

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 Саше Јовановића, дипл. инж. рударства.
- Одлуку Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду о прихватању 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 Саше (Миладин) Јовановића, дипл. инж. рударства
 (име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ Мр Саша (Миладин) Јовановић, дипл. инж. рударства
 (име, име једног од родитеља и презиме)

пријавио је докторску дисертацију под називом:

„FUZZY СТОХАСТИЧКИ МОДЕЛ ИЗБОРА СИСТЕМА ОТВАРАЊА ПОДЗЕМНОГ РУДНИКА“

Научна област: Рударско инжењерство

Универзитет је дана 22.12.2014. године својим актом под бр. 02 број:61206-5448/2-14 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„FUZZY СТОХАСТИЧКИ МОДЕЛ ИЗБОРА СИСТЕМА ОТВАРАЊА ПОДЗЕМНОГ РУДНИКА“

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата

Мр Саше (Миладин) Јовановића, дипл. инж. рударства
 (име, име једног од родитеља и презиме)

образована је на седници одржаној 25.02.2016. год., одлуком факултета под бр. 1/58, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област
------------------------------	-------	---------------

- | | | |
|---|--|---|
| 1. <u>др Зоран Глигорић, ред. проф.</u> | | <u>Подземна експлоатација лежишта минералних сировина</u> |
| 2. <u>др Чедомир Бељић, ред. проф.</u> | | <u>Подземна експлоатација лежишта минералних сировина</u> |
| 3. <u>др Бранко Глушчевић, доц.</u> | | <u>Подземна експлоатација лежишта минералних сировина</u> |
| 4. <u>др Небојша Бојовић, ред. проф. Универзитета у Београду-Саобраћајни факултет</u> | | <u>Организација и менаџмент у саобраћају и транспорту</u> |
| 5. _____ | | |

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 24.03.2016. 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 Полочич

На основу члана 156. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду на својој седници одржаној 24.03.2016. године, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **мр Саше Јовановића**, дипл. инж. рударства, под насловом *"Fuzzy стохастички модел избора система отварања подземног рудника"*, на који није било при-медби.
2. Универзитет у Београду је дана 22.12.2014. 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:
 - Jovanović S., Gligorić Z., Beljić C., Glušćević B., Cvijović C.: Fuzzy Model for Selection of Underground Mine Development system in a Bauxite Deposit, Arabian Journal for Sciences and Engineering 39, 2014, pp.4529-4539, Springer, IF.0,367, DOI 10.1007/s13369-014-1173-9. ISSN 1319-8025.
4. Именовани ће бранити докторску дисертацију пред комисијом у саставу: др Зоран Глигорић, ред. проф.; др Чедомир Бељић, ред. проф.; др Бранко Глушчевић, доц.; 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
- Именованом
- Одељењу за студентска питања

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата
мр Саше Јовановића, дипл. инж. рударства

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета донетој на седници одржаној 25.02.2016. године (бр. одлуке 1/58 од 03.03.2016. године), именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Саше Јовановића, дипл. инж. рударства под називом

Fuzzy стохастички модел избора система отварања подземног рудника

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

–28.09.2005. године кандидат мр Саша Јовановић, дипл. инж. рударства дипломирао је на Рударско–геолошком факултету Универзитета у Београду. Дипломски рад под називом: "Идејно-техничко решење истражно-експлоатационих радова на локалитетима Језериште и Вучково лежиште рудника Благодат" одбранио је са оценом 10 (десет).

–10.06.2008. године, на Рударско–геолошком факултету Универзитета у Београду, кандидат мр Саша Јовановић, дипл. инж. рударства одбранио је магистарски рад под називом "Модел стратешког одлучивања о нивоу производње у подземном руднику олова и цинка".

–04.09.2014. године, кандидат мр Саша Јовановић, дипл. инж. рударства пријавио је тему за израду докторске дисертације под називом "Fuzzy стохастички модел избора система отварања подземног рудника", (бр. пријаве 1/226).

–18.09.2014. године, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета именовало је Комисију за давање мишљења о научној заснованости предложене теме докторске дисертације кандидата мр Саше Јовановића, дипл. инж. рударства, (бр. одлуке 1/244 од 22.09.2014. године) у саставу:

др Зоран Глигорић ванр.проф., Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет
др Чедомир Бељић, ванр. проф., Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет
др Бранко Глушчевић, доц., Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет
др Биљана Стошић, ред. проф., Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

–20.11.2014. године Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета усвојило је извештај Комисије за давање мишљења о научној заснованости предложене теме докторске дисертације кандидата мр Саше Јовановића, дипл. инж. рударства, под називом "Fuzzy стохастички модел избора система отварања подземног рудника" и именовало др Зорана Глигорића, ванр.проф., за ментора (бр. одлуке 1/334 од 21.11.2014. године).

–22.12.2014. године Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације мр Саше Јовановића, дипл. инж. рударства, под називом "Fuzzy стохастички модел избора система отварања подземног рудника", (бр. одлуке 1/395 од 26.12.2014. године).

–08.02.2016. године кандидат мр Саша Јовановић, дипл. инж. рударства подноси молбу за именовање Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под називом "Fuzzy стохастички модел избора система отварања подземног рудника", (бр. молбе 1/41).

–25.02.2016. године, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета именовало је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Саше Јовановића, дипл. инж. рударства, (бр. одлуке 1/58 од 03.03.2016. 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 Небојша Бојовић, ред. проф., Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

1.2. Научна област дисертације

Дисертација мр Саше Јовановића, дипл. инж. рударства под називом "Fuzzy стохастички модел избора система отварања подземног рудника" 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 мр Саша Јовановић, дипл. инж. рударства, рођен је 11.06.1979. године у Врању. Основну школу завршио је 1994 године у Горњем Милановцу. Средњу техничку школу у Горњем Милановцу, завршио је 1998 године и постао машински техничар. Рударско–металуршки факултет (општи смер) у Косовској Митровици, Универзитета у Приштини, уписао је 1998 године. После треће године студија, 2001 године, полаже разлику испита и прелази на Рударско–геолошки факултет Универзитета у Београду, Рударски одсек смер за "Подземну експлоатацију лежишта минералних сировина и израду подземних просторија". Дипломирао је 28.09.2005. године на Рударско–геолошком факултету Универзитета у Београду. Дипломски рад под називом: "Идејно-техничко решење истражно-експлоатационих радова на локалитетима Језериште и Вучково лежиште рудника Благодат" одбранио је са оценом 10 (десет). Последипломске студије на Рударско–геолошком факултету Универзитета у Београду, Рударски одсек, научно подручје Подземна експлоатација, смер за Технологију подземне експлоатације лежишта, уписује 2005 године. Магистарски рад под називом: "Модел стратешког одлучивања о нивоу производње у подземном руднику олова и цинка" одбранио је 2008 године на Рударско–геолошком

факултету Универзитета у Београду, Рударски одсек, Катедра за подземну експлоатацију лежишта минералних сировина.

Радно искуство:

- Од 04.10.2005. до 03.09.2007. године радио је у Рудник и флотација АД "РУДНИК" (завршио је приправнички стаж а затим обављао послове рударског инжењера на вентилацији и одводњавању у руднику, транспорту и извозу руде из јаме, затим је радио послове на контролингу бушења и минирања на радилиштима у производњи руде олова и цинка)
- Од 04.09.2007. године до данас - стално запослен у Концерн "Фармаком МБ" Шабац:
- Од 04.09.2007. године до 12.03.2009. године обављао је послове сменског инжењера у Рудницама и топионици АД "Зајача" Лозница, на ревитализацији антимоносних рудника и то мономинералних рудника "Заворје" и "Штира" код Лознице, рудника "Брасина" – општина Мали Зворник и полиметалног рудника "Рујевац" код Љубовије, (као и рудника флуорита олова и цинка "Равнаја" код Завлаке – Крупањ).
- Од 13.03.2009. године до 31.01.2010. године обављао је послове директора рудника злата олова и цинка "Леце" код Медвеђе (припрема за покретање производње у руднику после приватизације и то на пословима перманизације, санације, чишћења, одводњавања и ревитализација јамских рудничких просторија). Оспособљавању потребне инфраструктуре (електричне енергије, техничке воде, компримованог ваздуха, приступних путева) како у јами тако и на простору флотације и јаловишта.
- Од 01.02.2010. године до 14.04.2011. године (бавио се пројектовањем рударских техничких пројеката за руднике подземне експлоатације).
- Од 15.04.2011. године до 14.05.2013. године вратио се у Руднике и топионицу АД "Зајачу" Лозница на радно место техничког директора сектора рударства.
- Од 15.05.2013. године до 15.04.2014. године обављао је послове директора сектора рударства у истоименој компанији.
- Од 16.04.2014. ради на пословима директора у "Магма Пром" ДОО Шабац, која се бави површинским истражним бушењем за руднике у саставу Концерна "Фармаком МБ" Шабац.
- Од 17.02.2016. године ради у АСТРА С.Б каменолом у Завлаци, на пословима техничког руководиоца.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под називом "Fuzzy стохастички модел избора система отварања подземног рудника" написана је на српском језику, латиничним писмом, на 158 страна, садржи 36 табела, 55 слика и 72 једначине. Дисертација је подељена на шест поглавља: 1) Увод, 2) Отварање подземног рудника, 3) Теоријске основе модела, 4) Избор система отварања, 5) Тестирање модела (Нумерички пример), 6) Закључак и будућа истраживања. У списку коришћене литературе налази се 38 референци.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу наглашена је важност избора оптималног система отварања подземног рудника. Отварање представља прву и веома важну фазу у експлоатацији лежишта минералних сировина. Усвојена схема, конструктивни параметри отварања у великој мери утичу на капацитет производње, ефикасност транспорта, вентилације и одводњавања. У објекте отварања подземног рудника (окна, навозишта, нископе, ходнике, сипке) улаже се и

до 60% укупних инвестиционих средстава потребних за реализацију експлоатације. Приступ решавању овог изузетно важног проблема заснован је на оптимизацији трошкова заступљених у подземном руднику, током његовог века експлоатације, посебно фокусирајући трошкове везане са подземном припремом потребном да се обезбеди приступ до рудне зоне и транспорт руде из те зоне. Главно упориште оптимизације јесте смањење трошкова током века експлоатације помоћу изналагања најефикаснијег плана (распореда) окана, нископа, ходника и сипки да би се обезбедила економски оправдана рударска производња. Проблем оптимизације рудника приказује се као модел у облику тежинске мреже. У дисертацији се примењује приступ оптимизације тежинске мреже, при чему су тежинске функције које се додељују сваком сегменту мреже дефинисане као fuzzy стохастичке величине и оне се мењају током времена. На бази опште теорије мрежа, предложен је приступ за избор оптималног система отварања подземног рудника заснован на примени Индекса конвексности и Композитног рангирања. У том контексту креиран је fuzzy стохастички динамички модел избора оптималног система отварања подземног рудника, који представља основу за доношење стратешких инвестиционих одлука у фази пројектовања подземног рудника.

У другом поглављу приказани су фактори који утичу на избор система отварања подземног рудника. Сваки фактор има различит начин и интензитет утицаја. У циљу ефикасније анализе њиховог утицаја класификовани су у четири основне групе: природно-геолошки, техничко-технолошки, економски и инфраструктурни фактори. Поред утицајних фактора приказани су врсте и системи отварања. Потпуно отварање подразумева израду система отварања чиме се подухватају експлоатационе резерве у целини. У принципу, овакав систем отварања може се третирати и као делимичан. Разлог лежи у чињеници да истражним радовима можда нису дефинисане све резерве које постоје на датом локалитету. Делимично отварање подразумева израду система отварања чиме се подухвата само један део експлоатационих резерви. Ако се укаже потреба за наставком експлоатације, онда се израђује систем отварања којим се подухвата следећа количина експлоатационих резерви. У зависности од просторног положаја јамских просторија системи отварања се могу класификовати на следћи начин: отварање засновано на хоризонталним просторијама, отварање засновано на косим просторијама, отварање засновано на вертикалним просторијама, отварање засновано на комбинацији ове три врсте просторија. Систем отварања подземног рудника мора да буде усаглашен са применом ефикасних средстава за откопавање, транспорт и извоз минералне сировине, превозом људства, вентилацијом, одводњавањем и сервисирањем јаме. Такође, у оквиру овог поглавља представљени су и различити приступи за решавање овог проблема који су развијени од стране других истраживача.

