

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Образац 1.

1356/5
(Број захтева)

Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)

04.09.2014.
(Датум)

ЗАХТЕВ
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да сходно чл. 46. ст.5. тач.3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације

МОДЕЛИРАЊЕ ПРОЦЕСА ОДСУМПОВАЊА ГАСОВА УНОШЕЊЕМ СПРАШЕНОГ
СОРБЕНТА У ЛОЖИШТЕ ЕНЕРГЕТСКОГ КОТЛА НА УГЉЕНИ ПРАХ
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Термотехника

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: ИВАНА (ДРАГАН) ТОМАНОВИЋА

2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд

3. Година дипломирања: 2010.

4. Назив магистарске тезе кандидата: /

5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: /

6. Година одбране магистарске тезе: /

7. Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: /

Година уписа докторских студија: 2010.

Обавештавамо Вас да је Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)

на седници одржаној 04.09.2014
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем.

2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 1356/5
Датум: 04.09.2014. године
Београд, Краљице Марије 16

На захтев Ивана Томановића, дипл.инж.маш., бр. 1356/1 од 30.06.2014. године, извештаја Комисије у саставу: проф.др Драган Туцаковић, проф.др Драгослава Стојиљковић и др Срђан Белошевић, научни саветник ИНН Винча Београд број 1356/4 од 01.09.2014. године, а на основу чл. 30 Закона о високом образовању и чл. 30 Правилника о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду на седници од 04.09.2014. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације **«МОДЕЛИРАЊЕ ПРОЦЕСА ОДСУМПОВАЊА ГАСОВА УНОШЕЊЕМ СПРАШЕНОГ СОРБЕНТА У ЛОЖИШТЕ ЕНЕРГЕТСКОГ КОТЛА НА УГЉЕНИ ПРАХ»** докторанта **ИВАНА ТОМАНОВИЋА**, дипл.инж.маш.

За ментора докторанту Ивану Томановићу, именује се **проф.др Драган Туцаковић**.

Одлуку доставити: Већу Научних области техничких наука Универзитета у Београду на сагласност, ментору и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата Ивана Томановића, дипл. инж. маш. за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа бр. 1356/3 од 17.07.2014. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Ивана Томановића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Моделирање процеса при одсумпоравању гасова уношењем спрашеног сорбента у ложиште енергетског котла на угљени прах“**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Кандидат Иван Томановић рођен је 16. марта 1986. Године у Београду, Република Србија. Основну школу „Светозар Милетић“ похађао је у Београду, општина Земун. Матурирао је на природно-математичком смеру у Земунској Гимназији. Упоредо са основном и гимназијским образовањем похађао је и завршио курс енглеског језика. Машински факултет Универзитета у Београду уписао је школске 2005/06. године. На истом факултету стекао је 2008. године звање инжењер машинства, а 2010. године звање дипломирани инжењер машинства на смеру Термотехника одбраном дипломског рада.

Школске 2010/11. године уписао је докторске студије на Машинском Факултету Универзитета у Београду.

Од септембра 2010. године запослен је у Лабораторији за термотехнику и енергетику, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Универзитета у Београду, где је активно ангажован као истраживач на пројекту финансираном од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја под насловом „Повећање енергетске и еколошке ефикасности процеса у ложишту за угљени прах и оптимизација излазне грејне површине енергетског парног котла применом сопствених софтверских алата“ ТР-33018 у трајању 2011. до 2015. године.

Објавио је већи број радова који су публиковани у научним часописима или саопштени на међународним конференцијама и штампани у зборницима радова.

Члан је Друштва термичара Србије и Савеза машинских и електротехничких инжењера и техничара Србије.

Говори течно енглески језик и познаје основе немачког језика. Поседује искуство у програмирању и употреби инжењерских софтверских пакета.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Иван Томановић је уписао докторске студије на Машинском Факултету Универзитета у Београду школске 2010/11. године. У оквиру докторских студија на Машинском факултету у Београду кандидат је положио предмете: ОМНИР и комуникација, Виши курс математике, Нумеричке методе, Струјно-техничка мерења, Екологија сагоревања, Хидродинамика парних котлова, Постројења за припрему угљеног праха, Преношење топлоте и супстанције – нумерички приступ, Одабрана поглавља из механике флуида. Кандидат је успешно испунио све обавезе на предметима Истраживање и публикавање I, II, III и IV. Пројекат идеје докторске дисертације, у складу са Правилником о Докторским студијама, кандидат је успешно урадио и одбранио.

Преглед положених испита кандидата, са просечним оценама, бројем ЕСПБ бодова и именима предметних наставника

Ред. бр.	Назив предмета	Предметни наставник	Година студија (ЕСПБ)				Оцена испита
			1. година		2. година		
			I	II	III	IV	
1.	Виши курс математике (1.1.5)	проф. др Стојан Раденовић	5				10 (десет)
2.	Нумеричке методе (1.2.5)	проф. др Миодраг Спалевић	5				10 (десет)
3.	ОМНИР и комуникација (1.3.5)	проф. др Милош Недељковић	5				10 (десет)
4.	Струјно-техничка мерења (1.4.5)	проф. др Мирослав Бенипшек	5				10 (десет)
5.	Одабрана поглавља из механике флуида (2.1.5)	проф. др Светислав Чантрак		5			10 (десет)
6.	Преношење топлоте и супстанције – нумерички приступ (2.2.5)	проф. др Милош Бањац		5			10 (десет)
7.	Екологија сагоревања (2.3.5)	проф. др Драгослава Стојиљковић		5			10 (десет)
8.	Постројења за припрему угљеног праха (3.1.5)	проф. др Титослав Живановић			5		10 (десет)
9.	Хидродинамика парних котлова (3.2.5)	проф. др Драган Туцаковић			5		10 (десет)
10.	Истраживање и публикавање I (Лабораторија I) (1.5.10)	проф. др Драган Туцаковић	10				10 (десет)
11.	Истраживање и публикавање II (Лабораторија II) (2.4.15)	проф. др Драган Туцаковић		15			10 (десет)
12.	Истраживање и публикавање III (Лабораторија III) (3.3.20)	проф. др Драган Туцаковић			20		10 (десет)
13.	Истраживање и публикавање IV (Лабораторија IV) (4.1.8)	проф. др Драган Туцаковић				8	10 (десет)
14.	Пројекат идеје докторске дисертације (4.2.22)	проф. др Драган Туцаковић				22	10 (десет)

Просечна оцена кандидата на докторским студијама је 10,00 (десет).

Списак објављених радова и пројеката у вези са темом докторске дисертације:

1.2.1. Радови објављени у међународном часопису (M21):

1. Belosevic S., Beljanski V., Tomanovic I., Crnomarkovic N., Tucakovic D., Zivanovic T.: *Numerical Analysis of NO_x Control by Combustion Modifications in Pulverized Coal Utility Boiler*, Energy & Fuels, Vol 26, No 1, 2012, pp. 425-442, <http://dx.doi.org/10.1021/ef201380z>
2. Belošević S., Tomanović I., Beljanski V., Tucaković D., Živanović T.: *Numerical prediction of processes for clean and efficient combustion of pulverized coal in power plants*, Applied Thermal Engineering, In Press, 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.11.019>,

1.2.2. Радови саопштени на скуповима међународног значаја, штампани у целини (M33):

3. Stanković B., Belošević S., Sijerčić M., Crnomarković N., Beljanski V., Tomanović I., Stojanović A.: *Investigation of fully developed plane turbulent channel flow by means of Reynolds stress models*, Proceedings (Eds. Stevan Maksimović and Tomislav Igić), The 3rd International Congress of Serbian Society of Mechanics, IConSSM 2011, Vlasina Lake, Serbia, 5-8 July 2011, paper B-12, pp. 321-338,
4. Beljanski V., Tomanović I., Belošević S., Sijerčić M., Stanković B., Crnomarković N., Stojanović A.: *Numerical prediction of overfire air influence on FEGT and NO_x emission in 350 MWe pulverized coal utility boiler*, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-6055-018-9), 15th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, Sokobanja, Serbia, 18-21 October 2011, pp. 103-112,
5. Stupar G., Tucaković D., Živanović T., Banjac M., Belošević S., Beljanski V., Tomanović I., Crnomarković N., Sijerčić M.: *The influence of primary measures for reducing NO_x emissions on energy steam boiler efficiency*, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-88-6655-322-9), 25th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems - ECOS 2012, Perugia, Italy, March 25th - March 30th, 2012, p. from 125-1 to 125-13,
6. Tucaković D., Živanović T., Stupar G., Banjac M., Belošević S., Crnomarković N., Tomanović I., Beljanski V.: *A computer code for the utility boiler thermal calculation*, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-7877-021-0), International Conference Power Plants 2012, