрација, дијаграма и шема;
- 102 литературна навода у списку литературе;
- 3 прилога - Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу.

1.3 Хронологија одобравања и израде дисертације

Наставно–научно веће Рударско–геолошког факултета Универзитета у Београду, на седници одржаној 24.10.2024. донело је Одлуку о именовању Комисије за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације, кандидата Јелене Игњатовић, мастер инжењера рударства: „Стохастички модел за управљање квалитетом при раду дисконтинуалног система на површинским коповима“, документ број 1/291 од 28.10.2024.

На седници Наставно–научног већа, Рударско–геолошког факултета, Универзитета у Београду, одржаној 26.12.2024. године усвојен је позитиван Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације, кандидата Јелене Игњатовић, мастер инжењер рударства, под називом „Стохастички модел за управљање квалитетом при раду дисконтинуалног система на површинским коповима“, а за ментора је именован др Дејан Стевановић, ванредни професор, Универзитета у Београду, Рударско – геолошког факултета. Одлуком број 1/358 од 27.12.2024. године дато је одобрење на предложену тему докторске дисертације.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је на седници одржаној од 14. до 17. 02. 2025. године, донело је Одлуку број 61206/2-24 од 17.02.2025 год, којом се даје сагласност на Одлуку о прихватању теме докторске дисертације кандидата Јелене Игњатовић, под називом: „Стохастички модел за управљање квалитетом при раду дисконтинуалног

система на површинским коповима“ и одређивању др Дејана Стевановића за ментора.

Кандидат Јелена Игњатовић, мастер инжењер рударства, дана 31.03.2026. год. поднела је Молбу број 1/146 за именовање комисије за оцену докторске дисертације под називом: „Стохастички модел за управљање квалитетом при раду дисконтинуалног система на површинским коповима“. На основу Молбе, Катедра за пројектовање и планирање површинских копова је на седници одржаној 03.04.2026. донела одлуку (бр 1/163 од 03.04.2026.год.) којом је предложила Наставно–научном већу Рударско–геолошког факултета, Универзитета у Београду, формирање Комисије за оцену докторске дисертације кандидата. Наставно – научно веће је на седници одржаној 23.04.2026. године донело одлуку (број 1/192 од 27.04.2026.године) о именовању Комисије за оцену, чиме су се стекли услови за писање Извештаја о урађеној докторској дисертацији.

1.4 Место дисертације у одговарајућој научној области

Докторска дисертација кандидата Јелене Игњатовић, мастер инжењера рударства, припада научној области Рударско инжењерство, односно ужој научној области Пројектовање и планирање површинских копова (Студијски програм Рударско инжењерство, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет). За ментора дисертације је одређен др Дејан Стевановић, ванредни професор Универзитета у Београду, Рударско– геолошког факултета, ужа научна област Пројектовање и планирање површинских копова.

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Предмет истраживања докторске дисертације фокусирао се на управљање квалитетом руде у условима рада дисконтинуалног система експлоатације на површинским коповима, са посебним освртом на оперативно планирање у систему багер–камион. У таквим рударским системима, у којима се експлоатација одвија на више откопних фронтова различитих геолошких и технолошких карактеристика, избор активних радилишта, распоред утоварно-откопне механизације и обим откопавања по појединим локацијама непосредно утичу на могућност обезбеђивања захтеваног квалитета минералне сировине за прераду. Посебан значај овог проблема произилази из чињенице да се променама производног капацитета у кратким временским интервалима, као и одговарајућом расподелом рада по коповима, може активно утицати на формирање квалитативно прихватљиве мешавине руде.

Технолошки и оперативни значај истраживања заснован је на специфичностима дисконтинуалног система експлоатације, у коме флексибилност утовара и транспорта омогућава ригорозније критеријуме селективног откопавања и виши степен контроле квалитета руде. Посебан изазов представља чињеница да се експлоатација често изводи на више просторно раздвојених копова, при чему се квалитет руде разликује између појединих радних фронтова. Одлуке о томе са којих ће се локација материјал откопати и у ком обиму постају кључне за остваривање захтева прераде. Из тог разлога, управљање квалитетом руде у оваквим системима не може се посматрати као накнадна корекција производње, већ као саставни део свих фаза планирања, а нарочито оперативног планирања.

Полазећи од чињенице да рударски системи функционишу у условима изражене променљивости и неизвесности, кандидат у дисертацији разматра потребу за развојем модела

који могу истовремено да обухвате оперативну динамику производње, квалитативна ограничења и међузависност одлука у оквиру јединственог оптимизационог поступка. У том контексту, предмет истраживања обухвата и примену метахеуристичких метода, пре свега стохастичког приступа заснованог на генетском алгоритму, као методолошки оправданог средства за решавање сложених комбинаторних проблема са већим бројем технолошких и квалитативних ограничења.

Истраживачки задатак, у овом контексту, представљао је изузетан изазов, јер је неопходно да понуди решења способна да за истовремено задовољавање често супротстављених циљева који произилазе из различитих аспеката управљања квалитетом. Овакав приступ подразумевао је усклађивање параметара као што су сменски капацитет, искоришћеност опреме, задовољење услова које поставља прерада, што је скупа чинило проблем вишеструким и комплексним.

Научна заснованост и актуелност предмета истраживања огледају се и у томе што је у доступној литератури релативно мали број истраживања у којима су у јединственом моделском оквиру повезани оперативно планирање по сменама, ограничења дисконтинуалног система и управљање квалитетом руде на нивоу више активних копова. У овој дисертацији посебно се разматра симултана оптимизација експлоатације већег броја мањих, међусобно локацијски одвојених површинских копова у систему багер–камион, уз строго поштовање захтева прераде у погледу садржаја корисних и штетних компоненти. На тај начин, истраживање има и теоријски и практични значај, јер доприноси развоју модела прилагођених реалним условима рада савремених рударских система.

Основни циљ истраживања јесте развој стохастичког модела за управљање квалитетом руде, заснованог на примени генетског алгоритма, који ће омогућити да се, кроз дефинисање параметара рада дисконтинуалног система, обезбеди захтевани квалитет руде уз истовремено задовољење осталих технолошких ограничења, као што су производни капацитет и број активних радилишта. Развијени модел треба да послужи као поуздан алат за оптимизацију у процесу оперативног планирања и одлучивања у условима у којима су количина, квалитет и расположивост експлоатационих ресурса међусобно условљени.

Крајњи резултат примене развијеног модела јесте генерисање оптималног плана откопавања, односно шеме рада дисконтинуалног система, којим се обезбеђује усаглашеност производње са захтеваним квалитетом руде за прераду.

3. ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ И ПОЛАЗНИ ПОДАЦИ

У овој докторској дисертацији истакнут је значај планирања и управљања квалитетом при раду дисконтинуалног система. У дисертацији је постављена основна хипотеза да је развојем и применом стохастичког модела оптимизације могуће формирати оперативни план рада дисконтинуалног система експлоатације на површинском копу, којим се, у условима дефинисаних технолошких, капацитивних и организационих ограничења, обезбеђује постизање захтеваног квалитета руде намењене даљој преради.

Постављена основна хипотеза произилази из чињенице да се у условима експлоатације на више радилишта, односно лежишта различитих квалитативних карактеристика, применом дисконтинуалне технологије и одговарајућим распоредом откопавања на сменском нивоу може утицати на квалитет финалне мешавине руде и на тај начин оперативно планирање добија карактер самосталног оптимизационог проблема, у коме се истовремено укрштају

захтеви производње, транспорта, расположивих капацитета и квалитета минералне сировине. Значај оваквог приступа огледа се у томе што квалитет руде није третиран као накнадна последица рударских активности, већ као један од основних услова на основу којих се доносе оперативне одлуке.

Поред основне хипотезе, у дисертацији су постављене и помоћне хипотезе, које омогућавају детаљнију проверу развијеног модела и потпуније сагледавање његове научне и практичне вредности. Прва помоћна хипотеза полази од претпоставке да је могуће формирати оперативни план рада по сменама којим се, уз поштовање ограничења производног капацитета и броја истовремено активних копова, постиже већа укупна ефикасност система. Таква ефикасност може се испољити кроз рационалнију организацију рада, смањење технолошке сложености процеса експлоатације, повољније коришћење расположиве механизације, смањење трошкова и боље искоришћење минералних резерви.

Друга помоћна хипотеза заснива се на претпоставци да модел заснован на генетском алгоритму омогућава виши степен усаглашености квалитета руде са унапред задатим границама у односу на оперативни план формиран класичним, мануелним путем (широко примењен у пракси) који се најчешће заснива на проценама произишлим из инжењерског искуства. Ова хипотеза је од посебног значаја, јер омогућава да се развијени модел не сагледава само као теоријски оптимизациони оквир, већ и као практично применљив алат за унапређење квалитета оперативног одлучивања у реалним условима рада дисконтинуалног систем. Такође, наведеним приступом се такође смањује утицај субјективне инжењерске процене, која је често извор грешака које спречавају постизање поног потенцијала рударских пројеката.

Полазни подаци на којима је истраживање засновано обухватају све релевантне геолошке, технолошке, производне и квалитативне параметре неопходне за формирање и проверу оперативног плана рада. У том смислу, у модел су укључени подаци о количинама расположиве руде, квалитативним карактеристикама откопаног материјала, захтеваним границама садржаја корисних и штетних компоненти, производном капацитету система, броју активних радилишта у посматраном временском интервалу, као и ограничењима која произилазе из расположивости и начина рада дисконтинуалне механизације. Поред тога, као полазна основа за формирање модела коришћени су подаци дугорочног плана експлоатације, који дефинишу оквирне количине откопавања и развој радова, али су у дисертацији даље разрађени и прилагођени потребама краткорочног, односно сменског планирања.

Трећа помоћна хипотеза заснива се на дедуктивној природи планирања у рударству, према којој се са прво успостављају виши (стратешки и дугорочни) нивои планирања, који се касније разрађују на средњерочне и оперативне (планове) нивое. Кроз примењено истраживање и развијени модел се апострофира хипотеза да се управо оптимизацијом оперативних планова, заправо потврђује изводљивост виших нивоа планирања. На тај начин је омогућено да се провери у којој мери је дугорочне планске поставке могуће оперативно реализовати у условима реалног рада система, уз истовремено испуњење захтева у погледу количине и квалитета руде.

4. ОПИС САДРЖАЈА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација кандидата Јелене Игњатовић, садржи следећа поглавља:

1. Увод
2. Преглед литературе
3. Теоријске основе проблема
4. Развој и математичка формулација модела
5. Студија случаја и примена стохастичког модела
6. Резултати истраживања
7. Ограничења модела и правци даљег истраживања
8. Закључак

4.1 Приказ појединачних поглавља

Докторска дисертација је систематично конципирана и организована у осам међусобно повезаних поглавља, која логично прате ток истраживања, почев од дефинисања предмета и циља рада, преко теоријске и методолошке разраде проблема, до приказа резултата, њихове анализе и извођења закључака.

У првом поглављу дат је увод у проблематику истраживања, са посебним освртом на значај дисконтинуалних система експлоатације, управљања квалитетом руде и оперативног планирања на површинским коповима. У оквиру овог поглавља дефинисани су предмет и циљ истраживања, постављене су основне хипотезе, приказан је методолошки приступ, а посебно је истакнут научни и практични значај разматране проблематике.

Друго поглавље обухвата преглед релевантне научне и стручне литературе из области управљања квалитетом минералне сировине, утоварно-транспортних система, планирања површинске експлоатације, оперативног планирања, стохастичког моделовања и примене генетских алгоритама у рударском инжењерству. Анализом доступне литературе кандидат је сагледао досадашња истраживања, уочио постојећа ограничења и истраживачке празнине, чиме је постављена теоријска основа за развој новог, оригиналног модела, и постигнут научни допринос.

У трећем поглављу изложене су теоријске основе проблема који се разматра у дисертацији. Посебна пажња посвећена је карактеристикама утоварно-транспортних система, значају управљања квалитетом руде у условима површинске експлоатације, примени стохастичких модела у рударским операцијама, основним принципима генетских алгоритама, као и улози оперативног планирања у процесу доношења производних одлука. Ово поглавље представља концептуалну основу за математичко формулисање модела развијеног у наставку рада.

Четврто поглавље посвећено је развоју и математичкој формулацији предложеног модела. У њему су јасно дефинисани елементи истраживачког проблема, ограничења и функција циља, као и начин на који су производни захтеви и захтеви у погледу квалитета руде интегрисани у јединствени оптимизациони оквир. Овим поглављем успостављена је формална основа за примену модела у реалним условима рада дисконтинуалног система.

У петом поглављу приказана је студија случаја и примена развијеног стохастичког модела на конкретан рударски систем. Дати су основни подаци о посматраним површинским коповима, описани су улазни параметри, плански хоризонт, ограничења система и начин имплементације модела у реалним условима експлоатације. На тај начин обезбеђена је практична основа за проверу функционалности и применљивости предложеног приступа.

Шесто поглавље обухвата приказ резултата истраживања и њихову дискусију. У овом делу рада анализирани су резултати добијени применом развијеног модела, извршено је њихово поређење са референтним, односно мануелно формираним планом, и сагледан је степен усаглашености добијених решења са захтевима капацитета и квалитета руде. Дискусија резултата усмерена је на оцену ефикасности модела, његових предности у односу на конвенционалне приступе и значаја за оперативно одлучивање у рударској пракси.

У седмом поглављу разматрају се ограничења развијеног модела и дају препоруке за његово даље унапређење. Анализирају се претпоставке на којима је модел заснован, услови његове примене у различитим експлоатационим околностима, као и могућности даљег развоја кроз укључивање нових параметара, сценарија и напреднијих оптимизационих поступака.

У осмом поглављу изложени су закључци проистекли из спроведеног истраживања. У њему су сумирани најзначајнији резултати рада, истакнути научни и практични доприноси дисертације, као и потврђен значај развијеног модела за унапређење оперативног планирања и управљања квалитетом руде у условима рада дисконтинуалног система на површинским коповима.

Референтна литература је обухватила целокупно поље интересовања кандидата, односно најзначајније публикације које се односе на проблематику управљања квалитетом и оперативног планирања. Литература је засебно наведена као списак са 102 референце у овој докторској дисертацији.

5. ОСТВАРЕНИ РЕЗУЛТАТИ И НАУЧНИ ДОПРИНОС

5.1 Савременост, оригиналност и значај

Докторска дисертација кандидата Јелене Игњатовић се бави актуелним изазовима у области управљања квалитетом руде. У савременим рударским условима, које карактеришу појачани захтеви у погледу стабилности производње, усклађености квалитета сировине са захтевима прераде, рационалног коришћења механизације и смањења оперативних губитака, проблем краткорочног и сменског планирања добија посебан значај. Управо зато је истраживање усмерено на развој модела који повезује производне, технолошке и квалитативне захтеве у јединствен поступак оптимизације у потпуности у складу са савременим правцима развоја рударског инжењерства.

Савременост дисертације огледа се и у избору методолошког приступа. Кандидат се определио за примену стохастичког модела, конкретно генетског алгорита, што представља приступ који је у складу са сложеношћу реалних рударских система, у којима су присутни многобројни фактори, окарактерисани као променљи, неизвесни и међусобно зависни. Предложени модел омогућава флексибилније и реалније сагледавање проблема управљања квалитетом на оперативном нивоу. На тај начин дисертација се тематски и методолошки уклапа у савремена истраживања у области оптимизације рударских операција и примене интелигентних алгоритама у инжењерској пракси.

Оригиналност дисертације огледа се пре свега у томе што је у раду развијен сопствени модел за управљање квалитетом руде у условима рада дисконтинуалног система, при чему су у јединственом оптимизационом оквиру повезани захтеви оперативног планирања по сменама, ограничења производног капацитета, број активних копова и услови квалитета руде намењене даљој преради. Оригиналност рада потврђује се и кроз практичну верификацију модела на реалним подацима, чиме дисертација превазилази оквир чисто теоријског разматрања. Кроз студију случаја кандидат је показао да је могуће развити модел који је истовремено научно заснован и применљив у реалним условима рада. Поред тога, извршено је поређење резултата добијених применом модела са резултатима мануелно формираног оперативног плана, чиме је омогућена објективнија оцена квалитета предложеног приступа.

Значај дисертације може се сагледати са научног и практичног аспекта. Научни значај рада огледа се у доприносу развоју методологије оперативног планирања у рударству, посебно у области интеграције управљања квалитетом у оптимизационе моделе краткорочног планирања. Развијени модел проширује постојећа сазнања у области примене стохастичких и метахеуристичких метода у рударском инжењерству и представља добру основу за даља истраживања у области унапређења производног управљања, планирања и контроле квалитета минералне сировине.

Практични значај дисертације огледа се у могућности непосредне примене предложеног модела у условима рада површинских копова са дисконтинуалном механизацијом. Резултати истраживања могу бити од значаја за унапређење процеса доношења одлука, рационалније коришћење расположиве механизације, боље усклађивање откопавања са захтевима прераде, као и за смањење ослањања на искључиво субјективну инжењерску процену при формирању оперативних планова. На тај начин дисертација има изражену применску вредност и може представљати користан основ за даљу имплементацију интелигентних метода у праксу површинске експлоатације.

Оригиналност докторске дисертације Јелене Игњатовић, мастер инжењера рударства, под називом: „Стохастички модел за управљање квалитетом при раду дисконтинуалног система на површинским коповима“ проверена је у складу са поступком дефинисаним у „Правилнику о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду“. Провером у софтверу „iThenticate“ утврђено је да подударане по сличности износи 2 %.

5.2 Оцена способности кандидата за самостални рад

Кандидат Јелена Игњатовић је током израде докторске дисертације испољила висок степен самосталности, одговорности и истрајности у научноистраживачком раду. Посебно се издвајају њена способност критичког сагледавања проблема, аналитички приступ у решавању сложених техничких задатака, као и способност да обимне и сложене податке систематизује, интерпретира и синтетише у научно засноване закључке, што у целини потврђује њену истраживачку зрелост.

На основу увида у докторску дисертацију и остале расположиве податке, Комисија констатује да је кандидат Јелена Игњатовић, мастер инжењер рударства, у потпуности оспособљена за самосталан научно-истраживачки рад.

5.3 Остварени научни допринос

Остварени научни допринос докторске дисертације огледа се пре свега у развоју оригиналног стохастичког модела за управљање квалитетом руде у условима рада дисконтинуалног система на површинским коповима, при чему су у јединствен оптимизациони оквир интегрисани производни захтеви, ограничења броја активних копова и захтеви у погледу квалитета руде намењене даљој преради. Критеријуми квалитета и оперативна ограничења уграђени не само у функцију циља, већ и у саму логику генерисања планских решења. За разлику од приступа у којима се наведени аспекти разматрају одвојено, у овој дисертацији они су повезани у модел који функционише на нивоу смене и који је прилагођен реалним условима рударских операција.

Посебан научни допринос рада представља формулисање проблема на нивоу вишесменске експлоатације већег броја мањих и међусобно просторно издвојених површинских копова, уз истовремено поштовање техничких, логистичких, капацитивних и квалитативних ограничења. На тај начин истраживање је усмерено на област која је у доступној литератури недовољно заступљена, посебно када је реч о симултаном оптимизацији производње и квалитета у оквиру једног практично применљивог модела.

Посебно је значајно што је развијени модел омогућио повезивање два нивоа планирања који се у пракси често посматрају одвојено, односно конкретно дугорочног планирања са краткорочним тј. оперативним плановима управљања производњом и квалитетом. У том смислу, дисертација показује да је могуће формирати детаљан оперативни план који потврђује изводљивост постојећих дугорочних планских поставки и омогућава њихову доследну реализацију у реалним условима рада, из смене у смену.

Научни допринос рада потврђен је и практичном валидацијом модела на реалној студији случаја која обухвата осам површинских копова лимонитне руде и плански хоризонт од 1.000 смена. На тај начин показано је да предложени приступ има не само теоријску заснованост, већ и високу применљивост у условима блиским инжењерској пракси. Поређење резултата добијених применом модела са мануелно формираним планом додатно је омогућило објективнију оцену његове вредности и потврдило предност алгоритамошког приступа у погледу усаглашености квалитета, стабилности решења и оперативне ефикасности.

У целини посматрано, докторска дисертација даје оригиналан и научно утемељен допринос области површинске експлоатације, јер нуди нов методолошки оквир за интегрално решавање проблема оперативног планирања и управљања квалитетом руде у условима рада дисконтинуалног система. Развијени модел представља значајан искорак у односу на досадашње приступе и истовремено чини добру основу за даљи развој интелигентних метода у рударском инжењерству.

5.4 Критичка анализа резултата истраживања

Резултати спроведеног истраживања показују да развијени стохастички модел, заснован на примени генетског алгорита, представља ефикасан и функционалан оквир за оперативно планирање и управљање квалитетом руде у условима рада дисконтинуалног система на површинским коповима. Добијени резултати потврђују да је могуће у јединственом оптимизационом поступку истовремено обухватити техничка, логистичка, капацитивна и квалитативна ограничења, при чему модел обезбеђује висок степен усаглашености оперативног плана са захтевима прераде и дугорочним планским поставкама.

Посебно је значајно што је развијени модел показао способност да на нивоу појединачних смена формира решења која су технички изводљива, уз поштовање ограничења броја активних копова, сменског капацитета и захтеваног квалитета руде. На тај начин потврђена је основна поставка истраживања да се управљање квалитетом може успешно интегрисати у сам процес оперативног планирања, а не посматрати искључиво као накнадна контрола производње. Истовремено, добијени резултати указују да предложени модел представља поуздан инструмент за проверу изводљивости дугорочног стратешког плана у реалним условима рада, односно за процену да ли се дугорочно дефинисани циљеви могу доследно реализовати на нивоу смене.

Критичка анализа добијених резултата јасно показује предност модела у односу на мануелно формиран оперативни план. Док је код мануелног планирања, заснованог на инжењерској процени и искуству, утврђено да 154 од 1.000 смена, односно 15,4%, одступа од задатих квалитативних услова, примена генетског алгорита смањила је број неусаглашених смена на 19, односно 1,9%. Овако значајно побољшање указује на то да алгоритамски приступ далеко успешније решава сложен простор ограничења него класично планирање, посебно у условима када је неопходно истовремено пратити више активних копова, промене у резервама, однос корисних и штетних компоненти и организациона ограничења система.

Поред боље усаглашености са захтевима квалитета, модел је показао и изразиту оперативну предност у погледу брзине и поузданости израде плана. За разлику од мануелног приступа, који захтева значајно време, континуирано праћење резерви и подложен је људским грешкама, развијени модел омогућава аутоматизовано генерисање плана у кратком временском року, уз прецизно праћење динамике исцрпљивања појединих копова. Овај аспект има посебан значај у пракси, јер омогућава брзу реакцију у случају поремећаја у производњи и доношење благовремених одлука без значајног повећања инжењерског оптерећења.

Посебну вредност резултата представља чињеница да преостале неусаглашене смене не треба тумачити као недостатак самог модела, већ пре свега као показатељ реалних геолошких и просторних ограничења анализираног лежишта. Управо у томе се огледа додатна истраживачка вредност модела, јер он не служи само за оптимизацију, већ и за идентификацију критичних делова производног процеса у којима су ограничења система објективно присутна.

Испитивањем два додатна сценарија, којима се испитује осетљивост на промену капацитета уз задржавање истог геолошког оквира (исти блок-модел) и истих ограничења квалитета, показано је да модел задржава стабилност и у измењеним оперативним условима. У тим сценаријима број неусаглашених смена износио је од 2,2% до 2,6%, што, и поред повећаног производног оптерећења, и даље представља висок степен усаглашености са циљним условима. Ови резултати указују на задовољавајућу робусност модела и потврђују да његова ефикасност не произилази искључиво из једног конкретног планског сценарија, већ из саме структуре оптимизационог поступка.

Један од значајних резултата истраживања јесте и способност модела да се адаптивно понаша у условима промене расположивих резерви. У сценарију са највећим капацитетом, након исцрпљивања резерви на једном од копова пред крај планског хоризонта, модел је самостално активирао нову локацију откопавања како би очувао стабилност мешавине руде и омогућио реализацију преосталих производних обавеза. Такав резултат указује на висок степен реактивности алгорита и потврђује његову способност да у оквиру задатих правила пронађе нова, оперативно прихватљива решења без додатне интервенције инжењера.

Ипак, упркос оствареним резултатима, потребно је указати и на одређена ограничења развијеног модела. Пре свега, модел полази од претпоставке пуне расположивости механизације, односно не врши предикцију могућих кварова опреме, тј. ради са унапред дефинисаном расположивошћу система багер-камион. Такође, функција циља преваходно је усмерена на усаглашавање капацитета и квалитета, док економски аспекти транспорта, као што су варијабилне транспортне дистанце, потрошња горива и промене услова рада са продубљивањем копова, нису експлицитно укључени у оптимизацију. Поред тога, квалитет добијених решења у знатној мери зависи од поузданости почетног геолошког блок-модела, тако да већа одступања између процењених и стварних садржаја могу утицати на оперативну реализацију плана.

На основу свега наведеног, може се оценити да резултати истраживања потврђују научну оправданост и практичну вредност развијеног модела. Истовремено, критичка анализа показује да постоји простор за његово даље унапређење, пре свега кроз увођење мултикритеријумске оптимизације, интеграцију параметара поузданости опреме, укључивање економских и логистичких критеријума, као и кроз поређење са другим оптимизационим техникама. Управо због тога се може закључити да дисертација, поред конкретних резултата, отвара и јасан правац за даља истраживања у области оперативног планирања и управљања квалитетом у површинској експлоатацији.

5.5 Очекивана примена резултата у пракси

Резултати приказани у докторској дисертацији имају изражену практичну применљивост у области површинске експлоатације минералних сировина, посебно у условима рада дисконтинуалних система код којих је неопходно истовремено испунити производне, технолошке и квалитативне захтеве. Развијени стохастички модел представља основу за унапређење оперативног планирања, јер омогућава формирање сменских планова рада који су технички изводљиви, производно стабилни и усаглашени са захтеваним квалитетом руде за даљу прераду.

Практична вредност предложеног модела огледа се пре свега у могућности његове непосредне примене као алата за подршку одлучивању у свакодневном раду рударских инжењера. Уместо традиционалног приступа, који се у значајној мери ослања на искуство, мануелне прорачуне и субјективну процену, развијени модел омогућава систематично, брзо и објективније генерисање оперативних планова. На тај начин се смањује могућност људске грешке, скраћује време потребно за израду и корекцију плана, а процес доношења одлука постаје поузданији и ефикаснији.

Посебно значајан аспект практичне примене резултата односи се на контролу квалитета руде на нивоу појединачних смена. Тиме се стварају услови за поузданије снабдевање постројења за прераду сировином одговарајућег квалитета, што има директан утицај на стабилност производног процеса и укупну ефикасност рударско-прерађивачког система.

Очекивана примена резултата у пракси огледа се и у могућности провере изводљивости дугорочних стратешких планова на оперативном нивоу. Развијени модел омогућава да се испита да ли су дугорочно постављени циљеви у погледу количина откопавања, ангажовања појединих копова и очекиваног квалитета руде заиста достижни у реалним условима рада, из смене у смену. На тај начин резултати истраживања могу бити од значаја не само за

краткорочно управљање производњом, већ и за усклађивање различитих нивоа планирања у рударском систему.

Практична примена развијеног приступа посебно је важна у системима у којима се експлоатација одвија на више просторно издвојених копова различитих квалитативних карактеристика. У таквим условима модел може послужити за рационалнији избор активних радилишта, боље искоришћење расположивих резерви и уравнотеженије ангажовање појединих копова током дужег временског периода. Истовремено, омогућава се смањење или чак елиминисање потребе за додатним усредњавањем руде на депонијама, чиме се поједностављује технолошки процес, смањују трошкови поновног претовара и повећава укупна оперативна ефикасност.

Значај резултата за праксу огледа се и у чињеници да је модел имплементиран у широко доступном Excel/VBA окружењу, што његову примену чини реално остваривом без потребе за набавком сложених и скувих специјализованих софтверских решења. Оваква имплементација омогућава релативно једноставно увођење модела у инжењерску праксу, прилагођавање локалним условима рада и даље унапређење у складу са специфичностима конкретног рударског система.

Поред непосредне примене у оперативном планирању, резултати дисертације могу имати значај и у ширем контексту управљања производњом, јер пружају основу за развој напреднијих система за подршку одлучивању у рударству. Развијени модел може послужити као полазиште за укључивање додатних критеријума, као што су трошкови транспорта, поузданост опреме, тржишни захтеви или динамичке промене у експлоатационим условима, чиме би се његова практична вредност додатно повећала.

На основу свега наведеног, може се закључити да резултати докторске дисертације имају јасно изражену и вишеструку примену у пракси. Они могу допринети унапређењу оперативног планирања, контроли квалитета руде, рационалнијем коришћењу механизације и резерви, као и повећању сигурности и ефикасности у процесу доношења одлука. Управо због тога развијени модел не представља само научни допринос, већ и конкретан, оперативно применљив инструмент за унапређење рада дисконтинуалних система на површинским коповима.

5.6 Осврт на референтну и коришћену литературу

При изради докторске дисертације коришћена је литература која обухвата 102 литерарне јединице, укључујући научне радове, стручне публикације, уџбенике, стандардне и званичне изворе. Коришћени литературни извори обухватају класична и савремена сазнања из области површинске експлоатације, утоварно-транспортних система, оперативног планирања, управљања квалитетом минералне сировине, стохастичког моделовања и примене генетских алгоритама и других оптимизационих приступа у рударском инжењерству.

Из коришћене литературе јасно се уочава да је кандидат систематично приступио анализи досадашњих истраживања, критички сагледао постојеће научне ставове и резултате, и на основу тога прецизно идентификовао истраживачки простор у коме је било оправдано развити сопствени модел.

Комисија оцењује да је коришћена литература адекватна, довољно обимна, научно релевантна и правилно одабрана, те да је кандидату омогућила да истраживање постави на поуздане научне основе.

6. ОБЈАВЉЕНИ И САОПШТЕНИ РЕЗУЛТАТИ

Током докторских студија, кандидат Јелена Игњатовић је резултате свог истраживања верификовала кроз више публикованих радова. Први наведени рад у категорији M22, на ком је кандидат први аутор, уско је повезан са истраживањем приказаним у овој предметној дисертацији и верификује научни допринос кандидата Јелене Игњатовић.

Рад у истакнутом међународном часопису M22

- **Ignjatović Jelena**, Stevanović Dejan, Banković Mirjana, & Marković Petar (2026). A Genetic Algorithm Model for Short-Term Planning and Quality Management in Open-Pit Mining [MDPI AG]. Applied Sciences, 16(6), 2642, ISSN 2076-3417 (M22) IF=2.5 <https://doi.org/10.3390/app16062642>

Саопштење са међународног скупа штампано у целини M33

- Pavlović Natalija, Šubaranović Tomislav, **Ignjatović Jelena**, Pavlović Vladimir, CLIMATE CHANGES AND OPEN PIT MINING, 16th INTERNATIONAL MINING CONFERENCE, OMC 2024, Zlatibor, 9-12th October 2024, Hotel Palisad, Zlatibor, Serbia, ISBN-978-86-83497-31-7, 200-203

Рад у водећем часопису националног значаја M51

- Katarina Urošević, Jelena Zakonović, **Jelena Ignjatović**, Radmila Gaćina, DIFFERENT ASPECTS OF SOFT COMPUTING METHODS APPLICATION FOR BLASTING IN MINING (2019) Podzemni radovi, (M51) DOI broj:10.5937/podrad1935065U

7. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Јелене М. Игњатовић мастер инжењера рударства, под насловом „Стохастички модел за управљање квалитетом при раду дисконстинуалног система на површинским коповима“ урађена је према одобреној пријави и представља самостално и оригинално научно дело.

Израдом докторске дисертације и постигнутим резултатима истраживања, који су представљени у оквиру научног рада објављеног у часопису међународног значаја (категорија M22), кандидат Јелена М. Игњатовић је успешно доказала своје напредно разумевање и развила оригинални модел који се заснива примени стохастичких алгоритама у сврху управљања квалитетом.

Кроз своје истраживање, кандидат Јелена М. Игњатовић је не само да допринела научној заједници кроз развој оригиналне и иновативне методе, већ је и доказала способност да на високом нивоу разматра комплексне проблеме које обухватају различите аспекте рударске производње.

Имајући у виду научну заснованост, оригиналност, савременост теме, значај остварених резултата, као и чињеницу да је кандидат показао потпуну оспособљеност за самосталан научноистраживачки рад, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију кандидата Јелене М. Игњатовић.

Узимајући у обзир све наведено, стекли су се сви услови за јавну одбрану докторске дисертације кандидата Јелене М. Игњатовић.

Предлог Комисије Наставно-научном већу

На основу свега изложеног сматрамо да докторска дисертација кандидата Јелене М. Игњатовић, мастер инжењера рударства, под насловом: „Стохастички модел за управљање квалитетом при раду дисконстинуалног система на површинским коповима“ представља оригинално научно дело из научне области Рударско инжењерство односно уже научне области Пројектовање и планирање површинских копова.

Предлажемо Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, да прихвати позитиван Извештај о урађеној докторској дисертацији, као и да кандидата Јелену М. Игњатовић, мастер инжењера рударства, позове на усмену одбрану пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 29.04.2026. год.

Чланови комисије:

др Томислав Шубарановић, редовни 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 у металургију, Бор