

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

Томе (Лука) Беновића, дипл. инж. рударства
(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ Томо (Лука) Беновић, дипл. инж. рударства
(име, име једног од родитеља и презиме)

пријавио је докторску дисертацију под називом:

„ФАЗИ МОДЕЛОВАЊЕ ЧИШЋЕЊА УГЉА У АУТОГЕНОЈ СУСПЕНЗИЈИ“

Научна област: Рударско инжењерство Студијски програм: Рударско инжењерство

Универзитет је дана 10.06.2013. год. својим актом под бр. 02 Број:61206-2807/2-13 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

„ФАЗИ МОДЕЛОВАЊЕ ЧИШЋЕЊА УГЉА У АУТОГЕНОЈ СУСПЕНЗИЈИ“

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата

Томе (Лука) Беновића, дипл. инж. рударства
(име, име једног од родитеља и презиме)

образована је на седници одржаној 24.10.2013. год. одлуком факултета под бр. 1/290, у саставу:

Име и презиме члана комисије

звање

научна област

- | | | |
|----|--|---|
| 1. | др Игор Миљановић, ванр. проф. | Примењено рачунарство и системско инжењерство |
| 2. | др Слободан Вујић, ред. проф. у пензији | Примењено рачунарство и системско инжењерство |
| 3. | др Валентин Алексеевич Чантурија, ред. проф. члан Руске академије науке | Припрема минералних сировина |
| 4. | др Надежда Талић, ред. проф. Универзитета у Бања Луци- Рударски факултет у Приједору - | Припрема минералних сировина |
| 5. | др Мирко Вујошевић, ред. проф. Универзитета у Београду-Факултет организационих наука | Операциона истраживања |

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 28.11.2013.

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 Иван Обрадовић

На основу члана 30. Закона о високом образовању, члана 117. Статута Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду и члана 27. Правилника о студирању на докторским студијама и стицању звања доктора наука, Наставно-научно веће Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној 28.11.2013. године, донело је

О Д Л У К У

1. Усваја се извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације **Томе Беновића**, дипл. инж. рударства, под насловом *„Фази моделовање чишћења угља у аутогеној суспензији”*, на који није било примедба.
2. Универзитет у Београду је дана 10.06.2013. 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:
 - Слободан Вујић, Томо Беновић, Игор Миљановић, Марјан Худеј, Александар Милутиновић, Петар Павловић, FUZZY LINEAR MODEL FOR PRODUCTION OPTIMIZATION OF MINING SYSTEMS WITH MULTIPLE ENTITIES, International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, University of Science and Technology Beijing, PR China, Vol. 18, Number 6, Dec 2011., 633-637, ISSN: 1674-4799 (IF 2011=0,691)
 - Слободан Вујић, Игор Миљановић, Светомир Максимовић, Александар Милутиновић, Томо Беновић, Марјан Худеј, Бојан Димитријевић, Владимир Чебашек, Гроздана Гајић, OPTIMAL DYNAMIC MANAGEMENT OF EXPLOATATION LIFE OF THE MINING MACHINERY: MODELS WITH UNDEFINED INTERVAL Journal of Mining Science, ISSN: 1062-7391, Vol. 46, No. 4, July-August 2010, 425-430, ISSN: 1062-7391 (IF 2010=0,390).
4. Именовани ће бранити докторску дисертацију пред комисијом у саставу: др Игор Миљановић, ванр. проф.; др Слободан Вујић, ред. проф. у пензији; др Валентин Алексеевич Чантурија, ред. проф. Редовни члан Руске академије наука, Институт Руске академије наука за опште освајање земље, Москва; др Надежда Ђалић, ред. проф. Универзитета у Бањој Луци, Рударски факултет Приједор; др Мирко Вујошевић, ред. проф., редовни члан Академије инжењерских наука Србије, Универзитет у Београду – Факултет организационих наука.
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 Иван Обрадовић, ред. проф.

Достављено:

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

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији
кандидата Томе Беновића, дипл. инж. руд.

Одлуком Наставно-научног већа Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београд бр. 1/290 од 28.10.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Томе Беновића, дипл. инж. руд. под насловом

ФАЗИ МОДЕЛОВАЊЕ ЧИШЋЕЊА
УГЉА У АУТОГЕНОЈ СУСПЕНЗИЈИ

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

Томо Беновић, дипл. инж. руд., уписао је докторске студије по студијском програму Рударско инжењерство на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду (у даљем тексту РГФ) октобра 2007 (бр. индекса РС 10/07). Кандидат је поднео пријаву докторске дисертације под називом „Фази моделовање чишћења угља у аутогеној суспензији” 08.02.2013. Катедра за примењено рачунарство и системско инжењерство РГФ је истог дана,

за оцену подобности теме и кандидата, предложила комисију у саставу: проф. др Игор Миљановић, проф. др Слободан Вујић, академик проф. др Валентин Алексеевич Чантурија, проф. др Надежда Ћалић и проф. др Мирко Вујошевић. Одлуком наставно-научног већа РГФ бр. 1/84 од 26.03.2013., донетом на седници одржаној 21.03.2013., формирана је комисија у наведеном саставу. Одлуком Наставно-научног већа РГФ бр. 1/129 од 27.05.2013., донетом на седници одржаној 23.05.2013., усвојен је позитиван извештај комисије и предлог да се за ментора именује проф. др Игор Миљановић. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је одлуком бр. 61206-2807/2-13 од 10.06.2013., донетој на седници одржаној 10.06.2013., одобрило кандидату, дипл. инж. Томи Беновићу израду докторске дисертације под називом „Фази моделовање чишћења угља у аутогеној суспензији“.

Кандидат је докторску дисертацију предао студентској служби РГФ 14.10.2013. а на седници Наставно-научног већа РГФ одржаној 24.10.2013. донета је одлука бр. 1/290 од 28.10.2013. о именовању комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у следећем саставу: проф. др Игор Миљановић, проф. др Слободан Вујић, академик проф. др Валентин Алексеевич Чантурија, проф. др Надежда Ћалић и проф. др Мирко Вујошевић.

1.2. Научна област дисертације

Дисертација припада мултидисциплинарном подручју рударског инжењерства и примењеног рачунарства и системског инжењерства. За ментора докторске дисертације одређен је др Игор Миљановић, ванредни професор Рударско-геолошког факултета који је у ужој научној области којој припада дисертација као аутор и коаутор објавио већи број научних и стручних радова и монографија те поглавља у монографијама националног значаја. У часописима са SCI листе објавио је укупно 11 радова, од чега 10 из одговарајуће уже научне области.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Томо БЕНОВИЋ, рођен је 06.01.1958. у Богutowом Селу код Угљевика у Републици Српској. Основну школу завршио је у Угљевiku а гимназију у Бијељини.

Студије рударства уписао је на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Тузли 1977. а дипломирао 1981. Докторске студије на научној области Рударско инжењерство на Рударском одсеку Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду уписао је 2007.

Инжењер Беновић ради у Руднику и термоелектрани Угљевик од 1982., на оперативним и руководним инжењерским задацима. Почео је да ради као руководилац смене у Руднику, затим као технички руководилац производње угља, помоћник директора Рудника (у два мандата), помоћник директора за техничка питања, извршни директор за техничка питања, в.д. директор Рудника и термоелектрана Угљевик. Данас у Руднику и термоелектрани Угљевик ради на пословима координатора за рад са регулаторним ентитетским и државним агенцијама.

Друштвено је веома активан, био је председник Извршног одбора СО Угљевик, начелник СО Угљевик, и народни посланик у Скупштини Републике Српске. Председник је Савеза инжењера и техничара рударске, геолошке и металуршке струке Републике Српске. Као председник Савеза инжењера и техничара, веома је успешно организовао 2007. у Требињу научну конференцију Нове технологије и достигнућа у рударству и геологији.

Учествовао је у оснивању Балканске асоцијације рударских инжењера 2005. и представник је Босне и Херцеговине у Координационом комитету Балканског рударског конгреса

(BALKANMINE). Значајан допринос дао је организовању I и II Балканског рударског конгреса, одржаних 2005. у Варни (Бугарска) и 2007. у Београду.

Ожењен је и отац двоје деце са академским звањима.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Дисертација је урађена на 117 страна, садржи 56 илустрација (шема, цртежа, графикона и слика) и 12 табела. Као литературни извори послужили су изводи и текстови из 123 штампане библиографске јединице и 44 електронске публикације расположивих преко Интернет адреса. Састоји се из девет поглавља („Увод“, „Карактеристике процеса чишћења угља“, „Системски приступ у надзору и управљању рудничким производним процесима“, „Квантитативне методе у управљању процесима чишћења угља“, „Концепција и процесне примене фази логике“, „Поставка фази модела и експериментална тестирања“, „Запажања и предлог даљих истраживања“, „Закључак“ и „Литературни извори“).

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Поглавље „Увод“ садржи предмет и циљ дисертације, основне полазне поставке, програм и методологија истраживања. У поглављу су такође дати нумерички подаци о релевантним истраживањима у свету, као и структура дисертације.

Друго поглавље „Карактеристике процеса чишћења угља“ садржи преглед светских трендова на пољу процеса чишћења угља. Описани су процеси чишћења угља који се најчешће користе у индустријској пракси, изложени предности и недостаци, као и утицајни фактори на одвијање процеса и квалитет добијених производа. У тексту је посебно апострофирано чишћење угља у аутогеној суспензији са одређеним специфичностима. Посебан одељак посвећен је контроли квалитета процеса чишћења угља. У одељку посвећеном прегледу стања развоја и истраживања у овој области изложена су запажања везана за истраживачке трендове на пољу припреме, односно чишћења угља. Као водеће теме истраживања издвојене су: • Чишћење и одводњавање ситних и веома ситних класа угља, • Десулфуризација угља; • Сува валоризација угљева у областима где би испуштање воде проузроковало негативне последице по животну средину и • Надзор и управљање, са посебним акцентом на развој сензора за праћење квалитета угља.

У трећем поглављу „Системски приступ надзору и управљању рудничким производним процесима“ разматрана су основна обележја рудничких производних процеса. Као основна два обележја рудничких производних процеса издвојена су:

1. Остваривање производње у условима ризика или неизвесности
2. Вертикална хијерархијска структура са више нивоа и повратном спрегом.

Остваривање производње у условима ризика претпоставља да се производња одвија у измењивим амбијенталним условима које је могуће дефинисати вероватноћом догађања. У случајевима када постоје ситуације (стања) које се не могу дефинисати вероватноћом догађања, већ се само зна да се могу десити, реч је о производном процесу који се одвија у условима неизвесности.

Вертикална хијерархијска структура са више нивоа, може бити тополошки различито устројена. Она показује: хијерархијски распоред ентитета (подсистема) производног система, приоритетне односе и међузависности ентитета.

Повратна спрега, је својство које указује да је процес контролисан и вођен, и да су исходи, односно резултати процеса последице вођења производних и логистичких операција, Ово се остварује мониторингом процесног тока, аквизицијом и анализом података из процеса, дијагнозом стања, доношењем одлука и корективним управљачким деловањем на процес.

Мониторинг, анализа и дијагноза, као и одлучивање и управљање одвијају се синхронно са процесом како би се остварила ефикасност корективног вођења процеса. Контрола процеса не започиње само физичким отпочињањем процеса, нити се завршава добијањем излазних резултата, она треба да пружи целовиту информативну слику о производном процесу, на основу које се, након анализе, могу остварити побољшања, детектовати прикривене грешке, празни ходови и слично у производном процесу.

Такође, у поглављу се дискутују појмови оптималног решења, оптимизације процеса и оптимизационих модела. Истакнуто је да модел представља опис својства и ограничења система, исказан математичким симболима, релацијама, логичким операцијама и графичким приказима. У оперативном смислу модели могу бити намењени за рад у проширеном или реалном времену, могу бити оптимизациони или модели за израчунавања и анализе. Код оптимизационих модела, издвојени су модели за израчунавање оптималних решења и модели за оптимизацију процеса, односно оптимално вођење процеса. У првом случају, једнокритеријумском или вишекритеријумском анализом, за услове реалног проблема, дефинише (израчунава) се оптимално решење, у другом случају модел служи за праћење процеса и доношење одлука о његовој корекцији како би се одвијао по задатом (оптималном) режиму.

Поред тога размотрене су претпоставке успешног моделовања рудничких производних процеса на интегралном или сегментном нивоу, закључено је да успешно моделовање подразумева аквизицију и обраду великог броја података у реалном времену и мултиваријабилност улаза и излаза система. Улазне променљиве имају различите утицаје на понашање система и одвијања процеса, могу бити интерактивно спрегнуте са тешко мерљивим међусобним везама и врло отежаном идентификацијом приоритета и рангова утицаја. Издвојене су још две отежавајуће околности, једна је да руднички процеси у принципу, имају нелинеарна својства, која су последица ограничења, засићења, реманенције или хистерезиса процесних променљивих. И друга, да су поремећајни спољни и интерни утицаји најчешће стохастичке природе, тешко предвидљиви.

Коначно, размотрена су три основна нивоа синтезе у оквиру трагања за подацима: модел беле кутије (модел првог нивоа), модел црне кутије (емпиријски модел) и фази логички модел.

Поглавље бр. 4 „Квантитативне методе у управљању процесима чишћења угља“ говори о применама квантитативних метода у управљању процесима чишћења угља, те методама фази технике и њиховим применама.

Кандидат излаже сазнања да за напредак и побољшања постојећих и развоја нових техничко-технолошких решења чишћења угља није довољан и исплатив само технички и технолошки помак. За померање напред неопходан је и напредак у развоју и имплементацији квантитативних логистичких алата за подршку одлучивању и управљању процесима чишћења угља. У том смислу реализована су бројна истраживања о чему казују и кратки прикази више од 20 истраживања приказаних у оквиру овог поглавља. Посебан напредак уочен је на пољу идентификације утицајних фактора на процесе чишћења угља у тешкој средини. На основу изложеног и много обимнијих сазнања стечених у току реализације истраживања на овој дисертацији, изведена је генерализација закључака који говоре о

незадовољавајућим резултатима до сада реализованих истраживања и примене квантитативних метода за подршку одлучивању и управљању процесом чишћења угља. Као основни узрок, издвојена је сложеност проблема, као и поједностављени једнокритеријумском приступу у решавању задатка. Поред тога, препознате су методе вишекритеријумског одлучивања, као основ за развој нових ефикаснијих квантитативних приступа у решавању предметних проблема.

У оквиру поглавља 5 **„Концепција и процесне примене фази логике“** изложене су основни појмови концепта фази теорије скупова и фази логике, теоријске основе концепције фази логичког моделовања, са посебним освртом на процес фази закључивања и фази системе закључивања. У одељку о фази закључивању издвојени су Мамдани и Такаги-Сугено фази процеси закључивања и запажено веома значајно питање дефазификације. Издвојене су и презентоване теме истраживања у области примене фази логике у индустрији. Такође, у посебном одељку приказани су принципи развоја фази контролера на бази издвојених модела фази закључивања.

У поглављу 6, **„Поставка фази модела и експериментална тестирања“** дат је приказ поставке и развоја фази модела као и резултати дела примењених истраживања.

Истраживања у оквиру дисертације, мотивисана су намером да се проблем моделовања чишћења угља фази техником теоријски сагледа и постави хијерархијски модел управљања чишћења угља. Такође, истраживања обухватају и вредновање применљивости постављеног хијерархијског модела у реалним условима. С обзиром на енергетски значај угљеног басена Угљевика и одлично познавање минерално-сировинске базе и технологије производње угља у овом басену, Рудник и термоелектрана Угљевик са површинским копом мрко-лигнитског угља „Богutowo село” и Рапaбу постројењем за чишћење угља послужио је као тест објекат за део примењених истраживања. Део примењених истраживања изведен је виртуелно коришћењем софтверског система MATLAB.

У поглављу је представљен процес чишћења угља који се примењује на постројењу за чишћење угља Рудника и термоелектране Угљевик у оквиру кога су издвојене кључне тачке од значаја за проблеме развоја модела процеса чишћења.

У оквиру запажања изнетих у вези са управљањем процесима чишћења угља посебно место имају сазнања везана за оптимизацију и моделовање процеса чишћења угља базирана на техникама меког рачунарства. Резултати показују да су истраживања на овом пољу до недавно била усмерена ка детерминистичким квантитативним приступима који нису дали потпуно задовољавајуће резултате. Уназад петнаестак година развојна истраживања на овом пољу почињу да се оријентишу ка фазилогичким приступима на сегментним функционалним нивоима примене фази технологије у процесима припреме минералних сировина. Кандидат уочава да су главне теме инжењерско-креативне и истраживачке пажње управљачке примене ове технологије на функционалним деловима у припреми минералних сировина, као што је нпр. хомогенизација, уситњавање и класирање, чишћење угља, управљање флотацијским процесима и сл.

У овом поглављу је представљен и структурни модел чишћења угља у аутогеној суспензији. Структурним моделом, постављен је општи фазни структурни модел, као темељ анализе и сагледавања надзорно-управљачких токова у технолошком процесу чишћења угља у аутогеној суспензији и постављања концепције и развоја оптимизационог модела за подршку одлучивању и управљање овим процесом

Уочен је принцип централизованости и селективне проходности као основ за устројство физичке и логичке топологије надзорно-управљачких токова, и истакнута потреба фазификације три слоја у хијерархијско-логичкој структури (на нивоу уситњавања, чишћења угља у аутогеној суспензији и чишћења у циклонима).

Истраживање и анализе су показале да интегрисани систем за подршку одлучивању и управљању у циљу оптималног вођења процеса чишћења, треба успостављати са минимално три хијерархијска нивоа, чиме се обезбеђује:

1. Процесирање фази података;
2. Одзив у реалном времену са донетим одлукама на фази логици;
3. Варијабилност, оперативност и скалабилност система;
4. Ефикасна реализација управљачке логике;
5. Пренос података из реалног процеса према командном месту и селективно према вишим хијерархијским нивоима;
6. Обрада, интерпретација и приказ података у реалном времену;
7. Филтрација података и селективна дистрибуција;
8. Повратна дејства на кључне процесе реалног система;
9. Распоживост додатних информација (у проширеном времену).

На бази изнетог развијен је оригиналан фази модел рачунарски интегрисаног система за подршку одлучивању у циљу оптималног вођења процеса чишћења угља у аутогеној суспензији.

Фази логички модел процеса чишћења угља у циљу оптимизације процеса развијен је на примеру постројења за чишћење угља компаније „Рудник и термоелектрана Угљевик“, АД. Технолошким ограничењима процеса услед чега се одвојено третирају крупне (изнад 5 mm) и ситне класе (испод 5 mm) условљено је и „издвајање“ две гране развијеног фази модела – фази модел за крупне и фази модел за ситне класе.

Процес развоја фази модела приказан је за обе „гране“ решења. У оба случаја, издвојене су значајне променљиве, приказан је процес утврђивања реда значајности, фазификација, развој процесне матрице циклуса чишћења угља, затим утврђивање опсега вредности утицајних параметара, комбиновање фази правила у моделу чишћења.

Коначно, за обе „гране“ решења, приказани су резултати добијени развојем модела у виртуелном окружењу софтверског пакета MATLAB. Верификација резултата добијених на основу развијеног модела остварена је симулационим моделом, развијеним употребом модула Simulink софтверског пакета MATLAB који је приказан у последњем одељку овог поглавља.

У седмом поглављу, „Запажања и предлог даљих истраживања“ изнете су кључне оцене и запажања о неопходности третирања равнoг угља у циљу испуњења процесних или тржишних услова, знатном напретку оствареном у погледу хардверске опреме (сензори, системи за пренос података, рачунари), и софтверске подршке (управљање подацима, процесни модели, управљачки алгоритми) као и проблемима који су последица високог нивоа сложености материјала који се прерађује и даље постоје, услед чега процес пред стручњака, инжењера и даље поставља више питања него што нуди једноставних одговора. Издвојене су три категорије процеса којима је могуће управљати у постројењима за припрему/чишћење угља:

- Припремни - процеси ослобађања (дробљење, млевење и класирање)
- Основни - процеси раздвајања чистог угља и јаловине (сортирање, гравитацијска концентрација, флотацијска концентрација.)
- Помоћни или периферни - процеси као што су додавање, храњење, пумпање, транспорт, згушњавање, сушење, транспорт производа, запуњавање откопаних простора рудника, третирање отпадних вода, дозирање реагенса, регенерација суспензије и сл.

Закључено је да се оптимизација и управљање процеса ПМС не може вршити без минималне количине информација о улазним поремећајима (својства материјала), процесним стањима и коначном квалитету производа, чиме се дефинише уско грло управљања процесима у

постројењима за припрему/чишћење угља. Ефикасност оперативне стратегије у потпуности зависи од квалитета информација које се користе пошто се, са једне стране, користе ради изградње знања укљученог у развој модела на којима се базира стратегија управљања и, са друге стране, представљају улаз у алгоритме оптимизације и управљања у реалном времену. На основу сагледавања искустава светских истраживања, издвојене су области надзора и управљања у процесима чишћења угља које су у развоју:

- Примене експертских система;
- Аутоматске корекције података о масеним билансима за дато стање;
- Мерења величине крупноће честица за ситније класе крупноће;
- Стабилно мултиваријабилно управљање циклусима уситњавања; као и оне које се још увек налазе у почетним фазама развоја:
- Брза мерења степена ослобађања;
- Детекција и изоловање грешака;
- Интеграција управљања процесима уситњавања и концентрације/чишћења;
- Мултиваријантне технике процесног надзора;
- Стратегије управљања подацима из рудника и машина/опреме; и
- On-line употреба феноменолошких модела.

У поглављу 8, „**Закључак**“ дата је анализа и оцена оствареног и препорука за даља истраживања. Кандидат оцењује да обим и квалитет истраживања реализованих у дисертацији, омогућавају објективну и поуздану анализу и оцену оствареног, односно оцену могућности примене теорије фази скупова у решавању конкретних проблема у управљању процесима чишћења угља.

Као значајан закључак издваја се потреба синхронизације праћења, анализе и дијагнозе, као и одлучивања и управљања са самим процесом у циљу ефикасног вођења процеса. Контрола и вођење процеса остварује се мониторингом процесног тока, аквизицијом и анализом података из процеса, као и дијагнозом стања, доношењем одлука и корективним управљачким деловањем на процес. Потреба синхроног одвијања мониторинга, анализе и дијагнозе, као и одлучивања и управљања са процесом, директно утиче на ефикасност корективног вођења процеса. Контрола процеса не започиње само физичким отпочињањем процеса, нити се завршава добијањем излазних резултата, она треба да пружи целовиту информативну слику о производном процесу, на основу које се, након анализе, могу остварити побољшања, детектовати прикривене грешке, празни ходови и слично у производном процесу.

Такође, издвајамо закључак који се односи на расположивост математичких модела који прецизно описују стање и динамичке карактеристике процеса у целокупном оперативном опсегу, укључујући и његово нелинеарно понашање. Задовољавајући математички модели нису развијени за велики број процеса који се одвијају у постројењима ПМС, самим тим и у постројењима за чишћење угља. Један од праваца развоја математичких модела процеса чишћења угља са великим потенцијалом су методе меког рачунарства, посебно фази логика.

У поглављу девет, „**Литературни извори**“, наведене су коришћене референце у штампаном и електронском облику. Према резултатима претраживања Аутора на Интернету, кључне речи управљање чишћењем угља и теорија фази скупова и фази логика у рударству, имале су одзив од преко милион библиографских и фактографских јединица. Ужим фокусирањем на подручје примене фази теорије у проблемима везаним за процесе чишћења угља, број јединица знатно се смањује, на око 200, од којих је издвојено и у току истраживања коришћено 167.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Истраживања у дисертацији карактерише актуелност. Предметна тема припада области савремених истраживања примена фази теорије у рударству. Актуелност теме потврђује заступљености проблематике у научним часописима, на стручним и научним скуповима, у књигама и на Интернету. У порасту су данас истраживања везана за примене фази логике и фази закључивања у моделовању и/или оптимизацији процесних проблема различитих грана индустрије. Специфичности чишћења угља, имале су утицаја на несразмеру између значаја и обима истраживања посвећених моделовању и оптимизацији процеса чишћења методама меког рачунарства. Обзиром да је ово прва дисертација са овом тематиком у нашој земљи, осим савремености и оригиналност, дисертација има и не мању значајну побудну и афирмативну функцију.

Са теоријског становишта, обрађен је фази модел процеса чишћења угља у аутогеној суспензији применљив у индустријским условима. Експериментална истраживања и резултати добијени у овом раду, у потпуности афирмишу одабрани приступ и потврђују полазну претпоставку о могућностима примене у индустрији минерала. Значај реализованих истраживања у практичном погледу огледа се у могућности примене резултата код одлучивања и управљања индустријским постројењима за чишћење угља у аутогеној суспензији.

Оригиналност истраживања презентованог у овој дисертацији огледа се у примени фази методе закључивања на моделовање процеса чишћења угља у аутогеној суспензији.

Примене фази логике у припреми минералних сировина, данас у пракси углавном почињу и завршавају се на применама фази контролера, нарочито код уситњавања и хомогенизације минералних сировина. Остварени су почетни резултати у флотацијској концентрацији, а у чишћењу угља налазе се у повоју, упркос теоријским сазнањима који указују на високу потенцијалност примене фази логике. У том смислу, осим оригиналности понуђеног приступа, докторска дисертација чини један од првих корака који упућује на конкретне могућности практичне примене фази логике код чишћења угља у аутогеној суспензији.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Теме везане за истраживања на пољу процесних примена метода фази технике у припреми минералних сировина и у рударству, израженије су у стручној јавности у последњих неколико година. Претраживањем одговарајућих електронских библиотека и база података, утврђен је знатан број стручних и научних радова и других публикација са темама блиским области која је предмет истраживања ове дисертације.

У списку литературних извора коришћених током израде ове дисертације наведене су 123 референце, од чега 26 монографских издања или поглавља у монографијама, 53 рада у часописима, 40 радова објављених на научним и стручним скуповима, и 4 пројекта, студије и/или елабората. Од наведених референци 43 је објављено у последњих 10 година (2003-2013), од чега чак 19 у последње три године (2010-2013), што такође потврђује актуелност предметне дисертације. У списку литературних извора налази се 7 радова у којима је кандидат аутор или коаутор. Поред овога, наведена је и листа са 44 интернет адресе које су послужиле као литературни извори током израде докторске дисертације.

Бројност и различитост коришћених литературних извора указује на методичност кандидата у анализи оствареног на предметном пољу.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања, примерена постојећим условима, прилагођена је теми, програму и циљевима истраживања. У истраживањима на теми дисертације, примењен је адекватан комбинован научни приступ са циљевима: сагледавање и оцена остварених достигнућа и трендова истраживања на предметном пољу; на критичком односу према сазнањима градња сопственог погледа и приступа у истраживањима; постављање и развој оригиналног алгоритма и симулационог фази модела чишћења угља у аутогеној суспензији; тестирање и провера практичне применљивости развијеног модела; анализа и оцена оствареног са идентификацијом потенцијалних праваца даљих истраживања.

Развој симулационог модела, обухватио је пет етапа: дефинисање концепције модела, идентификацију обележја процеса, фазификацију технолошких и техничких параметара процеса, развој блок дијаграма-симулационог модела, покретање и тестирање модела.

Резултати истраживања представљени су комбиновано, текстом, графичким приказима, алгоритамским шемама и табеларно. У погледу дисциплинарности, истраживања имају мултидисциплинарни карактер с обзиром да синтетзују знања две научне области: системско инжењерство и рударство са акцентом на чишћење угља у аутогеној суспензији.

3.4. Применљивост остварених резултата

Постављени структурни модел за подршку управљању и оптимизацију процеса чишћења угља у реалном времену и на основу њега развијен симулациони модела чишћења угља у аутогеној суспензији, имају практичну применљивост, што је верификовано тест експериментима изведени на примеру постројења за чишћење угља компаније „Рудник и термоелектране Угљевик“. Другим речима симулиран је реални процес, што је обезбедило основу за објективну компаративну анализу моделских и резултата стварног процеса у постројењу за чишћење угља.

Тест експериментални резултати показују високу, готово функционалну корелативност између моделских улазних и излазних показатеља, са коефицијентима корелације већим од 0,87, и моделских и стварних процесних показатеља са највећим одступањем до 11%. Овакав позитиван исход експерименталних тестова развијеног фази модела процеса чишћења угља у аутогеној суспензији, на примеру предметног постројења сложен је на: поузданост и квалитет улазних података из реалног процеса; адекватно постављен процесни алгоритам и структурни модел процеса; и коректно изведену фазификацију проблема.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је стручњак са великим оперативним и руководним искуством у рударству, један је од водећих рударских стручњака у Републици Српској.

Током реализације истраживања на дисертацији, способност кандидата за самосталан рад исказана је кроз систематичност и аналитичност у приступу, способност диференцирања погледа на проблем, у креативном тражењу решења и критичким односом према оствареном. Остварене резултате, кандидат је са успехом представио у радовима објављеним у часописима и на стручним и научним скуповима. Из изнетог, произилази логичан закључак да колега Томо Беновић, поседује знање, искуство и способност за самосталан инжењерски и научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Планирана истраживања су у потпуности остварена. Проблем моделовања и оптимизације процеса чишћењем угља применом фази логике представља отворено подручје за истраживања. Кључни научни допринос дисертације огледа се у: постављеном оригиналном фази структурном моделу за подршку управљању и оптимизацију процеса чишћења угља у реалном времену; развијеном симулационом моделу за чишћење угља у аутогеној суспензији; и исходним резултатима применљивим у пракси.

Обим и садржајност изведених истраживања допушта објективно генерисање кључних оцена и закључака:

1. Имплементација савремених фази математичких алата у циљу подршке одлучивању и управљању у индустрији угља још увек је на иницијалном нивоу;
2. У процесу чишћења угља, неопходно је увести управљање квалитетом већ у процесу експлоатације са циљем одржавања квалитета равнoг угља у заданим границама;
3. Ефикасност система за надзор и управљање од суштинског је значаја за ефекте рада постројења за чишћење угља;
4. У основи концепције управљања и оптимизације процеса чишћења угља су математичко-моделски алати који коректно апроксимирају стања и динамику процеса у задатим оперативним границама. Један од праваца математичког моделовања чишћења угља, великих и недовољно истражених потенцијала, је меко рачунарство са фази логиком;

Објављивањем рада FUZZY MODEL OF AUTOGENOUS SUSPENSION COAL CLEANING, у часопису Archives of Mining Sciences, Vol. 57 (2012), стручној јавности су презентовани у практично интегралном облику резултати експерименталног дела дисертације. Значајно је напоменути да је рад, иако објављен пре свега неколико месеци, већ цитиран у другим часописима са SCI листе.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу анализе текста дисертације, постављене хипотезе, циљева и остварених резултате, констатујемо да је кандидат успешно одговорио на питања од суштинског значаја за предметна истраживања. Структурни модел за подршку управљању и оптимизацију и фази симулациони модел чишћења угља у атогеној суспензији, као мостови између "теоријске и практичне обале" представљају два кључна резултата истраживања у оквиру дисертације. У инжењерском погледу, исходни резултати истраживања имају доказану применљивост.

4.3. Верификација научних доприноса

У току реализације истраживања у оквиру дисертације, колега Томо Беновић је као аутор или коаутор, објавио више радова везаних за предметну тематику или као непосредних приказа остварених резултата:

а) Категорија M22

1. Slobodan Vujić, **Tomo Benović**, Igor Miljanović, Marjan Hudej, Aleksandar Milutinović, Petar Pavlović, FUZZY LINEAR MODEL FOR PRODUCTION OPTIMIZATION OF MINING SYSTEMS WITH MULTIPLE ENTITIES, International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, University of Science and Technology Beijing, PR China, Vol. 18, Number 6, Dec 2011, 633-637, ISSN: 1674-4799 (**IF 2011=0.691**).

б) Категорија M23

1. Slobodan Vujić, Igor Miljanović, Svetomir Maksimović, Aleksandar Milutinović, **Tomo Benović**, Marjan Hudej, Bojan Dimitrijević, Vladimir Čebašek, Grozdana Gajić, OPTIMAL DYNAMIC MANAGEMENT OF EXPLOITATION LIFE OF THE MINING MACHINERY: MODELS WITH UNDEFINED INTERVAL Journal of Mining Science, ISSN: 1062-7391, Vol. 46, No. 4, July-August 2010, 425-430, ISSN: 1062-7391 (**IF 2010=0.390**).
2. **Tomo Benović**, Igor Miljanović, Slobodan Vujić, FUZZY MODEL OF AUTOGENOUS SUSPENSION COAL CLEANING, Archives of Mining Sciences, Vol. 57 (2012), No. 4, 821-838, ISSN: 0860-7001, DOI: 10.2478/v10267-012-0055-9, (**IF 2012 = 0,319**).

в) Категорија M33

1. Igor Miljanović, **Tomo Benović**, Svetomir Maksimović, Aleksandar Petrovski, Milena Josipović Pejović, FUZZY MANAGEMENT IN COAL CLEANING, Zbornik radova III Međunarodnog simpozijuma energetsko rudarstvo - ER 2010, Banja Junaković, 8-11.09.2010., ISBN 978-86-7352-215-9, 282-287.
2. Slobodan Vujić, Igor Miljanović, **Tomo Benović**, Aleksandar Milutinović, Aleksandar Petrovski, Milena Josipović Pejović, FUZZY MODEL OF A MULTIGRADE STRUCTURE FOR SUPPORT OF DECISION-MAKING AND MANAGEMENT IN MINERAL PROCESSING, Proceedings, 35th APCOM Symposium, editors: E. Y. Baafi, R. J. Kininmoth, I. Porter, 24-30.09.2011, University of Wollongong, Australia, ISBN: 978 1 921522 51 2, pp. 485-490.
3. **Tomo Benović**, Igor Miljanović, Grozdana Gajić, Svetomir Maksimović, Aleksandar Milutinović, SOFT COMPUTING OPTIMIZATION IN THE COAL INDUSTRY, 4th Balkan Mining Congress BALKANMINE 2011, Ljubljana, Slovenia, 18-20.20.2011., ISBN 978-961-269-534-7, pp. 643-647.

г) Категорија M53

1. Igor Miljanović, Aleksandar Petrovski, **Tomo Benović**, MODULAR HIERARCHICAL STRUCTURE OF THE SURVEILLANCE-MANAGEMENT SYSTEM AT THE "BOGUTOVO SELO" OPEN PIT MINE, Annual of University of Mining and geology "St. Ivan Rilski", Part II: Mining and mineral processing, Vol. 51, Sofia, Bulgaria, ISSN 1312-1820, 2008, (157-160).

д) Категорија M63

1. Igor Miljanović, Aleksandar Petrovski, **Tomo Benović**, Svetomir Maksimović, Aleksandar Milutinović, Milena Josipović-Pejović, FORMIRANJE FAZI VERBALNOG MODELA PROCESA PRIPREME MINERALNIH SIROVINA, XXXVII SYMOPIS, Tara, 21-24. septembar 2010., 643-646., ISBN 978-86-335-0299-3.
2. **Tomo Benović**, Igor Miljanović, Aleksandar Milutinović, Milena Josipović Pejović, Grozdana Gajić, RAZVOJ FAZI MODELA PROCESA ČIŠĆENJA UGLJA U AUTOGENOJ SUSPENZIJI, 38. Simpozijum o operacionim istraživanjima SYMOPIS, Zlatibor, 04.10-07.10.2011., 643-645, ISBN 978-86-403-1168-7.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација под насловом "ФАЗИ МОДЕЛОВАЊЕ ЧИШЋЕЊА УГЉА У АУТОГЕНОЈ СУСПЕНЗИЈИ" урађена је у складу са образложењем и програмом у пријави теме, и садржи све елементе захтеване стандардима Универзитета у Београду и Рударско-геолошког факултета. Кандидат Томо Беновић, испуњава све законске и нормативно предвиђене услове, укључујући и публикавање резултата истраживања у водећим међународним часописима.

Тема докторске дисертације припада мултидисциплинарној области системских наука и рударства, карактерише је актуелност у научном и практичном погледу. Обзиром да је ово прва дисертација са оваквом тематиком у нашој земљи, она осим савремености и оригиналности, има и не мању значајну побудну и афирмативну функцију.

Научни допринос дисертације огледа се у постављеном оригиналном фази структурном моделу за подршку управљању и оптимизацију процеса чишћења угља у реалном времену, и развијеном фази симулационом моделу за чишћење угља у аутогеној суспензији. Експериментални тестови изведени на примеру постројења за чишћење угља компаније „Рудник и термоелектране Угљевик“ потврђују валидност и практичну применљивост резултата истраживања, односно развијених модела.

На основу анализе докторске дисертације, Комисија је закључила:

1. Предметна докторска дисертација представља научно-истраживачки рад, актуелан и значајан за системске науке и рударство са фокусом на чишћења угља у аутогеној суспензији.
2. Комисија предлаже Наставно-научном већу Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, да прихвати докторску дисертацију под називом "ФАЗИ МОДЕЛОВАЊЕ ЧИШЋЕЊА УГЉА У АУТОГЕНОЈ СУСПЕНЗИЈИ" и колеги Томи Беновићу, одобри усмену одбрану

Београд,
01.11.2013.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

др Слободан Вујић, редовни професор у пензији,
Редовни члан Академије инжењерских наука Србије
Помоћник директора за науку, Рударски Институт Београд

др Валентин Алексеевич Чантурија, редовни професор
Редовни члан Руске академије наука,
Институт Руске академије наука за опште освајање земље, Москва

др Надежда Ћалић, редовни професор
Редовни члан Академије инжењерских наука Србије
Универзитет у Бања Луци, Рударски факултет Приједор

др Мирко Вујошевић, редовни професор
Редовни члан Академије инжењерских наука Србије
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука