

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 Иване Јовановић, 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 Иване (Милија) Јовановић, дипл. инж. рударства
(име, име једног од родитеља и презиме)

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

пријавио је докторску дисертацију под називом:

„МОДЕЛ ИНТЕЛИГЕНТНОГ СИСТЕМА АДАПТИВНОГ УПРАВЉАЊА ПРОЦЕСОМ ПРЕРАДЕ РУДЕ“

Научна област: Рударско инжењерство

Универзитет је дана 28.11.2011. године својим актом под бр. 02 број:06-8225/9-11 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„МОДЕЛ ИНТЕЛИГЕНТНОГ СИСТЕМА АДАПТИВНОГ УПРАВЉАЊА ПРОЦЕСОМ ПРЕРАДЕ РУДЕ“

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата

Мр Иване (Милија) Јовановић, дипл. инж. рударства
(име, име једног од родитеља и презиме)

образована је на седници одржаној 22.10.2015. год. одлуком факултета под бр. 1/346, у саставу:

Име и презиме члана комисије звање научна област

- др Игор Миљановић, ванр. проф. рачунарство и системско инжењерство
- др Иван Обрадовић, ред. проф. математика и информатика
- др Љубиша Андрић, научни саветник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд
- припрема минералних сировина
-

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 19.11.2015.

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 19.11.2015. године, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **мр Иване Јовановић, дипл. инж. рударства**, под насловом *"Модел интелигентног система адаптивног управљања процесом прераде руде"*, на који није било примедби.
2. Универзитет у Београду је дана 28.11.2011. године дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.
3. Радови из научних часописа са листе која је утврђена као релевантна за вредновање научне компетенције у одређеном научном пољу:
 - Jovanović Ivana, Miljanović Igor, Contemporary advanced control techniques for flotation plants with mechanical flotation cells - a review, Minerals Engineering, Vol. 70, January 2015, pp 228–249, ISSN: 0892-6875, doi: 10.1016/j.mineng.2014.09.022 (IF 2014 = 1,597).
 - Jovanović Ivana, Miljanović Igor, Jovanović Tomislav, Soft computing-based modelling of flotation processes - a review, Minerals Engineering, Vol. 84, December 2015, pp 34-63, ISSN: 0892-6875, doi: 10.1016/j.mineng.2015.09.020 (IF 2014 = 1,597).
4. Именована ће бранити докторску дисертацију пред комисијом у саставу: др Иван Обрадовић, ред. проф.; др Игор Миљановић, ванр. проф.; др Љубиша Андрић, научни саветник Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд.
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

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Рударско-геолошки факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње
мр Иване Јовановић, дипл. инж. рударства

Одлуком бр. 1/346 од 26.10.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње **мр Иване Јовановић, дипл. инж. рударства** под насловом

Модел интелигентног система адаптивног управљања процесом прераде руде

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Мр Ивана Јовановић је 10.06.2011. поднела захтев за давање сагласности за израду докторске дисертације под називом **Модел интелигентног система адаптивног управљања процесом прераде руде**. Кандидаткиња је за ментора предложила др Игора Миљановића, тада доцента Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду.

Катедра за примењено рачунарство и системско инжењерство је на својој седници одржаној 10.06.2011. дала сагласност на предлог теме и ментора и предложила Комисију за оцену подобности теме и кандидаткиње у саставу: др Слободан Вујић, редовни професор, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет (ментор), др Драган Радојевић, научни саветник, Институт „Михајло Пупин“, Београд, др Предраг Лазић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултету, др Игор Миљановић, доцент, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет и др Владан Милошевић, научни сарадник, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Београд, (допис Катедре бр. 1/114 од 13.06.2011). Комисија у наведеном саставу формирана је на седници Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета одржаној 23.06.2011, одлуком бр. 1/126 од 24.06.2011.