Теоријске основе модела приказане су у трећем поглављу. У оквиру Теорије одлучивања представљене су различите дефиниције процеса одлучивања, врсте одлука и сама природа процеса одлучивања, компоненте одлучивања, приступи процесу доношења одлука, поступак доношења одлуке, ризиковање и стратегија управљања ризиком, као и планирање доношења одлуке и нивои одлучивања. Такође у овом поглављу приказане су основе Теорије графова и Теорије мрежа. Описно говорећи, графови су фигуре састављене од тачака од којих су неке (две по две) спојене кривим линијама. На графове наилазимо у свим наукама и другим човековим делатностима. Граф се дефинише као апстрактни математички објект, а фигура састављена од тачака и линија је, уствари, геометријска представа или цртеж графа. При дефинисању графа, примењује се приступ у којем се појам графа повезује са појмом бинарне релације. Графови се деле на коначне и бесконачне, неорјентисане и орјентисане, као и на тежинске и нетежинске. Многи проблеми оптимизације свде се на то да се у задатом тежинском графу пронађе подграф одређеног типа са најмањом или највећом тежином. У тежинском графу проблем изналагања најкраћег пута своди се на проналажење

подграфа са најмањом тежином. У терминологији Теорије мрежа, мрежа је математички модел који представља скуп чворова и грана које повезују парове чворова. Комплексна мрежа је један апстрактни модел и може се користити за представљање подземног рудника при различитим нивоима сложености, почевши од етажне, хоризонта па до целокупног система отварања. Карактеристике грана дефинишу својства мреже. У једноставном случају нетежинске, неорјентисане мреже, свака грана има исти значај. Ако је мрежа тежинска, то значи да се гране могу међусобно разликовати, при чему једна грана може бити значајнија од друге. Значај сваке гране представља се њеном специфичном тежинском функцијом. Коначно мрежа може бити орјентисана ако су њене гране једносмерне. Мрежа се графички може представити цртањем чворова и грана у складу са својствима мреже. Рачунски најкориснији облик представљања мреже јесте матрична форма. Главна предност формалне анализе мрежа јесте прецизна квантификација њених параметара која омогућава истраживање топологије мреже и њене ефикасности. При дефинисању тежинских мрежа традиционални приступ подразумева да су тежине детерминистичке природе, односно вредности улазних параметара су строго једнозначно дефинисане. Генерално, ова чињеница указује да унутар модела не постоје недоумице, односно да претпостављамо да су структура и улазни параметри модела дефинитивно познати, тј. не постоји сумња по питању њихових вредности. Комплетан опис реалних система често захтева такве податке, који у суштини превазилазе могућности рударске индустрије. За превазилажење ових ограничења користи се Теорија fuzzy скупова. Појам fuzzy скуп омогућава прикладну тачку раздвајања, ради прављења концептуалног оквира који је у многим погледима паралелан са концептуалним оквиром примењеним у случају обичних скупова. У суштини овај оквир омогућава природан начин решавања проблема у којима је недостатак јасно дефинисаних критеријума припадности неком скупу извор непрецизности пре него што је то присуство случајних променљивих. Под непрецизношћу се подразумева израз у смислу неодређености пре него у смислу недостатка сазнања о вредности параметра. Теорија fuzzy скупова омогућава стриктан математички оквир у којем се феномен неодређености може јасно и тачно проучавати. Овај оквир се такође може разматрати и у својству лингвистичког моделовања, веома подесног у ситуацијама у којима постоје fuzzy релације, критеријуми и феномени. Неки од параметара који утичу на тежинске функције мреже имају стохастичку и динамичку природу. У том случају целокупан систем отварања подземног рудника представља се у смислу стохастичко динамичког система. За описивање оваквих система користе се стохастичке диференцијалне једначине, које се заснивају на проширењу детерминистичког дела једначине увођењем случајности. Када правимо модел отварања подземног рудника, који се користи за имитацију реалног окружења или прављење предикција, обично имамо одређен број улазних параметара и неколико предикција, обично имамо одређен број улазних параметара и неколико једначина које користе те параметре и дају нам скуп излазних података (или одзивних променљивих). Оваква врста модела по правилу је детерминистичка, што значи да увек добијамо исте резултате без обзира колико пута изнова вршили прорачун. Monte Carlo симулација је метода за итеративно израчунавање детерминистичког модела која користи случајне бројеве као и улазне параметре. Ова метода се често користи када је модел комплексан, нелинеаран или обухвата више од пар неодређених параметара. Употреба случајних бројева уствари детерминистички модел преводи у стохастички.

У четвртом поглављу приказан је модел избора система отварања подземног рудника заснован на Индексу конвексности. Параметри лежишта, као што су величина лежишта, просторни положај лежишта и оквирне резерве руде, познати су на основу геолошких истраживања. Метода откопавања је такође дефинисана. Рудно тело је по дубини подељено на главне производне целине, односно хоризонте. Сваки хоризонт је подељен на мање производне целине, односно подетаже. Локације приступних тачака до сваке подетаже су дефинисане. Ове локације представљају позиције на ободу подетажа из којих се врши

приступање лежишту и из којих се врши транспорт руде до површине. У суштини приступне тачке представљају тачке концентрације за сваку подетажу. Главни задатак, са којим се пројектант суочава, јесте одређивање система отварања који је неопходан да би се обезбедио приступ до тачака концентрације и да би се обезбедили путеви за транспорт откопане руде до површине. Развој формалног оквира оптимизације треба да тежи ка моделу проблема рудничког пројекта у својству тежинске мреже. Проблем минимизирања трошка отварања и експлоатације рудника једнак је минимизирању трошка њему придружене мреже. Дозвољено је да топологија рудничке мреже отварања варира. Према томе, главне променљиве су: локација и/или дубина на којој се налази основа окна или тачке навозишта, локација и дужина нископа, као и нагиб, локација и дужина ходника, топологија рудничке мреже отварања. Елементи решења ће описати вредности променљивих које минимизирају номиновани трошковни циљ: локацију и дубину окна, односно елементе нископа или ходника, топологију мреже отварања, процењен трошак оптималног решења, осетљивост према променама у пројекту (повећана тонажа), оперативним подацима (стрмији нагиби нископа за различиту опрему) или структури трошкова. Орјентисана мрежа (смер орјентације је дефинисан у контексту трасе извоза руде од приступне тачке до површине) састављена је од коначног скупа чворова и скупа орјентисаних ивица. Најкраћи пут између приступне тачке и површине терена је пут са најмањом дужином од свих постојећих путева између ових тачака. Ако је дужина сваке ивице изражена fuzzy бројем, на пример fuzzy троугластим бројем, тада ће дужина сваког пута између било која два одређена чвора бити неки fuzzy број истог типа. У овом случају, проблем најкраћег пута се означава као проблем fuzzy најкраћег пута. Формално, проблем је пронаћи fuzzy најјефтинији пут од почетног чвора (приступне тачке) до крајњег чвора (улаз у рудник). Fuzzy трошковна функција пута је збир fuzzy трошковних функција просторија отварања које се налазе на датом путу. Нека је граф P скуп fuzzy могућих транспортних путева од подетаже до површине. Пут најмањег трошка који има најмању вредност Индекса конвексности представља оптималан пут. Овај пут има ранг највишег нивоа и додељује му се вредност 1, а преостали путеви рангирају се у складу са растућим низом вредности њихових Индекса конвексности и додељују им се редом вредности 2,3,... То значи да постоји поредак рангова датих путева са додељеним вредностима 1, 2, ... за једну подетажу. Претпоставимо да постоји k подетажа, које треба откопати током неког планираног периода. Ако узмемо у обзир претходну претпоставку онда имамо k путева минималног трошка и такође k поредака додељених величина. У складу са претходном дискусијом проблем се може представити као (A, X, E) модел, где A представља скуп алтернатива, X скуп атрибута, а E скуп процена алтернатива у складу са датим атрибутима. Размотримо коначан скуп алтернатива, односно система отварања, коначан скуп атрибута, тј. коначан број подетажа и скуп процена алтернатива у складу са скупом атрибута. Основа за проналажење најјефикаснијег система отварања је матрица, чији елементи представљају рангове система отварања, који су добијени на основу Индекса конвексности. Композитни ранг система отварања добија се сумирањем појединачних рангова додељених сваком систему отварања на свакој подетажи понаособ. Ред величина добијених сума указаће на поредак предложених система отварања, при чему ће сума са најмањом вредношћу одговарати најбољем систему отварања. У оквиру овог поглавља приказан је општи алгоритам за проналажење оптималног система отварања подземног рудника.

