

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ-  
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ**

11120 Београд 35, ул. Ђушина 7  
Тел: (011) 3219-101, Факс: (011) 3235-539



**UNIVERSITY OF BELGRADE,  
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY**

Republic of Serbia, Belgrade, Djusina 7  
Phone:(381 11) 3219-101, Fax:(381 11) 3235-539

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**  
**- Веће научних области техничких наука-**

Београд  
Студентски трг бр. 1

Достављамо вам:

- Образац захтева за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији мр Даниела Кржановића, дипл. инж. рударства.
- Одлуку Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду о усвајању извештаја Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације.
- Реферат Комисије
- Један укоричен штампани примерак докторске дисертације
- Електронска верзија докторске дисертације

Шеф Одељења за студентска  
и наставна питања

Љиљана Колоња, дипл. инж. рударства

Факултет: Рударско-геолошки

(Број захтева)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
 Веће научних области техничких наука  
 (Назив већа научних области коме се захтев упућује)

(Датум)

**ЗАХТЕВ****за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији**

Молимо да, сходно члану 46. ст.5. тач. 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета,“ бр.131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата

Мр Даниела (Петар) Кржановића, дипл. инж. рударства  
 (име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ

Мр Даниел (Петар) Кржановић, дипл. инж. рударства  
 (име, име једног од родитеља и презиме)

пријавио је докторску дисертацију под називом:

„МОДЕЛ ЗА ОПТИМИЗАЦИЈУ ГРАНИЧНОГ САДРЖАЈА МЕТАЛА У РУДИ У ФУНКЦИЈИ ДУГОРОЧНОГ ПЛАНИРАЊА  
 ПОВРШИНСКИХ КОПОВА“

Научна област: Рударско инжењерство

Универзитет је дана 12.05.2014. године својим актом под бр. 02 број:61206-1668/2014 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„МОДЕЛ ЗА ОПТИМИЗАЦИЈУ ГРАНИЧНОГ САДРЖАЈА МЕТАЛА У РУДИ У ФУНКЦИЈИ ДУГОРОЧНОГ ПЛАНИРАЊА  
 ПОВРШИНСКИХ КОПОВА“

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата

Мр Даниела (Петар) Кржановић, дипл. инж. рударства  
 (име, име једног од родитеља и презиме)

образована је на седници одржаној 24.03.2016. год., одлуком факултета под бр. 1/103, у саставу:

Име и презиме члана комисије

звање

научна област

- др Никола Лилић, ред. проф. Припрема минералних сировина, заштита животне средине и заштита на раду
- др Божо Колоња, ред. проф. Експлоатација чврстих минералних сировина и механика стена
- др Динко Кнежевић, ред. проф. Припрема минералних сировина, заштита животне средине и заштита на раду
- др Дејан Стевановић, доц. Експлоатација чврстих минералних сировина и механика стена
- др Миленко Љубојев, научни саветник Института за рударство и металургију, Бор Механика тла и стена

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 21.04.2016. год.

**ДЕКАН**  
 Рударско-геолошког факултета

Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом  
 2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја  
 3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности, уколико је таквих примедба било.

Проф. др Душан Полочнић

На основу члана 156. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду на својој седници одржаној 21.04.2016. године, донело је

## О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **мр Даниела Кржановића, дипл. инж. рударства**, под насловом *"Модел за оптимизацију граничног садржаја метала у руди у функцији дугорочног планирања површинских копова"*, на који није било примедби.
2. Универзитет у Београду је дана 12.05.2014. године дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.
3. Рад из научног часописа са листе која је утврђена као релевантна за вредновање научне компетенције у одређеном научном пољу:
  - Kržanović, D., Kolonja, B., Stevanović, D., 2015, Maximizing the net present value by applying an optimal cut-off grade for long-term planning of the copper open pits, Acta Montanistica Slovaca, The Union of Metallurgy, Mining Industry and Geology of Slovak Republic, the Slovak Mining Society, the Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies (FBERG) of the Technical University of Kosice (Slovakia), and the Faculty of Mining and Geology (HGF) of the VSB Technical University of Ostrava (Czech Republic), Volume 20 (2015), number 1, (IF 0.329), pp. 49-61, (ISSN 1335-1788), dostupno na [<http://actamont.tuke.sk/ams2015.html>].
4. Именовани ће бранити докторску дисертацију пред комисијом у саставу: др Никола Лилић, ред. проф.; др Божо Колоња, ред. проф.; др Динко Кнежевић, ред. проф.; др Дејан Стевановић, доц.; др Миленко Љубојев, научни саветник ИПМ Бор.
5. Докторска дисертација из става 1. ове одлуке подобна је за одбрану након добијања сагласности од Већа научних области техничких наука.
6. О термину одбране благовремено се обавештава стручна служба ради обављања претходних активности.

Д Е К А Н

др Душан Полоччић, ред. проф.

Достављено:

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

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Даниела Кржановића**

Одлуком Наставно научног већа, Рударско-геолошког факултета бр. 1/103 од 29.03.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **мр Даниела Кржановића, дипл. инж. рударства** под насловом

### **Модел за оптимизацију граничног садржаја метала у руди у функцији дугорочног планирања површинских копова**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

## **РЕФЕРАТ**

### **1. УВОД**

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Даниел Кржановић, дипл. инж. рударства пријавио је израду докторске дисертације 20.09.2013. године Катедри за транспорт у рударству, Рударско-геолошког факултета (арх.бр 1/227). Кандидат је за ментора предложио Николу Лилића, ред. проф. Рударско - геолошког факултета.

Одлуком Наставно-научног већа Рударско - геолошког факултета у Београду бр. 1/288 од 28. октобра 2013. године прихваћен је предлог о саставу Комисије за давање мишљења о научној заснованости предложене теме докторске дисертације, у саставу: др Божо Колоња, ред. проф., Рударско – геолошки факултет, др Динко Кнежевић, ред. проф., Рударско – геолошки факултет, др Никола Лилић, ред. проф., Рударско – геолошки факултет, др Ранка Станковић, доцент, Рударско–геолошки факултет, др Владимир Малбашић, ванр. професор, Рударски факултет Приједор.

Наставно-научно веће Рударско – геолошког факултета у Београду на својој седници од 27. децембра 2013. године, усваја извештај Комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора, и доноси одлуку бр. 1/379, којом се прихвата тема докторске дисертације под насловом "Модел за оптимизацију граничног садржаја метала у руди у функцији дугорочног планирања површинских копова" кандидата Даниела Кржановића, и именује за ментора др Николу Лилића редовног професора.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, на седници која је одржана 12. маја 2014. године, донело је одлуку бр. 61206-1668/2014 којом се даје

сагласност и одобрава рад на предложеној теми докторске дисертације под менторством редовног професора др Николе Лилића.

Кандидат Даниел Кржановић, дипл. инж. рударства дописом бр. 1/66 од 04. марта 2016. године поднео је молбу за именовање Комисије за оцену и одбрану урађене докторске дисертације под називом: "Модел за оптимизацију граничног садржаја метала у руди у функцији дугорочног планирања површинских копова". Катедра за пројектовање и планирање површинских копова упутила је допис Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета број 1/70 од 03. марта 2016. године са предлогом чланова Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: др Никола Лилића, ред. проф., Рударско – геолошки факултет, др Божо Колоња, ред. проф., Рударско – Геолошки факултет, др Динко Кнежевић, ред. проф., Рударско – геолошки факултет, др Дејан Стевановић, доцент, Рударско – геолошки факултет, др Миленко Љубојев, научни саветник, Институт за рударство и металургију Бор.

На основу наведеног дописа Наставно-научно веће је на седници од 24. марта 2016. године донело одлуку бр. 1/103 од 29. марта 2016. године којом је усвојило предлог Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације, чиме су стекли услови за писање овог реферата.

### 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација "Модел за оптимизацију граничног садржаја метала у руди у функцији дугорочног планирања површинских копова" припада области техничких наука, научној области „Рударство“ односно ужој научној области „Експлоатација чврстих минералних сировина и механика стена“ за коју је матичан Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду.

За ментора ове докторске дисертације именован је др Никола Лилић, редовни професор Рударско–геолошког факултета. Ментор поседује већи број научних радова објављених у међународним и домаћим часописима, а везаних за проблематику експлоатације на површинским коповима као и значајно искуство у раду са привредом, те се може сматрати компетентним за вођење докторанда у току израде докторске дисертације са горе наведеним насловом.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Даниел Кржановић, дипл. руд. инж. рођен је 14. маја 1967. године у Зајечару. Након завршене средње школе школске 1986/1987. године, уписао је Технички факултет у Бору, Универзитета у Београду, Рударски одсек, Смер за експлоатацију лежишта минералних сировина.

Основне студије завршио је 1996. године, одбраном дипломског рада са темом "Упоредна анализа камионског и комбиновог транспорта руде на површинском копу Церво Цементација". Завршио је студије са просечном оценом 8,82.

Магистарску тезу под називом „Методологија одређивања оптималне дужине транспорта утоваривачима на површинским коповима“ одбранио је 2010. године на Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду и стекао академски назив: Магистар техничких наука за површинску експлоатацију.

Од 1996. до 2000. године био је запослен у Рударско топионичарском басену Бор, на површинском копу Велики Кривељ.

У Институту за рударство и металургију Бор у Бору запослен је од 01. 11. 2000. године, у Сектору за инжењеринг и пројектовање, одељењу Gemcom и Minex, са звањем истраживач сарадник.

У досадашњем периоду, Даниел Кржановић је као аутор или коаутор објавио више од 100 научних и стручних радова и техничких решења. У својим радовима кандидат се фокусирао на проблематику везану за оптимизацију границе копа, планирање производње на површинским коповима, као и заштиту животне средине.

Даниел Кржановић у својству истраживача учествује од 2011. године у реализацији научно истраживачких пројеката (Пројекти ТР 33021 и ТР 33038) који се финансирају од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја, у оквиру програма истраживања у области технолошког развоја.

Упоредо са научним радом Даниел Кржановић се интензивно бави и пројектантским радом из домена површинске експлоатације, уз професионално коришћење софтвера за пројектовање из ове области. Као одговорни пројектант или сарадник учествовао је у изради великог броја студијских решења и рударских пројеката.

Од 2014. године уписан је у Регистар судских вештака за област: рударство и геологија.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Даниела Кржановића, диплинж рударства, под називом "Модел за оптимизацију граничног садржаја метала у руди у функцији дугорочног планирања површинских копова" написана је на 298 страница стандардног формата А4 на српском језику, и садржи 114 слика и дијаграма, 10 табела и 148 библиографских јединица.

Докторска дисертација кандидата Даниела Кржановића подељена је на девет функционално повезаних поглавља:

- 1) Увод
- 2) Преглед литературе
- 3) Дугорочно планирање површинских копова
- 4) Математички модел за оптимизацију граничног садржаја метала у руди
- 5) Развој интегралног модела за оптимизацију граничног садржаја метала у руди
- 6) Примена развијеног интегралног модела на лежишту Краку Бугареску Цементација
- 7) Закључак и препоруке за даљи рад
- 8) Литература
- 9) Биографија

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У структурном смислу дисертација је прилагођена постављеним циљевима и примењеној методологији.

Прво поглавље даје кратак опис проблематике која је обрађена у овој дисертацији. Поред тога, представљени су значај и циљ истраживања, полазна хипотеза и научне методе истраживања.

Друго поглавље даје кратак преглед литературе која се бави оптимизацијом граничног садржаја у руди. При томе је представљена литература која овај проблем сагледава у условима детерминистичких и стохастичких цена метала, као и у условима примене реалних опција вредности.

Треће поглавље објашњава концепте и проблеме у вези са постојећим техникама оптимизације површинских копова, као што су математичко моделирање, хеуристички и метахеуристички алгоритми. Такође су у овом поглављу представљени модел трошкова и модел за економску евалуацију рударских пројеката.

Четврто поглавље дефинише стратегију граничног садржаја и пружа детаљан опис математичког проблема оптимизације граничног садржаја. Овим поглављем обухваћене су методе оптимизације граничног садржаја и математички алгоритми који су дефинисани овим методама. Четврто поглавље заједно са трећим поглављем представља основу за развој интегралног модела представљеног у петом поглављу.

Пето поглавље приказује развијени интегрални модел за оптимизацију граничног садржаја метала код откопавања лежишта сулфидних и оксидних полиметаличних руда. Поглавље садржи опис и решење проблематике којом се бави предложени развијени модел, његова ограничења и претпоставке и опис примењених математичких модела у развоју интегралног модела. У оквиру поглавља дат је опис предности које пружа имплементација предложеног модела на реалном лежишту.

Шесто поглавље приказује примену модела описаног у петом поглављу на лежишту Краку Бугареску Цементација, који се експлоатише у оквиру компаније Рударско топионичарски басен Бор, као и резултате тестирања развијеног модела. Подаци који су коришћени за пример добијени су из званичних извештаја компаније, који престављају реалне резултате остварене производње у технолошком ланцу рударство – металургија.

Седмо поглавље даје главне закључке који се могу извести на основу спроведеног истраживања у овој дисертацији и идентификује оригиналне доприносе тезе. У поглављу се дају препоруке за даљи рад на истраживању у области развоја модела за оптимизацију граничног садржаја метала у руди.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1. Савременост и оригиналност**

Докторска дисертација "Модел за оптимизацију граничног садржаја метала у руди у функцији дугорочног планирања површинских копова" кандидата Даниела Кржановића дипл. инж. рударства, представља савремен и оригиналан приступ анализи математичких модела за оптимизацију граничног садржаја метала у руди код планирања експлоатације на површинским коповима.

Примена савремених метода науке о инжењерству у рударству, односно геомоделирању и метода математичког програмирања и оптимизације у изради дисертације омућује савремен приступ разматрању проблема оптимизације граничног садржаја метала у руди.

Оригиналност дисертације обезбеђена је кроз развој математичког модела, који интегрише систем дугорочног планирања граничног садржаја метала у руди за полиметалична лежишта

оксидних и сулфидних руда.

Из наведеног може се закључити да анализом проблематике и референтних научних радова који се баве математичким моделима за оптимизацију граничног садржаја метала у руди као и развојем новог модела за споменути проблематику из области рударске праксе, дисертација обезбеђује критеријуме савремености и оригиналности.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији коришћена је обимна литература која третира проблематику дугорочног планирања површинских копова металних рудних лежишта. Посебна пажња посвећена је прегледу литературе базиране на научном изучавању математичких модела за оптимизацију граничног садржаја метала у руди. Коришћена литература је кандидату послужила као полазна основа за сагледавање тренутног стања у вези са постојећим истраживањима из области на које се дисертација односи. При томе, коришћена литература представља избор савремене и актуелне литературе новијег датума. Међу наведеним референцама велики је број саопштења у међународним часописима са импакт фактором. Кандидат је детаљно претражио и анализирао одговарајућу литературу и на основу урађене анализе, могуће је сагледати актуелно стање у областима које су биле предмет дисертације.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Примењене научне методе су адекватне постављеном проблему. У том смислу у дисертацији је дат и детаљан преглед свих појединачних проблема у комплексном систему оптимизације граничног садржаја метала у полиметаличној руди, која садржи сулфидне и оксидне минерале, код дугорочног планирања експлоатације на површинским коповима. Такође, кроз преглед референтне научне литературе, дисертација садржи врло детаљан осврт широко коришћених математичких модела, који се користе при решавању анализиране проблематике.

Осврт на описане математичке моделе омогућио је даљи научни рад на пољу изучавања проблематике оптимизације граничног садржаја метала у полиметаличној руди, која садржи сулфидне и оксидне минерале код дугорочног планирања површинских копова.

На бази дефинисаних проблема у процесима оптимизације граничног садржаја и планирања на површинским коповима, као и на основу критичког осврта на описани математички алат, односно постојеће математичке моделе, проистекла је и основна хипотеза и циљеви дисертације.

Како би се полазна хипотеза верификовала и постигли постављени циљеви дисертације, дефинисани су и задаци дисертације, који се свде на развој модела дугорочног планирања рудника на основу граничног садржаја метала у руди по годинама експлоатације ради остваривања максималног профита у току животног века рудника.

Развијени модел за дугорочно планирање површинских копова базира се на познатим и верификованим математичким методама. Конкретно, за генерисање модела лежишта користи се геостатистичка метода, за оптимизацију граница површинских копова користи се детерминистичка теорија графова (инкорпорирана у Lerch-Grosmann оптимизациони алгоритам), а применом Lane методе извршена је оптимизација граничног садржаја метала у руди.



Верификација развијеног интегралног модела извршена је методом експериментисања на примеру реалног површинског копа који експлоатише два типа руде – сулфидну и оксидну руду.

#### 3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати докторске дисертације применљиви су у научном смислу, али имају и значајну практичну примену.

Постављени и испуњени задаци (у виду развоја интегралног модела) базирани су на решавање конкретних проблема из рударске праксе, односно конкретно из области оптимизације граничног садржаја метала у руди код полиметаличних лежишта, која садрже сулфидне и оксидне минерале, у циљу дугорочног планирања експлоатације на површинским коповима.

Развијени модел третира проблем дугорочног планирања површинских копова са аспекта управљања граничним садржајем метала у руди. Овај проблем, посебно је изражен код полиметаличних лежишта сулфидне и оксидне руде. Тренд опадања квалитета лежишта металичних минералних сировина на којима се врши експлоатација, као и стриктни захтеви процеса флотацијске прераде по питању садржаја оксида у улазној руди, додатно актуелизује дотичну проблематику и генеришу потешкоће у процесу планирања експлоатације на коповима.

Кандидат је у дисертацији препознао значај овог проблема, који је присутан и на домаћим коповима металичних минералних сировина, и у циљу превазилажења истог развио модел способан да пружи практичан оквир решавању описане проблематике. Конкретно, развијени модел заснива се на оптимизацији свих процеса у интегралном систему добијања финалног производа, а у практичном смислу модел пружа ширу и потпунију слику од тренутно актуелних модела оптимизације, чиме олакшава доношење стратешких одлука у процесу дугорочног планирања експлоатације.

Развијени математички модел за оптимизацију граничног садржаја метала у руди представљен у овој дисертацији проблем третира са аспекта динамичке промене граничног садржаја по годинама експлоатације у току животног века рудника. На тај начин модел омогућава да се остварује максимизација годишњих новчаних токова, односно коначне вредности НПВ рударског пројекта.

Практична верификација развијеног интегралног модела извршена је тестирањем на примеру реалног полиметаличног лежишта.

#### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде докторске дисертације показао да је у стању да самостално решава научне проблеме и да влада научним и истраживачким методама. Тема коју је обрадио с обзиром на своју мултидисциплинарност захтева изражену аналитичност у раду и систематичност у решавању проблема. Кандидат је при томе у потпуности искористио своје искуство које је стекао у досадашњем истраживачком и пројектантском раду у овој научној области. Такође, кандидат је у потпуности реализовао планирано истраживање од почетне идеје до завршетка докторске дисертације. Верификација научног доприноса и рада кандидата материјализована је објављивањем рада у часопису категорије M23.

На основу укупно остварених резултата у научно истраживачком раду, закључујемо да је

кандидат способан за даљи самосталан научно-истраживачки рад.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Докторска дисертација "Модел за оптимизацију граничног садржаја метала у руди у функцији дугорочног планирања површинских копова" кандидата Даниела Кржановића дипл. инж. рударства, представља савремен и оригиналан приступ у развоју математичког модела за оптимизацију граничног садржаја и планирање површинских копова који поседује и значајан научни допринос.

Кроз анализу проблематике оптимизације и планирања на површинским коповима, као и преглед релевантних научних радова, у дисертацији се апострофира значај граничног садржаја метала у руди као једног од веома важних техничких и економских параметара, који утиче на економску ефикасност у рударском предузећу. При томе, оптимизација граничног садржаја један је од основних и кључних фактора у управљању и доношењу пословних одлука при дефинисању стратегије дугорочног планирања површинских копова.

Сложена структура и међусобне интеракције многобројних улазних параметара представљају значајан проблем у процесу дефинисања решења рударског пројекта. Сврха модела који је развијен у овој дисертацији је да инжењеру рударске струке учини доступним алат који он може једноставно и ефикасно да користи при планирању и пројектовању површинских копова метала.

Моделом се доказује да се динамичко одређивање граничног садржаја метала у руди може интегрисати са логистиком процеса у откопавању, флотацијској и металуршкој преради. У том смислу, развијени модела пружа могућност да се још у фази планирања остваре оптимална решења, чијом се имплементацијом остварује максимизација вредности НПВ у реалним условима процеса експлоатације руде на површинским коповима.

У научном погледу модел потврђује полазну хипотезу да се оптимизацијом граничног садржаја метала у руди код дугорочног планирања површинских копова, за случајеве експлоатације полиметаличних лежишта која садрже оксидну и сулфидну руду, постиже унапређење економских резултата у интегрисаном систему откопавања, флотацијске и металуршке прераде руде. То конкретно значи да се применом предложеног модела постиже максимизација вредности НПВ, као примарног корпоративног циља.

Циљ дисертације је да се развојем модела дугорочног планирања површинских копова на основу граничног садржаја метала у руди по годинама експлоатације оствари максимални профит у току животног века рудника. Модел, развијен применом научних метода, доприноси јаснијем сагледавању утицаја граничног садржаја метала у руди на процесе прераде руде до финалног производа, посебно код лежишта са сулфидном и оксидном рудом.

Научни доприноси докторске дисертације могу се сагледати кроз неколико оригиналних решења:

- Развојем и применом модела граничног садржаја метала у руди заснованог на дугорочном планском прилагођавању процесу прераде унапређује се искоришћење природног ресурса и повећавају економски ефекти одрживости система експлоатације

и прераде руде, односно побољшавају се коначни ефекти целог пословног система рударство-металургија.

- Гранични садржај метала у руди посматра се као динамичка величина, што значи да су динамичке промене граничног садржаја током експлоатације полиметаличних сулфидних и оксидних руда по временским периодима инкорпориране у развијени модел.
- Развијени модел за оптимизацију граничног садржаја метала у руди омогућава свеобухватни приступ процесу планирања експлоатације на површинским коповима металичних минералних сировина, чиме се постижу бољи економски ефекти у односу на оптимизацију појединачних процеса једног сложеног система у ланцу добијања финалног производа.
- Коришћењем савремене научне методе геостатистичког геомоделирања, дефинисан је такав геомодел ресурса (блок модел) који је интегрисао просторну интерпретацију оксидне и сулфидне руде са релевантним параметрима о садржају метала у полиметаличној руди. Блок модел лежишта представља главни инпут у процесу оптимизације површинског копа.
- Користећи предност хеуристичких метода које омогућавају добијање задовољавајућих решења комбинаторне оптимизације за проблеме великих димензија у реалним применама, модел проналази оптимални гранични садржај при експлоатацији оксидних и сулфидних полиметаличних руда у интегрисаном систему рударство–металургија, уважавајући постојећа технолошка и геолошка ограничења.

Посебно значајан научни допринос ове докторске дисертације илустрован је имплементацијом математичког модела за оптимизацију граничног садржаја код планирања процеса експлоатације полиметаличног лежишта, које се одликује присуством и сулфидног и оксидног бакра у руди, са пратећим минералима злата и сребра. Модел сагледава целокупни технолошки процес добијања бакра као финалног производа, који се одвија кроз три основна процеса: процеса експлоатације руде, процес флотацијске прераде руде, и процес металуршке прераде концентрата.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Интегрални модел оптимизације граничног садржаја метала у руди развијен је на бази детерминистичког приступа решавању постављеног проблема, и представља један од могућих приступа који се примењу у савременим истраживањима. Развијени модел је применом савремених научних метода допринео јаснијем сагледавању и бољем решавању анализираних проблематике.

Увидом у дисертацију, полазне хипотезе и постављене циљеве истраживања, те на основу прегледа релевантне литературе, сагледавања стања научних истраживања из области докторске дисертације, Комисија констатује да је кандидат у потпуности оправдао очекивања која су зацртана пријавом дисертације. Добијена решења су оригинална, значајна и применљива у пракси. Развијени модел, унапређује конвенционално прихваћене методе и представља добру основу за даља истраживања у области оптимизације граничног садржаја код дугорочног планирања експлоатације на површинским коповима.

Комисија констатује да би имплементација развијеног модела у пракси значајно допринела побољшању решења у сложеним процесима планирања површинских копова металичних

минералних сировина.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос верификован је радом који је објављен у међународном часопису на коме је докторанд првопотписани аутор, а који је везан за истраживање које је спроведено у докторској дисертацији. У наставку су дати наслови десет радова који верификују рад кандидата на дисертацији.

##### Категорија M23:

**Kržanović, D.**, Kolonja, B., Stevanović, D., 2015, Maximizing the net present value by applying an optimal cut-off grade for long-term planning of the copper open pits, Acta Montanistica Slovaca, The Union of Metallurgy, Mining Industry and Geology of Slovak Republic, the Slovak Mining Society, the Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies (FBERG) of the Technical University of Kosice (Slovakia), and the Faculty of Mining and Geology (HGF) of the VSB Technical University of Ostrava (Czech Republic), Volume 20 (2015), number 1, (**IF 0.329**), pp. 49-61, (ISSN 1335-1788), dostupno na [<http://actamont.tuke.sk/ams2015.html>].

##### Категорија M24:

**Kržanović, D.**, Rajković, R., Mikić, M., Ljubojev, M., 2014, Effect of stage development of mining operations on maximization the net present value in long-term planning of open pits, Mining and Metallurgy Engineering Bor, 4/2014 Mining and Metallurgy Institute Bor, pp. 33-40, (ISSN 2334-8836, DOI:10.5937/MMEB1404033K)

Zoran Vaduvesković, Nenad Vušović, **Daniel Kržanović**, 2014, Analysis the possibility of improving the economic indicators of exploitation the deposit Cementacija Kraku Bugaresku-ore field Cerovo, Mining and Metallurgy Engineering Bor, Mining and Metallurgy Institute Bor, Vol. 1, pp. 37-46, (ISSN 2334-8836, DOI:10.5937/MMEB1401037K).

**Daniel Kržanović**, Radmilo Rajković, Miomir Mikić, 2012, Application of software packages Gemcom and Whittle for design in mining aimed to rational and cost-effective utilization the copper deposit Veliki Krivelj near Bor, Serbia, Rudarski radovi – Mining Engineering, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, pp. 91-98, (ISSN 1451 - 0162).

##### Категорија M33:

**Kržanović, D.**, Mikić, M., Ljubojev, M., Žikić, M., 2013, Application the software Whittle for planning the mining dynamics at the open pit South Mining District Majdanpek, Serbia, Conference Proceedings Volume I, 13th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2013, STEF92 Technology Ltd., Sofia, Bulgaria, pp. 251-258, (ISSN 1314-2704/ISBN 978-954-91818-7-6).

Zoran Vaduvesković, **Daniel Kržanović**, Miodrag Žikić, 2011, A review of previous exploratory works in the complex Cerovo Cementacija and data processing in the software Gemcom, Proceedings ,The 43rd International October Conference on Mining and Metallurgy, University of Belgrade, Technical Faculty Bor i Mining and Metallurgy Institute Bor, pp. 515-520, (ISBN 978-86-80987-87-3).

Zoran Vaduvesković, Miodrag Banješević, Nenad Vušović, **Daniel Kržanović**, 2011, Basic principles of development and using the digital block model in designing by the Gemcom and

Whittle softwares on the example of the “Veliki Krivelj” copper mine in Bor, Proceedings of the 17th meeting of the association of European Geological Societies, Serbian Geological Society, Kamenicka 6, P.O.B. 227, Belgrade, pp. 163-163 (poster) (ISBN 978-86-86053-10-7).

#### Kategorija M51:

**Daniel Kržanović**, Miodrag Žikic, Radmilo Rajković, 2011, Application the software packages Whittle and Gemcom for calculation the balance reserves of copper ore in the South mining district deposit Majdanpek, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, pp. 87-92, (ISSN 1451-0162).

**Daniel Kržanović**, Miodrag Zikic, Zoran Vaduveskovic, 2011, Innovated block model of the copper ore deposit South mining district-Majdanpek as a basis for analysis the optimum development of open pit using the software packages Whittle and Gemcom, Rudarski radovi – Mining Engineering, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, pp. 69-76, (ISSN 1451 - 0162).

#### Kategorija M84

**Daniel Kržanović**, Zoran Vaduvesković, Miodrag Žikić, Radoje Pantović, Saša Stojadinović, Nenad Vušović, 2012, Bitno poboljšanje iskorišćenja raspoloživih geoloških rezervi ležišta Južni revir Majdanpek u novo definisanoj optimalnoj konturi kopa primenom softverskih paketa Whittle i Gemcom, Tehničko rešenje, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација “Модел за оптимизацију граничног садржаја метала у руди у функцији дугорочног планирања површинских копова” кандидата Даниела Кржановића, дипл.инж. рударства, поседује савремен, оригиналан и научно утемељен приступ проблему оптимизације граничног садржаја метала у руди код дугорочног планирања експлоатације на површинским коповима. Математички и концепцијски модел који је дат у дисертацији представља значајан научни и практични допринос, са становишта актуелних потреба рударске индустрије.

На основу прегледане докторске дисертације, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације, закључује да урађена докторска дисертација кандидата Даниела Кржановића, дипл. инж. рударства испуњава све законске и остале услове за јавну одбрану. Комисија закључује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима о научно-истраживачком раду као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, Стандардима за акредитацију, Статутом Рударско-геолошког факултета и критеријумима које је прописао Универзитет у Београду. Комисија са задовољством примећује да је дисертација велике научне вредности у смислу да се применом предложеног модела на једноставан и практично применљив начин може остварити значајно унапређење економских резултата код планирања експлоатације на површинским коповима металних минералних сировина, са посебним освртом на полиметалична лежишта са сулфидном и оксидном рудом. Такође, као веома значајан научни допринос, истиче се што модел код оптимизације граничног садржаја успешно повезује све елементе у производном ланцу сложеног система рударство-металургија, и тиме обезбеђује већу ефикасност и потенцијал примене од тренутно актуелних модела оптимизације.

Комисија, на основу горе наведеног, предлаже Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета у Београду да се докторска дисертација под називом **"Модел за оптимизацију граничног садржаја метала у руди у функцији дугорочног планирања површинских копова"** кандидата **Даниела Кржановића** прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Београд, 05.04.2016. године

#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....  
Проф. др Никола Лилић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

.....  
Проф. др Божо Колоња, редовни професор  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

.....  
Проф. др Динко Кнежевић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

.....  
Доц. др Дејан Стевановић, доцент  
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

.....  
др Миленко Љубојев, научни саветник  
Институт за рударство и металургију Бор