Комисија је сачинила извештај бр. 1/194 од 08.11.2011 који је усвојен на седници Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета одржаној 17.11.2011, а одлуком бр. 1/204 од 18.11.2011. дата је сагласност на предлог теме и ментора. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 28.11.2011. донело одлуку бр. 06-8225/9-11 којом је дало сагласност на предлог теме докторске дисертације мр Иване Јовановић под називом Модел интелигентног система адаптивног управљања процесом прераде руде.

Кандидаткиња је завршену докторску дисертацију предала Студентској служби Рударско-геолошког факултета 12.10.2015. и истог дана поднела молбу за именовање комисије за оцену и одбрану докторске дисертације (бр. 1/328 од 12.10.2015). Катедра за примењено рачунарство и системско инжењерство Рударско-геолошког факултета је на основу те молбе својим дописом бр. 1/329 од 12.10.2015. предложила Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета да формира комисију у саставу: др Иван Обрадовић, редовни професор, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, др Игор Миљановић, ванредни професор, Универзитет у Београду (ментор), Рударско-геолошки факултет, и др Љубиша Андрић, научни саветник, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина Београд. На седници одржаној 22.10.2015. године, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета донело је одлуку о формирању Комисије у наведеном саставу (одлука бр. 1/346 од 26.10.2015.).

На основу поменуте одлуке Наставно-научног већа, стечени су услови за писање овог извештаја.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација „Модел интелигентног система адаптивног управљања процесом прераде руде” спада у техничке науке, научну област „Рударство“ – ужа научна област „Рачунарство и системско инжењерство“ за коју је матичан Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет. Према правилима Универзалне децималне класификације (УДК), докторска дисертација сврстана је на следећи начин: 004.81-1:005.1/.3/.5/.7:311, 519.237/.245, 621.31:622:681.3, 658.5:659.2(043.3).

За ментора је именован др Игор Миљановић, ванредни професор за ужу научну област „Рачунарство и системско инжењерство“. Ментор је објавио већи број радова и других издања из области примењеног рачунарства и системског инжењерства у рударству, моделирања процеса, те управљања процесима и информационо-управљачких система у рударству и припреми минералних сировина, чиме је потврђена његова компетентност за вођење ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидаткињи

Ивана М. Јовановић је рођена 26. 11. 1977. године у Пожеги. Основну школу завршила је 1992. године у Косјерићу, а гимназију у Ваљеву 1996. године. Исте године је уписала Рударско-геолошки факултет, Универзитета у Београду, где је дипломирала 2004, са просечном оценом у току студија 8,91. Магистарску тезу, под називом „Могућност примене микронизованог и класираног електрофилтерског пепела као адитива за производњу грађевинских материјала“ одбранила је 2009. године, на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду под руководством ментора проф. др Милене Костовић.

Од 2006. до 2012. године била је запослена у Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина у Београду. Од 2012. године запошљава се у Институту за рударство и металургију Бор, где и данас ради. Бави се израдом пројеката постројења за припрему минералних сировина, студија утицаја на животну средину, као и лабораторијско-технолошким испитивањима из области припреме минералних сировина. Учесник је на пројектима Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Учествовала је у реализацији више од 15 пројеката сарадње са привредом. Коаутор је 6 техничких решења.

Аутор је и коаутор 78 радова објављених у домаћим и међународним часописима као и радова објављених на међународним и националним скуповима.

Говори енглески и руски језик.

Докторску дисертацију под називом „Модел интелигентног система адаптивног управљања процесом прераде руде“ пријавила је 10.06.2011.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација мр Иване Јовановић под називом „Модел интелигентног система адаптивног управљања процесом прераде руде“ написана је на 217 једнострано одштампаних страна формата А4, латиничним писмом, на српском језику. Дисертација садржи 112 илустрација (графикона, цртежа или шема) и 48 табела. Током израде дисертације коришћено је 327 библиографских јединица чији је списак дат на крају дисертације.

Докторска дисертација подељена је на 9 поглавља:

1. Увод,
2. Основни концепт флотацијске концентрације,
3. Моделовање флотацијских процеса,
4. Модели засновани на класичним методама,
5. Модели засновани на правилима софт компјутинга,
6. Технике управљања флотацијским постројењима са механичким флотацијским ћелијама,
7. Поставка модела интелигентног система,
8. Резултати моделовања и дискусија,
9. Закључак и предлог даљих истраживања.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу дати су основни подаци о дисертацији: предмет и циљеви истраживања, полазне поставке, програм и методологија истраживања.

Друго поглавље посвећено је кратком осврту на флотацијску концентрацију, као и на карактеристике овог процеса са аспекта ефикасности и организације процеса у индустријским условима.

Треће поглавље говори о принципима моделовања флотацијског процеса, како са историјског, тако и са савременог аспекта. Дата је класификација флотацијских модела, а детаљно су обрађене и кључне флотацијске променљиве (поремећајне, манипулисане и контролисане).

У четвртном поглављу говори се о моделима заснованим на тзв. класичним методама моделовања, односно стандардним математичким правилима и изразима. У том смислу, издвојени су и засебно приказани емпиријски, пробабилистички, кинетички и популационо-билансни модели. Приказане су њихове карактеристике и наведени примери из праксе, релевантни за истраживања изложена у дисертацији.

У петом поглављу приказани су модели засновани на правилима софт компјутинга. Флотацијски систем је оцењен као систем са високом неизвесношћу и немогућношћу сагледавања потпуних информација, са изразитом потребом за апроксимацијама, те је примена метода софт компјутинга у моделовању флотацијских система наведена као оптимална. У даљем тексту поглавља приказани су примери у светској литератури груписани по методама: вештачке неуронске мреже, фази логичке методе, генетски алгоритми, метода потпорних вектора, стабла одлучивања и друге методе, као и посебан одељак посвећен примени хибридних метода у моделовању флотацијских процеса.

Шесто поглавље односи се на технике управљања флотацијским постројењима. Приказана је идеја стратификације управљачких нивоа упоредо са циљевима управљања у флотацијским постројењима са механичким ћелијама. Дати су параметри валидни приликом избора управљачких стратегија, а затим и примери из светске праксе који се односе на примену метода класичног управљања, моделско предиктивног управљања и метода интелигентног управљања.

У седмом поглављу изложене су поставке модела интелигентног система са аспекта примене на посматраном случају флотацијског постројења у Великом Кривељу. Дат је детаљан опис важеће шеме технолошког процеса, праћен детаљним описом контроле и регулације технолошких параметара у процесу. У наставку је детаљно описан поступак формирања модела: формирања базе података, као и избора и фазификације променљивих, формирања базе фази логичких правила, као и самог развоја фази логичког модела, модела на бази вештачких неуронских мрежа и хибридног модела.

За израду докторске дисертације аутору су на располагању били реални индустријски подаци добијени из процеса флотацијске концентрације у погону „Велики Кривељ” где се подаци о улазним параметрима технолошког процеса прикупљају свакодневним праћењем и ажурирањем добијених вредности у одговарајућој евиденционој документацији.

Обзиром да је процес флотацијске концентрације карактеристичан по великом броју утицајних параметара, односно улазних променљивих величина које утичу на одвијање процеса, најосетљивији део развоја модела представља избор улазних и излазних променљивих. За потребе развоја модела процеса у оквиру ове докторске дисертације, приликом избора одговарајућих утицајних параметара вођено је рачуна о њиховој значајности као и о доступности одговарајућих података. Након сагледавања чињеница и експертске анализе прикупљених података усвојене су одговарајуће променљиве.

Развој базе фази логичких правила карактерисан је дефинисањем потпуне матрице међузависности, са укупно 753 правила. За потребе израде дисертације, развој модела процеса флотацијске концентрације обухватио је више метода софт компјутинга: фази логику, вештачке неуронске мреже, као и њихов хибридни систем – АНФИС. Креиране су три класе модела: елементарни, проширени и хибридни.

Осмо поглавље односи се на резултате моделовања и дискусију резултата. На почетку је дат општи преглед резултата и детаљи естимације предиктивних својстава модела, а затим следи упоредна анализа исхода моделовања. Трећи одељак поглавља односи се на имплементацију развијених модела у предложени интелигентни систем управљања.

Евалуација формираних модела извршена је уношењем реалних вредности улазних процесних променљивих из индустријског флотацијског постројења „Велики Кривељ” и генерисањем одговарајућих излаза које предвиђају модели. Евалуација модела је извршена формирањем матрице три односно пет независних променљивих и генерисањем матрице три излазне променљиве, употребом модула.

Резултати развоја модела допуштају функционално позиционирање фази логичког контролера или контролера заснованог на вештачким неуронским мрежама у две варијанте архитектуре управљачког система. Према једној варијанти, у постројењу за флотацијску концентрацију би се управљање и контрола процеса одвијала кроз управљачка дејства једног фази контролера, док би у другој варијанти функционалност фази логичког модела била реализована кроз одвојене фази логичке контролере за основно и допунско флотирање са једне стране, односно за пречишћавање са друге стране. Актуелна архитектура система аутоматског управљања допушта разраду обе варијанте. Према првој варијанти, проширени фази модели би, у складу са базом фази правила изводили управљање и контролу процеса практично целокупног флотацијског система.

У деветом поглављу приказан је закључак са предлогом даљих истраживања на предметном пољу. Аутор наводи да методе софт компјутинга добро моделују процес флотацијске концентрације у механичким флотацијским ћелијама, у смислу предвиђања искоришћења и садржаја бакра у концентрату, као и садржаја бакра у јаловини, с тим да су се вештачке неуронске мреже показале као адекватнија метода за моделовање процеса флотацијске концентрације од фази логики.

Као препоруке за наредна истраживања, предлажу се: развој хибридног АНФИС система са различитим бројем улазних променљивих, оптимизацију параметра модела неким од интелигентних алгоритама (генетски алгоритам, алгоритам роја честица, гравитациони претраживачки алгоритам, алгоритам диференцијалне еволуције и сл.), интеграција са методом потпорних вектора, итд., затим испитивања и поређења перформанси флотацијских модела заснованих на већ коришћеним методама, али кроз другачије поставке као што су: развој неуронских мрежа чије се архитектуре разликују од примењених, формирање фази логичких модела са већим бројем улазних променљивих, скраћеним или проширеним базама правила, другим облицима функција припадности и сл.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Методе софт компјутинга представљају савремене математичке методе развијене у последњих четрдесетак година. Инжењерске примене ових метода карактеристичне су за велики број

области и дисциплина, с тим да се обим научно-истраживачког рада на овом пољу последњих година увећава, обзиром на експанзију броја метода, као и трендове у аутоматизацији и управљању процесима. У рударству и припреми минералних сировина, методе софтверског компјутинга такође повећавају свој удео када је реч о управљању процесима уз нова сазнања која се инкорпорирају у техничка решења, како у опрему, тако и у одговарајућу софтверску подршку, практично сваког дана. Следствено, докторску дисертацију кандидаткиње мр Иване Јовановић, карактерише модеран приступ предметној проблематици.

У обради истраживања и приказу резултата у тексту дисертације примењене су савремене методе и приступи који се користе у решавању проблема моделовања индустријских производних процеса. Посебно је потребно истаћи да су по први пут примењене одређене комбинације метода софтверског компјутинга са циљем развоја модела флотацијског процеса, нарочито када је реч о механичким флотацијским ћелијама, што представља у потпуности оригинално решење. Такође, оригиналност истраживања детерминисана је и поставком контролера на бази метода софтверског компјутинга за употребу у флотацијским постројењима на позицијама детерминисаним у оквиру ове дисертације.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде ове дисертације, кандидаткиња је прегледала и обрадила велики број референци, углавном објављених на енглеском говорном подручју. У припреми текста дисертације коришћено је укупно 327 референци, чији је списак дат на крају дисертације.

Осим референци које се односе на теоријске поставке класичног моделовања, највећи број референци (73%) датира из претходних десет година, а чак 30% референци је објављено током претходних пет година (2010-2015). Овај показатељ илуструје савременост примене софтверског компјутинга у области моделовања флотацијских процеса.

Приближно 10% наведених референци говори о проблематици моделовања флотацијских процеса у механичким флотацијским машинама, што указује на неадекватност и недовољност до сада примењиваних решења у флотацијским системима широм света. Нешто мање од 10% објављених резултата истраживања односи се на проблематику примене метода софтверског компјутинга у циљу развоја интелигентних модела управљања. Уз то, поменуте референце су актуелне последњих 10-ак година, чиме се додатно илуструје адекватност научно-истраживачког тренутка израде ове дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У складу са постојећим околностима и условима, методологија истраживања је у потпуности прилагођена програму и циљевима истраживања. Кандидаткиња је истраживачко поље са методолошког становишта обрадила са више аспеката. У том смислу, примењене су научне методе анализе, индукције, синтезе, класификације, конкретизације и коначно, специјализације. Резултујућа, детаљна критичка анализа постојећих научних резултата омогућила је квалитетну поставку радног оквира истраживања, као и полазних хипотеза.

Током формирања базе података, као и касније, током тумачења резултата, значајну улогу у изради дисертације играле су математичко-статистичке методе и одговарајући софтверски алати (Microsoft Excel, IBM SPSS). Примењене су методе корелационе и регресионе анализе, као и оптимизације. За потребе формирања базе фази правила, као и развоја одговарајућих

модела коришћен је софтверски пакет MATLAB, основни радни простор, као и модули Fuzzy Logic Toolbox, Neural Net Fitting и Neuro-fuzzy Designer. За потребе развоја и позиционирања интелигентног система адаптивног управљања у флотацијском постројењу Велики Кривељ коришћен је Simulink. Валидација резултата анализе извршена је развојем програмског модула на релацији MATLAB – Microsoft Excel.

На основу изложеног, Комисија констатује да примењене технике и методе по значају, обиму и другим својствима у потпуности одговарају теми и обиму дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

У домену инжењерских научних дисциплина, применљивост остварених резултата је високо рангирана као мерило квалитета истраживања. По том критеријуму, дисертација кандидаткиње Иване Јовановић може добити високу оцену. Водећи резултати дисертације који говоре о употребљивости метода софт компјутинга у реалном флотацијском систему могу представљати основу за развој фази контролера, контролера заснованог на вештачким неуронским мрежама, или хибридног контролера који би нашао своје место у процесу аутоматског управљања и контроле процеса у флотацијским постројењима пре свега, а затим и шире, у другим сегментима постројења за припрему минералних сировина.

Посебно вреди истаћи предлог позиције фази логичког контролера (алтернативно контролера на бази вештачких неуронских мрежа) у флотацијском систему као резултат развијеног флотацијских софт компјутинг модела. Флотацијско постројење Велики Кривељ, које је послужило као опитни полигон, упркос сложеној технолошкој шеми представља типично постројење за флотирање порфирских руда бакра, чиме се оквир примене резултата дисертације шири како на постројења која прерађују сировину сличних карактеристика, тако и на друга постројења са технолошким процесом који је у системском смислу довољно близак.

Применљивост метода је у овом смислу и шира од истраживачког радног оквира постављеног у овој дисертацији, обзиром да се, како је показано, модели на бази софт компјутинга могу користити и у другим, пре свега, производним гранама индустрије.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидаткиње за самостални научни рад

Кандидаткиња, мр Ивана Јовановић је стручњак са великим искуством у наставном и научном раду, са преко 70 објављених радова и других публикација, значајним практичним искуством које се огледа у учешћу у раду на 4 научно-истраживачка пројеката и више од 15 пројеката сарадње са привредом и радним искуством у двама истакнутим домаћим истраживачким кућама, Институту за технологију нуклеарних и других минералних сировина у Београду и Институту за рударство и металургију у Бору.

Мр Ивана Јовановић је реализацијом програмских задатака дисертације демонстрирала извршност и изузетан капацитет за самосталан научни рад. У првој фази, кандидаткиња је исцрпном анализом и дискусијом расположивих референци приступила проблему моделовања флотацијских процеса у механичким машинама, извршила његову сублимацију и анализу, да би у другом делу, на основу реалних резултата рада постројења за флотацијску концентрацију, поставила основе новог модела применом метода софт компјутинга. Прецизна, инжењерска логика и пажљив одабир термина и конструкција у написаном тексту говори о систематичном и аналитичком приступу кандидаткиње.

Коначно, рад кандидаткиње је признат и на међународном нивоу објављивањем чак три научна рада, као првоименовани аутор, у часописима који се индексирају на SCI листи, од чега два у највишој (M21) категорији. Наведени аргументи препоручују кандидаткињу за самосталан научни рад уз највише оцене.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Докторска дисертација „Модел интелигентног система адаптивног управљања процесом прераде руде” представља савремен и оригиналан научни рад са значајним доприносима у области теорије и практичне примене метода софт компјутинга. Сва истраживања предвиђена планом и програмом израде дисертације су реализована, а остварени научни доприноси огледају се кроз следећа решења:

- Извршена је детаљна анализа и преглед текућих трендова у светској литератури на предметном пољу по први пут у свету на основу чега је истражни простор дисертације сведен на примену фази логичких метода и вештачких неуронских мрежа;
- Изведена је анализа, класификација и селекција улазних параметара флотацијског процеса са аспекта њиховог утицаја на перформансе система;
- Развијен је низ фазилогичких модела флотацијске концентрације у механичким флотацијским ћелијама, као и модела заснованих на вештачким неуронским мрежама и хибридних модела;
- По први пут извршено је поређење резултата који се добијају применом различитих фази логичких система закључивања: Мамдани и Такаги-Сугено, при чему се Такаги-Сугено систем закључивања показао адекватнијим;
- Утврђено је да методе софт компјутинга добро моделују процес флотацијске концентрације у механичким флотацијским ћелијама, у смислу предвиђања искоришћења и садржаја бакра у концентрату, као и садржаја бакра у јаловини, с тим да су се вештачке неуронске мреже показале као адекватнија метода за моделовање процеса флотацијске концентрације од фази логике;
- Извршена је детерминација функционалне позиције контролера заснованог на методама софт компјутинга у две варијанте архитектуре управљачког система;
- На овај начин постављен је основ за формирање интелигентног система адаптивног управљања са методама софт компјутинга као основом таквог модела.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У својој докторској дисертацији, кандидаткиња мр Ивана Јовановић је разматрала капацитете метода софт компјутинга са аспекта примене у моделовању процеса концентрације руда у механичким флотацијским ћелијама. Иако је током последње две деценије дошло до пробоја метода софт компјутинга, пре свега вештачких неуронских мрежа и метода заснованих на фази логици, део индустријских процеса остао је необухваћен овим процесом. Процес флотацијске концентрације у механичким флотацијским ћелијама је један од таквих процеса. Разлози за

овакво стање су вишеструки и сложени, али се свде на сложеност самог процеса и велики број пре свега улазних параметара у систему.

Задатак који је постављен пред кандидаткињу а који је она са успехом решила садржавао је већи број, са истраживачког становишта осетљивих тачака. Пре свега, ради се о питању избора променљивих од значаја за формирање адекватног модела. Када је реч о методама софт компјутинга, посебно фази логичким методама, тзв. expert input односно искуствена сазнања стручњака добијају на тежини. На основу расположивих података, можемо оценити да је кандидаткиња у овом смислу у потпуности савладала задатак.

Друга веома битна карактеристика процеса моделовања употребом метода софт компјутинга је подешавање модела након његовог иницијалног формирања. И у овом смислу је дисертација одговорила задатку, обзиром на детаљну компаративну анализу резултата елементарних, проширених и хибридних модела.

Поред овога, инжењерски најзначајнији аспект, практична применљивост решења, је такође једна од предности дисертације, обзиром да нуди готов „рецепт“ за конструкцију и упошљавање фази логичког контролера или контролера заснованог на вештачким неуронским мрежама. Развијени модел може се директно применити као модел интелигентног система адаптивног управљања.

Коначно, треба истаћи и вредне закључке за наставак истраживања на предметном пољу. Очигледно, проблем моделовања процеса флотацијске концентрације у механичким ћелијама је на овај начин начет, а кандидаткиња својим препорукама и идејама за наставак истраживања указује на могуће, истовремено и највероватније правце у којима треба тражити свеобухватно решење.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос докторске дисертације верификован је објављивањем три рада у часописима индексираним у SCI листи и већег броја радова презентованих на међународним стручним и научним скуповима или објављених у домаћим часописима. Према подацима са сервиса „Scopus“, један од радова категорије M21 је цитиран у раду такође објављеном у часопису који је индексиран у SCI листи.

Категорија M21:

1. **Jovanović Ivana**, Miljanović Igor, Contemporary advanced control techniques for flotation plants with mechanical flotation cells - a review, Minerals Engineering, Vol. 70, January 2015, pp 228–249, ISSN: 0892-6875, doi: 10.1016/j.mineng.2014.09.022 (IF 2014 = 1,597).
2. **Jovanović Ivana**, Miljanović Igor, Jovanović Tomislav, Soft computing-based modelling of flotation processes - a review, Minerals Engineering, Vol. 84, December 2015, pp 34-63, ISSN: 0892-6875, doi: 10.1016/j.mineng.2015.09.020 (IF 2014 = 1,597).

Категорија М23:

1. **Jovanović Ivana**, Miljanović Igor, Modelling of flotation processes by classical mathematical methods – a review, Archives of Mining Sciences, Vol. 60, No. 4 (2015) (прихваћен за објављивање)

Категорија М24:

1. **Jovanović Ivana**, Todorović Dejan, Andrić Ljubiša, The effect of different collectors on recovery of copper and precious metals of ore body Tenka 3, Rudarski radovi 3/2012, ISSN 1451-0162, pp. 223-234.
2. Magdalinović Srđana, **Jovanović Ivana**, Marjanović Vesna, Marković Zoran, The effect of grinding fineness on the results of flotation concentration of ore from the copper deposit Veliki Krivelj, Mining and Metallurgy Engineering Bor 3/2014, ISSN 2334-8836, pp. 85–104.

Категорија М33:

1. Todorović Dejan, **Jovanović Ivana**, Milošević Vladan, Bartulović Zoran, Andrić Ljubiša, Živadinović Novka, Correlation between copper recovery and grinding fineness Veliki Krivelj, XIV Balkan Mineral Processing Congress, XIV BMPC, June 14-16, 2011, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, ISBN 978-9958-31-038-6, Volume I, pp. 152-156.
2. Miljanović Igor, Vujić Slobodan, Lazić Predrag, **Jovanović Ivana**, Josipović Pejović Milena, Petrovski Aleksandar, Application of fuzzy inference models on the example of zinc ore flotation concentration, BALCOR 2013 – XI Balkan Conference on Operations Research, Conference Proceedings, Belgrade & Zlatibor, 7-11.09.2013., Faculty of Organizational Sciences, ISBN 978-86-7680-285-2, pp. 532-537.
3. **Jovanović Ivana**, Miljanović Igor, Milošević Vladan, Todorović Dejan, Andrić Ljubiša, Bartulović Zoran, Influence of SIPX and AP5500 collectors on the recovery of copper and precious metals from ore deposit Tenka-3, V Balkan Mining Congress BALKANMINE 2013, 18-21.09.2013., Ohrid, ISBN 978-608-65530-2-9, pp. 64-67.
4. Bartulović Zoran, Todorović Dejan, Fidančev Boris, Milošević Vladan, **Jovanović Ivana**, Andrić Ljubiša, Determination of copper minerals rough flotation parameters from „Ilovica” deposit, XV Balkan Mineral Processing Congress, Sozopol, Bulgaria, June 12 – 16, 2013, Vol I, ISBN 978-954-353-217-9, pp. 396-398.
5. **Jovanović Ivana**, Bugarinović Sanja, Miljanović Igor, Milanović Dragan, Magdalinović Srđana, Influence of the pulp pH value on the copper concentrate grade. The 46th International October Conference on Mining and Metallurgy, 01-04 October 2014, Bor Lake, Bor, pp. 541–544.
6. **Jovanović Ivana**, Magdalinović Srđana, Grujić Vukosava, Urošević Daniela, Mikić Miomir, Petrović Sanja, Maksimović Miroslava, 2015. Determination of optimal

reagent regime in flotation process of copper minerals from „Cerovo“ deposit. In Proceedings of XVI Balkan Mineral Processing Congress, June 17-19, Belgrade, Serbia, Vol I, ISBN 978-86-82673-10-1, pp 459–463.

7. Nikolić Ivica, **Jovanović Ivana**, Mihajlović Ivan, Miljanović Igor, System approach to the analysis of copper concentrate production. International May Conference on Strategic Management - IMKSM2015, May 29-31, 2015., Bor, Serbia, pp. 726–741.

Категорија M52:

1. **Јовановић Ивана**, Тодоровић Дејан, Миљановић Игор, Урошевић Даниела, Магдалиновић Срђана, Крстић Слађана, Корелација између садржаја и искоришћења бакра у флотацијском концентрату из погона „Велики Кривељ“ у функцији финоће млевења, Бакар, Институт за рударство и металургију, Бор, ISSN: No. 2, Vol. 38, 2013, (45-54).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације под називом „Модел интелигентног система адаптивног управљања процесом прераде руде“ кандидаткиње мр Иване Јовановић, дипл. инж. рударства, Комисија констатује следеће:

- Тема истраживања је актуелна, примењена методологија одговара високим научно-истраживачким стандардима, а развијени модели могу се применити и изван истраживачког радног оквира ове дисертације,
- Исходи дисертације верификовани су у научној и стручној јавности објављивањем већег броја радова, укључујући и три рада у часописима који се индексирају на SCI листи,
- Резултати истраживања су оригинални, посебно примена комбинације метода софтверског компјутинга са циљем развоја модела флотацијског процеса, нарочито када је реч о механичким флотацијским машинама,
- Развијени модели представљају основу модела интелигентног система адаптивног управљања у процесу прераде руде,
- Остварени допринос омогућује развој контролера на бази метода софтверског компјутинга који се директно могу укључити у процес аутоматске контроле и управљања у флотацијским постројењима на позицијама детерминисаним у оквиру ове дисертације,
- Дисертација је написана стручним језиком, у складу са одговарајућим стандардима о научно-истраживачком раду и технички је адекватно опремљена,
- Дисертација испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником Универзитета у Београду и Рударско-геолошког факултета,

На основу приказаних резултата и закључака, Комисија констатује да је кандидаткиња мр Ивана Јовановић са успехом завршила докторску дисертацију, у складу са предметом, програмом и циљевима истраживања.

Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Модел интелигентног система адаптивног управљања процесом прераде руде“ кандидаткиње мр Иване Јовановић, дипл. инж. рударства, прихвати, изложи на увид јавности и упути на давање коначне сагласности Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а кандидаткињи истовремено одобри да приступи јавној одбрани предметне дисертације.

Београд, 02.11.2015.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Иван Обрадовић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

.....
др Игор Миљановић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

.....
др Љубиша Андрић, научни саветник,
Институт за технологију нуклеарних и
других минералних сировина, Београд