Пето поглавље односи се на тестирање развијеног модела путем нумеричког примера. Пошто се коефицијент откривке приближава својој планираној максималној вредности, управа рудника се суочава са порастом трошкова експлоатације активног површинског копа. Управа доноси одлуку да се преостали део резерви боксита откопа подземним начином експлоатације. У том контексту потребно је урадити пројекат подземне експлоатације, што подразумева избор оптималног система отварања. Прво су дефинисани улазни подаци, а затим дат детаљан прорачун избора оптималног система отварања подземног рудника и на крају на основу добијених резултата дефинисан је оптималан систем отварања. У оквиру

овог поглавља извршена је и дискусија добијених резултата. Добијени поредак композитног ранга указује на следећи поредак система отварања подземног рудника: Окно-нископ, Нископ и Окно. Помоћу дијаграма приказане су промене преференце система отварања у функцији дубине и резерви руде на подетажи при константном капацитету производње. Дубина на којој се изводи експлоатација, има већи утицај на транзицију преференце система отварања него промена резерви руде у контексту њиховог смањења.

На крају рада, у оквиру шестог поглавља, сажето су приказани сви важнији резултати истраживања у оквиру дисертације, као и допринос дисертације на пољу пројектовања подземних рудника. Уједно је предложен и оквир будућих истраживања у смислу увођења додатних критеријума у процес одлучивања, задржавајући критеријум композитног рангирања заснован на Индексу конвексности. Нови критеријуми могу обухватити индикаторе као што су поузданост опреме, комплексност система отварања по основу извођења радова и по основу транспорта руде. На овај начин проблем избора система отварања подземног рудника третираће се као вишедимензиони проблем стратешког одлучивања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Имајући у виду реалне и све комплексније проблеме који прате пројектовање подземних рудника, као и чињеницу да се ради о иреверзибилним инвестицијама, које се након лоше реализације немогу исправити без значајног утрошка средстава и времена, може се закључити да истраживања реализована у оквиру ове дисертације представљају ефикасан и савремен начин за превазилажење ових проблема.

Докторска дисертација под називом "Fuzzy стохастички модел избора система отварања подземног рудника" представља оригинални научноистраживачки рад у области подземне експлоатације лежишта минералних сировина, односно пројектовања подземних рудника. У овој дисертацији је развијена општа методологија за избор оптималног система отварања подземног рудника у условима неодређености улазних података. Квантификација неодређености изводи се помоћу fuzzy скупова и симулацијама стохастичких дифузних процеса. Развијен је и приказан општи алгоритам избора система отварања подземног рудника, заснован на fuzzy стохастичким тежинским мрежама које приказују подземни рудник на вештачки начин. Алгоритам, у оквиру понуђеног скупа пројектних решења за једну карактеристичну приступну тачку (подетажу), врши рангирање истих према растућој вредности Индекса конвексности, при чему минимална вредност индекса има највиши ранг вредности 1. Композитним рангирањем алгоритам затим сумира појединачне рангове који су додељени сваком систему отварања на свакој подетажи понаособ. Коначан поредак пројектних решења добија се на основу растућег поретка композитних сума, при чему сума са минималном вредношћу представља оптимално решење.

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 38 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 fuzzy стохастички динамички модел избора оптималног система отварања подземног рудника, који представља основу за доношење стратешких инвестиционих одлука у фази пројектовања. Модел обухвата спецификацију неизвесне тонаже руде у приступним тачкама, коју треба превести до површине терена. Количине руде које се могу откопати и транспортовати директно зависе од примењене методе откопавања. Ефикасност методе откопавања може се изразити коефицијентом искоришћења. Овај коефицијент представља процентуални део руде који је откопан из примарног рудног тела. Он зависи од многих параметара као што су: величина и облик рудног тела, угла пада, дебљине рудног тела, расподеле садржаја корисне компоненте, физичко-механичких карактеристика руде и околних стена, врсте контакта између руде и околних стена, итд. Постоји већи број различитих метода откопавања, које се користе у складу са поменутиим параметрима али ниједна од њих не може откопати целокупне резерве из примарног рудног тела. Све информације о карактеристикама лежишта засноване су на подацима који су добијени истражним бушењем са површине терена и веома је тешко на основу њих дефинисати параметре у смислу вредности са високим степеном одређености. Ово је разлог због чега се користе fuzzy лингвистичке променљиве да би се описао коефицијент искоришћења. Следећи корак трансформише fuzzy лингвистичке променљиве у fuzzy троугласте бројеве и на тај начин се квантификује неизвесност тонаже. Хетерогеност улазних информација везаних за карактеристике радне средине (физичко-механичке карактеристике, хидрогеолошке карактеристике, итд.) у великој мери утичу на величину трошкова израде просторија отварања и на немогућност да се они изразе на детерминистички начин. У том контексту врши се њихова фазификација.

Математички модел омогућава, кроз стохастичку диференцијалну једначину стања, адекватно представљање динамичке природе експлоатационих трошкова транспорта руде кроз различите типове просторија отварања. Ако узмемо у обзир да оперативни трошкови везани за транспорт 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. Добијене расподеле трошкова током времена се трансформишу у одговарајуће fuzzy троугласте бројеве применом Swishchuk-овог модела трансформације. Полазећи од чињенице да у подземном руднику постоје карактеристичне тачке које међусобно морају бити повезане у један интегрисани систем, логично је да се подземни рудник може на вештачки начин презентовати у облику мреже разапете преко ових тачака. Форме које повезују ове тачке нису ништа друго до основне просторије отварања и транспорта (окно, нископ, ходник, сипка). У дисертацији је примењена теорија мрежа у fuzzy стохастичком случају, у оквиру које се проналази пут са најмањим могућим трошковима, односно оптимални систем отварања састављен од основних просторија отварања. Проналажење овог пута заснива се на примени Алгоритма за проналажења fuzzy најкраћег пута у придруженој мрежи који је базиран на израчунавању Индекса конвексности. Коначан избор система отварања подземног рудника заснива се на примени Композитног рангирања.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати докторске дисертације применљиви су у научном смислу, али имају и реалну практичну примену у пројектовању подземног рудника. Примењене методе и развијени

алгоритам доприносе постизању следећих ефеката: смањење неизвесности и повећање флексибилности у процесу пројектовања, дефинисање ниова потребних инвестиција, смањење трошкова производње и 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 радова у часописима на JCR листи Комисија је проценила да се кандидат мр Саша Јовановић, дипл. инж. рударства одликује следећим способностима које га квалификују као компетентног истраживача за самостални научни рад:

- препознавање кључних проблема у подземној експлоатацији лежишта минералних сировина,
- способност успостављања функционалних зависности између најугицајнијих параметара и коначног исхода, креирање математичких модела,
- квантификација вредности улазних параметара система у условима неодређености,
- примењује научне методе истраживања базиране на симулацијама стохастичких диференцијалних једначина, теорији графова, оптимизацији fuzzy тежинских мрежа, инжењерској економици, теорији одлучивања.

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 избора оптималног система отварања подземног рудника. Овај проблем представља један од најзначајнијих проблема комбинаторне оптимизације при пројектовању система отварања подземног рудника.

Општи научни допринос ове дисертације је допринос пројектовању подземног рудника у условима неодређености улазних параметара, при чему је веома важно нагласити да неки од њих припадају групи екстерних параметара на које пројектант 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 избора оптималног система отварања подземног рудника који је заснован на Теорији мрежа и Композитном рангирању;
- Смањење неодређености улазних параметара, резерви руде, трошкова израде просторија отварања и трошкова транспорта на fuzzy односно стохастички начин;
- Приказ промене преференци обрађиваних система отварања при симултаном промени дубине откопавања и резерви руде које треба транспортовати;
- Смањење ризика у процесу доношења стратешких инвестиционих одлука у процесу пројектовања подземних рудника;
- Валидација приступа као једног рачунарски врло ефикасног начина за избор оптималног система отварања подземног рудника;

- Подршка при стратешком одлучивању.

Остварени научни доприноси докторске дисертације још више добијају на својој важности узимајући у обзир да систем отварања подземног рудника представља добар пример иреверзибилне инвестиције. Овакве инвестиције захтевају пажљиве анализе, јер након њихове реализације је веома тешко исправити слабости пројектних решења без значајног губитка новчаних средстава и времена.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Одлуку о избору система отварања подземног рудника можемо посматрати у контексту стратешког инвестиционог одлучивања. Да би ова одлука била квалитетна неопходно је сагледати окружење у којем се она доноси, односно дефинисати све утицајне параметре. Узимајући у обзир да се повећава дубина на којој се налазе лежишта минералних сировина, ултра дубока лежишта, смањује садржај корисне компоненте у руди, тада се важност избора система отварања подземног рудника вишеструко повећава. Поред наведене чињенице, практична примена стручних резултата се односи и на постојеће површинске копове, који се налазе при крају свог експлоатационог века, па је подземна експлоатација једини начин да се преостале резерве откопају на сигуран и економски исплатив начин.

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 инвестиционим анализама у рударству. Остварени резултати истраживања помажу да се избор система отварања подземног рудника сагледа у смислу да се стања улазних параметара могу проценити и у статичком и у динамичком смислу. Динамичким симулацијама будућих стања трошкова створено је окружење које приказује како се могући сценарији у будућности одражавају на пројектна решења у садашњости. Представљање рудника помоћу тежинске мреже омогућава пројектанту да рудник сагледа као физички модел. Пројектанту је омогућено да прати трансформацију преференци третираних система отварања при симултаном промени улазних параметара, што олакшава доношење стратешких одлука од којих зависи успех пројекта.

4.3. Верификација научних доприноса

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

Категорија M23

1. Jovanović S., Gligorić Z., Beljić C., Glušćević B., Cvijović C.: Fuzzy Model for Selection of Underground Mine Development system in a Bauxite Deposit, Arabian Journal for Sciences and Engineering 39, 2014, pp.4529-4539, Spinger, IF.0,367, DOI 10.1007/s13369-014-1173-9. ISSN 1319-8025.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација под називом "Fuzzy стохастички модел избора система отварања подземног рудника" кандидата мр Саше Јовановића, дипл. инж. рударства представља савремен и оригиналан научноистраживачки рад у области подземне експлоатације лежишта минералних сировина у којем је аутор дао значајан научни допринос развоју модела за избор оптималног система отварања 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 пројектовања подземних рудника 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 пројектовања подземних рудника. 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 мр Саше Јовановића, дипл. инж. рударства са темом

"Fuzzy стохастички модел избора система отварања подземног рудника"

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 "Fuzzy стохастички модел избора система отварања подземног рудника" кандидата мр Саше Јовановића, дипл. инж. рударства прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да се после њеног усвајања одобри јавна усмена одбрана дисертације.

Београд, 11.03.2016. 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 Небојша Бојовић, редовни професор
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет