

**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 Светлане Штрбац Савић, дипл. математичар.
- 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 Светлана (Мирко) Штрбац Савић, дипл. математичар  
(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ Мр Светлана (Мирко) Штрбац Савић, дипл. математичар  
(име, име једног од родитеља и презиме)

пријавио је докторску дисертацију под називом:

„ПРОГНОЗА ОПЕРАТИВНЕ ЕФИКАСНОСТИ АКТИВНОГ ПОДЗЕМНОГ РУДНИКА ЗАСНОВАНА НА ТЕОРИЈИ

СИВИХ СИСТЕМА“

Научна област: Рударско инжењерство

Универзитет је дана 19.10.2015. год. својим актом под бр. 02 број:61206-4091/2-15 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„ПРОГНОЗА ОПЕРАТИВНЕ ЕФИКАСНОСТИ АКТИВНОГ ПОДЗЕМНОГ РУДНИКА ЗАСНОВАНА НА ТЕОРИЈИ

СИВИХ СИСТЕМА“

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата:

Мр Светлана (Мирко) Штрбац Савић, дипл. математичар  
(име, име једног од родитеља и презиме)

образована је на седници одржаној 24.03.2016. год. одлуком факултета под бр. 1/104, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област
1. др Зоран Глигорић, ред. проф.		Подземна експлоатација лежишта минералних сировина
2. др Чедомир Бељић, ред. проф.		Подземна експлоатација лежишта минералних сировина
3. др Бранко Глушчевић, доц.		Подземна експлоатација лежишта минералних сировина
4. др Инес Гроздановић, ванр. проф.		Механика
5. др Небојша Бојовић, ред. проф. Универзитета у Београду-Саобраћајни факултет		Организација и менаџмент у саобраћају и транспорту

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 Поломчић

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 Светлане Штрбац Савић, дипл. математичар**, под насловом *"Прогноза оперативне ефикасности активног подземног рудника заснована на теорији сивих система"*, на који није било примедби.
2. Универзитет у Београду је дана 19.10.2015. 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:
  - Strbac Savic S., Nedeljkovic Ostojic J., Gligoric Z, Cvijovic C, Aleksandrovic S.: Operational Efficiency Forecasting Model of an Existing Underground Mine Using Grey System Theory and Stochastic Diffusion Processes, Mathematical Problems in Engineering, Volume 2015, Article ID 610307, 18 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/610307>, Hindawi Publishing Corporation, IF 0.762.
4. Именована ће бранити докторску дисертацију пред комисијом у саставу: др Зоран Глигорић, ред. проф.; др Чедомир Бељић, ред. проф.; др Бранко Глушчевић, доц.; др Инес Гроздановић, ванр. проф.; др Небојша Бојовић, ред. проф. Универзитета у Београду – Саобраћајни факултет.
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
- Именованој
- Одељењу за студентска питања

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата  
Светлане Штрбац Савић, магистра електротехнике

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета донетој на седници одржаној 24.03.2016. године (бр. одлуке 1/104 од 29.03.2016. године), именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Светлане Штрбац Савић, магистра електротехнике под називом

**Прогноза оперативне ефикасности активног подземног рудника заснована на теорији сивих система**

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

–18.05.2010. године, на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, кандидат Светлана Штрбац Савић, магистар електротехнике одбранила је магистарски рад под називом "Упоредна анализа перформански скоро балансираних стабала бинарног претраживања".

–29.05.2015. године, кандидат Светлана Штрбац Савић пријавила је тему за израду докторске дисертације под називом "Прогноза оперативне ефикасности активног подземног рудника заснована на теорији сивих система", (бр, пријаве 1/236).

–18.06.2015. године, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета именовало је Комисију за давање мишљења о научној заснованости предложене теме докторске дисертације кандидата Светлане Штрбац Савић, магистра електротехнике, (бр. одлуке 1/262 од 22.06.2015. године) у саставу:

др Зоран Глигорић ред.проф., Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет  
др Чедомир Бељић, ред. проф., Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет  
др Инес Гроздановић, ван. проф., Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет  
др Небојша Бојовић, ред. проф., Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

–17.09.2015. године Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета усвојило је извештај Комисије за давање мишљења о научној заснованости предложене теме докторске

дисертације кандидата Светлане Штрбац Савић, магистра електротехнике, под називом "Прогноза оперативне ефикасности активног подземног рудника заснована на теорији сивих система" и именовало др Зорана Глигорића, ред. проф., за ментора (бр. одлуке 1/297 од 21.09.2015. године).

–19.10.2015. године Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Светлане Штрбац Савић, магистра електротехнике, под називом "Прогноза оперативне ефикасности активног подземног рудника заснована на теорији сивих система", (бр. одлуке 1/394 од 29.10.2015. године).

–11.03.2016. године кандидат Светлана Штрбац Савић, магистар електротехнике, подноси молбу за именовање Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под називом "Прогноза оперативне ефикасности активног подземног рудника заснована на теорији сивих система", (бр. молбе 1/76).

–24.03.2016. године, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета именовало је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Светлане Штрбац Савић, магистра електротехнике, (бр. одлуке 1/104 од 29.03.2016. године) у саставу:

др Зоран Глигорић ред. проф., Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет  
др Чедомир Бељић, ред. проф., Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет  
др Бранко Глушчевић, доц., Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет  
др Инес Гроздановић, ван. проф., Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет  
др Небојша Бојовић, ред. проф., Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

## 1.2. Научна област дисертације

Дисертација Светлане Штрбац Савић, магистра електротехнике под називом "Прогноза оперативне ефикасности активног подземног рудника заснована на теорији сивих система" припада научној области Техничке науке-Рударско инжењерство, ужа научна област Подземна експлоатација лежишта минералних сировина. За ментора докторске дисертације именован је ментор др Зоран Глигорић, редовни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, због истакнутих научних и стручних доприноса у рударству, а посебно у ужој научној области Подземна експлоатација лежишта минералних сировина, којом се бави предметна дисертација.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат Светлана Штрбац Савић, магистар електротехнике, рођена је 07.04.1972 године у Скопљу. Основну школу „Владислав Рибникар“ у Београду завршила је 1987 године са одличним успехом. IV београдску гимназију (природно-математички смер) завршила је 1991 године такође са одличним успехом.

Дипломирала је 18.05.2001. године на Математичком факултету Универзитета у Београду, на смеру Рачунарство и информатика, са просечном оценом 7,70.

Последипломске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на смеру Софтверски системи, уписује 2002 године. Последипломске студије завршила је са просечном оценом 10.

Магистарски рад под називом: "Упоредна анализа перформански скоро балансираних стабала бинарног претраживања" одбранила је 2010 године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, Смер софтверски системи.

Од 2002 године ради у Вишој електротехничкој школи у Београду, као стручни сарадник на предметима: Програмирање I, Програмирање II, Увод у оперативне системе, Објективно програмирање и Програмирање у језику Java, Математика 1 и Математика 2 и Инжењерска математика.

Од 2012 године ради као предавач у Високој школи електротехнике и рачунарства струковних студија у Београду. Држи предавања из предмета Алгоритми и структуре података, Инжењерска математика, Вероватноћа и статистика, Електронска трговина и Увод у објектно програмирање. У истој институцији је од 2014 године ангажована као руководилац студијског програма Електронско пословање.

На научно-стручном симпозијуму INFOTEN учествовала је као рецензент радова из области Електронског пословања.

Као аутор или коаутор објавила је више научних и стручних радова, уџбеника и приручника.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под називом "Прогноза оперативне ефикасности активног подземног рудника заснована на теорији сивих система" написана је на српском језику, латиничним писмом, на 89 страна, садржи 19 табела, 12 слика и 86 једначина. Дисертација је подељена на шест поглавља: 1) Увод, 2) Рударство као оперативно окружење, 3) Теоријске основе модела, 4) Прогноза оперативне ефикасности, 5) Тестирање модела, 6) Закључак и будућа истраживања. У списку коришћене литературе налази се 68 референци.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво поглавље садржи уводна разматрања. У овом поглављу изложен је предмет истраживања докторске дисертације, приказани су научни циљеви и доприноси дисертације. Затим, дате су полазне поставке у истраживању, изложена је методологија која се користи у дисертацији и приказани су остварени резултати. Рударске компаније користе различите стратегије како би оствариле своје циљеве. Један од кључних елемената у оквиру тих стратегија јесте прогноза шта су реални циљеви и до којих граница се компанија може напрегнути како би их остварила. Стратешко прогнозирање повезује две функције, креирање прогноза како би се обезбедила подршка стратешким циљевима и примењивање оперативних стратегија како би се обезбедила коректност ових прогноза. Обједињавање процеса прогнозирања у процес стратешког планирања може повећати прецизност прогноза и помоћи менаџменту компаније да оствари своје планиране циљеве. У дисертацији је примењен приступ анализе мултипараметарске временске серије, при чему је успостављена матрица корелације између стања улазних параметара и стања излазних показатеља, као и диференцијална једначина која описује функционалну зависност између њих. Приликом прогнозе будућих стања показатеља оперативне ефикасности примењен је хибридни приступ, који подразумева да су вредности неких улазних параметара одређене на основу експертског знања а неких методама симулације.

Друго поглавље описује рударство као оперативно окружење. Анализа и уочавање специфичности тог окружења су неопходни у избору утицајних параметара унутар

развијеног модела оперативне ефикасности. Један од утицајних параметара су и трошкови производње који су директно зависни од процеса производње, који је такође презентован у овом поглављу. На крају поглавља изложен је и преглед литературе која се бави сличним проблемима. За разлику од стратешког одлучивања у општем смислу, прогноза оперативне ефикасности активног рудника је увек у директној вези са рударством као привредном граном, односно стратешким одлучивањем у рударству. Да би се донеле адекватне одлуке, а њихова реализација била успешна, неопходно је сагледати окружење у којем се оне доносе, односно дефинисати све утицајне параметре. У том контексту прогноза будућих стања утицајних параметара као и изабраних показатеља представљају веома важну компоненту у доношењу стратешких одлука и њиховом спровођењу. Након поређења са инвестиционим окружењем, са којим се сусрећемо у типичним гранама индустрије, несумњиво је да инвестиционо окружење повезано са рударством заиста представља јединствени амбијент. Неке од карактеристика рударства које су често прокламоване као јединствене су: интензитет капитала, дуг претпроизводни период, висок ризик (геолошки ризици, инжењерски ризици, економски ризици, политички ризици), необновљив ресурс.

У трећем поглављу представљене су теоријске основе модела. Ово поглавље садржи три логичка дела. Први део овог поглавља посвећен је основним појмовима Теорије одлучивања. Наведене су основне дефиниције Теорије одлучивања и описан је процес доношења одлуке. Приказана је подела одлука по значају, а посебна пажња је посвећена стратешким одлукама и методама прогнозе која се користи у процесу доношења стратешких одлука. Оперативна ефикасност представљена је степеном оперативне способности. Оперативна способност је однос бруто профита (ЕБИТ) пројекта и висине фиксних оперативних трошкова. Оперативна способност је значајна за руководство предузећа зато што повећање оперативних фиксних трошкова утиче на вредност предузећа повећавањем ризика, где се ризик мери варијабилношћу приноса. Други део овог поглавља садржи преглед основних дефиниција појмова и оператора Теорије сивих система. У овом делу детаљно су описани сиви модели првог реда једне променљиве  $GM(1,1)$  и  $m$  променљивих  $GM(1,m)$ , као и методе процене грешке модела. Сиви модели предвиђају будуће вредности временских серија заснованих само на скупу најскоријих података у зависности од интервала прогнозе. Подразумева се да су све вредности које се користе у сивом моделу позитивне, као и да је интервал добијања података унутар временских серија еквивалентан. Најједноставније речено, сиви модели могу бити схваћени као фитовање криве. У циљу сагледавања утицаја сваке од улазних променљивих система на излазну променљиву описани су методи сиве релационе анализе, дела Теорије сивих система, која у оквиру ове теорије даје одговор на питање повезаности параметара система. Трећи део поглавља чине стохастички дифузни процеси и опис Monte Carlo симулација. Дефинисани су стохастички процеси повратка на средњу вредност и геометријско Брауново кретање, дате су основне особине и наведене су неке примене ових процеса. На крају поглавља дат је опис Monte Carlo симулације и описани су начини конструисања секвенци случајних и псеудослучајних бројева.

Четврто поглавље садржи детаљан опис развијеног модела прогнозе оперативне ефикасности рудника. У оквиру поглавља дат је детаљан опис улазних параметара који се користе у моделу, као и начина предвиђања њихових вредности у будућности. Такође, приказан је детаљан опис конкретног примењеног сивог мултипараметарског модела  $GM(1,6)$ , описан је алгоритам прогнозе оперативне ефикасности и прорачуна сивих релационих коефицијената, на основу којих се одређује степен утицаја сваког улазног параметра система на степен оперативне способности. Предикција оперативне ефикасности је у фокусу интересовања кад се ради о планирању пословања подземног рудника. Производња руде у временском периоду  $k$  може се репрезентовати скупом технологија експлоатације (МТС) који је састављен од улазног и излазног вектора. МТС је простор остварљивих комбинација улазно-излазних вектора у временском периоду  $k$ . Улазни вектор МТС чине бројне променљиве које се могу

поделити у три групе: карактеристике (особине) минералних лежишта, методе подземног откопавања и методе припреме минералних сировина. Излазни вектор је обично састављен из следећих променљивих: оствареног капацитета производње и квалитета произведених минералних сировина. Оперативна ефикасност се обично изражава неким економским индикатором. Сагласно захтеваном типу оперативне ефикасности, МТС може бити трансформисан и придружен економском скупу (ЕС). Ова трансформација значи да се неке променљиве из улазног и неке променљиве из излазног скупа користе за израчунавање неких променљивих у ЕС. У циљу одређивања оперативне ефикасности постојећег подземног рудника користи се концепт степена оперативне способности (ДОЛ). ДОЛ представља однос бруто профита (ЕБИТ) пројекта и висине фиксних оперативних трошкова. Као и у општем случају, већа вредност ДОЛ-а указује да је пословање рударске компаније изложено већем ризику. Улазни вектор који се користи у циљу евалуације оперативне ефикасности је унија следећа три скупа: подскуп улазних променљивих технологија експлоатације, подскуп излазних променљивих технологија експлоатације и скуп спољних променљивих. Матрица вектора улазних променљивих за посматрани проблем састављена је од следећих елемената: капацитет производње руде (t/година), фиксни трошкови (новчаних јединица), приходи (новчаних јединица), трошкови производње (новчаних јединица), радни дани (број дана/година) и степен искоришћења производних капацитета (%). Модел прогнозе је развијен на основу процене стручњака и симулацијама промена ДОЛ-а у оквиру временског интервала прогнозе и узима у обзир променљивост улазних параметара. Симулацијом система прогнозе, имитиране су акције система у циљу мерења излаза у односу на различите улазе. Предност симулације система огледа се у могућности да се понови његов развој онолико пута колико је потребно у независним условима. Симулације омогућавају аналитичарима да опишу случајност променљивих које утичу на вредност ДОЛ-а у зависности од различитих временских сценарија. Вредност ДОЛ-а се обично прогнозира на годишњем нивоу. Примарни циљ коришћења симулације у прогнозирању је да се одреди расподела ДОЛ-а на основу променљивих које утичу на његов учинак, што даје резултат средње или очекиване вредности ДОЛ-а за сваку годину дефинисаног временског интервала. Руководство компаније добија вектор прогнозе за ДОЛ, вектор прогнозираних вредности сивих релационих коефицијената за сваку годину понаособ и вектор прогнозираних збирних вредности сивих релационих коефицијената.

Пето поглавље садржи примену модела прогнозе оперативне ефикасности описаног у четвртог поглављу на хипотетичком примеру активног рудника цинка. Вредности улазних параметра реално описују рударско окружење, а менаџмент активног рудника цинка добија прогнозиране вредности Степена оперативне способности на годишњем нивоу, за наредних пет година, као и степен значајности улазних параметара и њихов утицај на излазну величину тј. Степен оперативне способности. Како је модел примењен и на период од пет претходних година, израчунате су вредности које би се према понуђеном моделу добиле за тај период, потом су одређене грешке између израчунатих и стварних вредности у том периоду, и на основу тога су дате процене грешке модела за прогнозиране вредности. Прво су дефинисани улазни подаци, а затим дат детаљан прорачун прогнозе оперативне способности активног подземног рудника. У оквиру овог поглавља извршена је и дискусија добијених резултата. На основу крајњег поретка значајности утицајних променљивих добијеног после 500 симулација може се видети да највећи значај имају приходи. Ниво значаја броја радних дана се значајно мења од другог нивоа у прошлости до шестог у крајњем поредку у будућности. Капацитет производње руде повећава свој значај, тако да са четвртог места долази у крајњем поредку на друго место, док остале променљиве не мењају значајно свој ниво значаја у односу на почетна разматрања.

На крају рада, у оквиру шестог поглавља, сажето су приказани сви важнији резултати истраживања у оквиру дисертације, као и допринос дисертације на пољу стратешког



планирања производње активног подземног рудника. Применом сивог мултипараметарског модела првог реда одређена је временски зависна функција која дефинише однос између капацитета производње, фиксних трошкова, прихода, трошкова производње, броја радних дана у години и степена искоришћења производних капацитета, као улазних варијабли и Степена оперативне способности као индикатора оперативне ефикасности постојећег подземног рудника. Руководство подземног рудника добија збирни вектор информација који сублимира следеће значајне индикаторе: модел прогнозе, релативну грешку модела прогнозе изражену у процентима, средњу релативну грешку модела прогнозе изражену у процентима, сиве релационе коефицијенте улазних променљивих и излазне променљиве за дефинисан временски период и збирне сиве релационе коефицијенте између улазних променљивих и излаза. Уједно је предложен и оквир будућих истраживања у смислу увођења интервалних или fuzzy бројева у циљу смањења неодређености параметара који су дефинисани на детерминистички начин проценом стручњака. За ове променљиве предлаже се формирање различитих подмодела за предикцију будућих вредности ових параметара, а који би били укључени у главни модел прогнозе.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Имајући у виду реалне и све комплексније проблеме који прате рударство, као и чињеницу да подземни рудник представља систем који не може промптно да реагује на све динамичнију природу пословног окружења, може се закључити да истраживања реализована у оквиру ове дисертације представљају ефикасан и савремен начин за превазилажење ових проблема. Сведоци смо тектонских поремећаја на тржишту минералних сировина који су довели до изузетно тешких услова пословања и пропадања великих светских рударских компанија. Способност препознавања будућих услова пословања и креирање основе за прављење флексибилних стратешких планова производње препознати су као кључни елементи за опстанак рударске компаније. Докторска дисертација под називом "Прогноза оперативне ефикасности активног подземног рудника заснована на теорији сивих система" представља оригинални научноистраживачки рад у области подземне експлоатације лежишта минералних сировина, односно пољу стратешког планирања производње.

У овој дисертацији је развијена општа методологија за прогнозу оперативне ефикасности активног подземног рудника у условима неодређености улазних података. Квантификација неодређености изводи се помоћу различитих функција расподеле густине вероватноће и симулацијама стохастичких дифузивних процеса. Развијен је и приказан општи алгоритам прогнозе оперативне ефикасности, заснован на Теорији сивих система, који на основу реализованих стања у прошлости успоставља функционалну зависност између улазних параметара и излазног показатеља (степен оперативне способности). Мултипараметарском диференцијалном једначином дефинисана је та функционална зависност, а њеном симулацијом кроз дефинисани временски хоризонт добијају се очекивана стања излазног показатеља. Планерима производње омогућено је да сагледају како истовремена промена стања улазних параметара утиче на реализацију будућег стања излазног показатеља.

Добијени резултати истраживања су оригинални и објављени су у међународном часопису.

#### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде дисертације кандидат је детаљно проучио релевантну литературу из области дисертације и коректно навео 68 референци које су уско повезане са обрађеном темом.

Литература обухвата широк опсег доступних публикација, од старијих до савремених. Кроз приказ литературе остварен је добар преглед стања предметне области, чиме је постављена добра основа за рад на одабраној теми докторске дисертације. Подаци и изрази који су преузети из објављених радова су исправно цитирани.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У овој дисертацији, креиран је стохастички динамички модел прогнозе оперативне ефикасности активног подземног рудника, који представља основу за доношење стратешких одлука у планирању производње. Модел обухвата спецификацију улазних параметара и користи степен оперативне способности за изражавање оперативне ефикасности активног подземног рудника.

Рударске компаније која немају топионичарска постројења реализују свој приход продајом концентрата метала као финалног производа. Процена прихода је компликована и ризична активност. Годишњи приход рудника се рачуна као производ броја годишње произведених и продатих јединица производа, са тржишном ценом по јединици производа.

Прва значајна компонента прорачуна прихода рудника је годишња производња концентрата. Једна од кључних променљивих повезана са годишњом производњом концентрата је тонажа дезинтегрисане руде. Годишња тонажа је изведена из плана производње и процењује се на основу експертског знања. Друга кључна променљива повезана са одређивањем годишње производње продајних јединица је квалитет ископане руде. Квалитет руде је дефинисан као однос (количник) корисне масе метала и укупне масе руде. Критична вредност квалитета руде варира у простору и може се проценити функцијом нормалне расподеле вероватноће. Примена нормалне расподеле при процени квалитета руде је заснована на гео-статистичким методама развијеним у циљу евалуације садржаја корисне компоненте у лежишту. Флотацијско искоришћење је трећа битна променљива која се мора проценити како би се могла процени годишња производња продајних јединица добијених из руде. Специфично стохастичко понашање које је коришћено да би се квантификовала случајност повезана са флотацијским искоришћењем је функција униформне расподеле вероватноће. Практично је извесно да ће флотацијско искоришћење метала бити у интервалу  $[a, b]$ , јер је то могуће постићи контролом процеса припреме минералне сировине. Друга битна компонента при одређивању прихода рудника је јединична продајна цена или јединична продајна цена концентрата метала. Она директно зависи од цене минералне сировине, садржаја метала у концентрату и искоришћења метала. Тржишни ризик повезан са ценом минерала се моделује специјалним стохастичким процесом, процесом повратка на средњу вредност. Процес повратка на средњу вредност је погодан за примене у економији, јер иако цена робе има краткорочне осцилације, на дугорочном нивоу она тежи повратку на „нормалани“ тј. ниво дугорочне равнотеже. За процену будућих вредности цене минерала користи се Monte Carlo симулација процеса повратка на средњу вредност. Да би се одредила цена у неком будућем тренутку, неопходне су вредности промена цена из прошлости.

Математички модел омогућава, кроз стохастичку диференцијалну једначину стања, адекватно представљање динамичке природе трошкова производње. Ако узмемо у обзир да трошкови везани за производњу руде зависе од многих параметара (радна снага, енергија, итд.) и да се ови параметри мењају током времена, онда може бити од велике користи способност да се предвиде (процене) будуће вредности ових трошкова. Да би се процениле будуће вредности оперативних трошкова користи се Monte Carlo симулација геометријског Брауновог кретања.

Модел прогнозе заснован на Теорији сивих система обухвата општи временски интервал, узимајући у обзир карактеристике улазних променљивих које директно утичу на вредност степена оперативне способности. Теорија сивих система је мултидисциплинарна теорија која моделује недетерминистичке системе, у којима су информације непотпуне или непоуздане. Назив „сиви“ указује на несигурне, некомплетне и скромне информације система. Модел је заснован на симулацијама вишеструких реализација случајних променљивих унутар мултипараметарске диференцијалне једначине и прављењу прогнозе на основу очекиваних вредности за сваки временски интервал понаособ.

#### 3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати докторске дисертације применљиви су у научном смислу, али имају и реалну практичну примену у стратешком планирању производње подземног рудника.

Примењене методе и развијени алгоритам доприносе постизању следећих ефеката: смањење неизвесности и повећање флексибилности у процесу стратешког одлучивања, менаџмент рудника има развијену методу којом предвиђа оперативну ефикасност рудника, подршка при стратешком одлучивању.

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

На основу активности на припреми и изради докторске дисертације, проблематике која је третирана докторском дисертацијом као и објављивањем рада у часопису на JCR листи Комисија је проценила да се кандидат Светлана Штрбац Савић, магистар електротехнике одликује следећим способностима које га квалификују као компетентног истраживача за самостални научни рад:

- препознавање кључних проблема, неопходних елемената и структуре у процесу креирања алгоритама,
- способност успостављања функционалних зависности између најутицајнијих параметара и коначног исхода, креирање математичких модела,
- квантификација вредности улазних параметара система у условима неодређености,
- примењује научне методе истраживања базиране на Теорији сивих система, алгоритмима, компаративним анализама, временским серијама, симулацијама, стохастичком моделирању, регресионим анализама, вероватноћи и процени ризика.

Кандидат је током израде докторске дисертације показао да је у стању да самостално решава научне проблеме и да влада научним и истраживачким сазнањима и методама, што представља основу за даљи научно истраживачки рад.

### **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

#### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

У дисертацији је разматран проблем прогнозе оперативне ефикасности активног подземног рудника. Овај проблем представља један од најзначајнијих проблема комбинаторне природе при доношењу стратешких одлука.

Општи научни допринос ове дисертације је допринос стратешком планирању производње активног подземног рудника у условима неодређености улазних параметара, при чему је веома важно нагласити да неки од њих припадају групи екстерних параметара на које

доносиоц одлуке не може одговарајућим потезима да утиче већ само у зависности од своје способности може да проналази оптимална решења која ће смањити њихов негативан утицај.

Остварени научни доприноси настали као резултат истраживања у оквиру предметне докторске дисертације обухватају:

- динамички модел прогнозе оперативне ефикасности активног подземног рудника који је заснован на Теорији сивих система и стохастичким дифузним процесима;
- корелациона анализу између капацитета производње, фиксних трошкова, прихода, променљивих трошкова производње, броја радних дана на нивоу године и степена искоришћења капацитета производње (компоненте улазног вектора) и Степена оперативне способности (излазни вектор);
- динамичку функционалну зависност између улазног и излазног вектора;
- приказ промене вредности излазног вектора при симултаној промени компонената улазног вектора;
- третирање неизвесности окружења и смањење ризика у процесу доношења стратешких одлука у животу једног рудника;
- тестирање и валидација приступа као једног рачунарски врло ефикасног начина за прогнозу оперативне ефикасности активног подземног рудника;
- подршку при стратешком одлучивању.

Остварени научни доприноси докторске дисертације још више добијају на својој важности узимајући у обзир да стратешко планирање производње у рударству представља добар пример иреверзибилних одлука. Овакве одлуке захтевају пажљиве анализе, јер након њихове реализације је веома тешко исправити слабости пројектних решења, базираних на њима, без значајног губитка новчаних средстава и времена.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Прогнозу оперативне ефикасности активног подземног рудника можемо посматрати у контексту стратешког планирања производње. Да би овај план био квалитетан неопходно је сагледати окружење у којем се он креира, односно дефинисати све утицајне параметре. Узимајући у обзир да се услови пословања у рударству све више усложњавају (честе и интензивне промене цена минералних сировина, варијација трошкова производње, смањење садржаја корисне компоненте у руди, поштрена законска регулатива у погледу заштите животне средине, итд.) тада се важност прогнозе оперативне ефикасности вишеструко повећава.

Поред наведене чињенице, практична примена стручних резултата се односи на повећање сигурности у пословању рудника у смислу заштите од неочекиваних штетних утицаја.

Теорија одлучивања разликује одлуке које се доносе у присуству неизвесности, где су стања различитих исхода непозната и одлука при ризику, где се неизвесности могу проценити, односно квантификовати. Први случај се ретко среће при практичним стратешким одлукама у рударству.

Остварени резултати истраживања помажу да се избор стратешког плана производње активног подземног рудника сагледа у смислу да се стања улазних параметара могу проценити и у статичком и у динамичком смислу. Динамичким симулацијама будућних стања улазних параметара створено је окружење које приказује како се могући сценарији у будућности одражавају на стратешке планове који се креирају у садашњости. Представљање

процеса прогнозе мултипараметарском диференцијалном једначином омогућава планерима да процес планирања сагледају скоро као физички модел. Планеру производње је омогућено да прати трансформацију вредности оперативне ефикасности предложених планова при симултаном промени улазних параметара, што олакшава доношење стратешких одлука од којих зависи успех производње.

Ограниченост предложеног модела огледа се у чињеници да су за процену неких параметара узете детерминистичке вредности на основу процене стручњака. Овај проблем се може превазићи коришћењем интервала или fuzzy бројева у циљу смањења несигурности ових променљивих. Друго решење овог проблема би било са се за сваку наведену променљиву формира подмодел који би вршио предикцију будућих вредности ових параметара, које би биле укључене у главни модел прогнозе.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос докторске дисертације је верификован у следећем раду објављеном у референтном међународном часопису:

#### Категорија M23

1. Strbac Savic S., Nedeljkovic Ostojic J., Gligoric Z, Cvijovic C, Aleksandrovic S.: Operational Efficiency Forecasting Model of an Existing Underground Mine Using Grey System Theory and Stochastic Diffusion Processes, Mathematical Problems in Engineering, Volume 2015, Article ID 610307, 18 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/610307>, Hindawi Publishing Corporation, IF 0.762

### **5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

Докторска дисертација под називом "Прогноза оперативне ефикасности активног подземног рудника заснована на теорији сивих система" кандидата Светлане Штрбац Савић, магистра електротехнике представља савремен и оригиналан научноистраживачки рад у области подземне експлоатације лежишта минералних сировина у којој је аутор дао значајни допринос развоју модела прогнозе оперативне ефикасности активног подземног рудника у условима неодређености. Кроз дисертацију су приказане вештине кандидата у коришћењу савремених метода, уз поштовање свих захтеваних етичких норми.

Кандидат је у дисертацији пратио светске стандарде у области прогнозе оперативне ефикасности, као основе за стратешко одлучивање, и употребио савремене методе које се у ту сврху користе. Комисија посебно истиче да методе и развијени алгоритам приказани у дисертацији поред научних доприноса имају и практичну примену у области прогнозе оперативне ефикасности и стратешког планирања производње у рударству. Комисија такође сматра да је кандидат кроз дисертацију показао висок ниво стручног и теоријског знања који ће му омогућити успешан будући самостални научноистраживачки рад.

На основу прегледа и оцене докторске дисертације кандидата Светлане Штрбац Савић, магистра електротехнике са темом

#### **"Прогноза оперативне ефикасности активног подземног рудника заснована на теорији сивих система"**

Комисија за оцену и одбрану закључује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима и позитивној пракси у научноистраживачком раду, као и то да испуњава

све услове предвиђене Законом о високом образовању и да је у складу са Статутом и Правилником о студирању на докторским студијама и стицању звања доктора наука Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду.

У складу са напред изнетим, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом "Прогноза оперативне ефикасности активног подземног рудника заснована на теорији сивих система" кандидата Светлане Штрбац Савић, магистра електротехнике прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да се после њеног усвајања одобри јавна усмена одбрана дисертације.

Београд, 03.04.2016. године

### **ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ**

\_\_\_\_\_  
др Зоран Глигорић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Рударско-Геолошки факултет

\_\_\_\_\_  
др Чедомир Бељић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Рударско-Геолошки факултет

\_\_\_\_\_  
др Бранко Глушчевић, доцент  
Универзитет у Београду, Рударско-Геолошки факултет

\_\_\_\_\_  
др Инес Гроздановић, ванредни професор  
Универзитет у Београду, Рударско-Геолошки факултет

\_\_\_\_\_  
др Небојша Бојовић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет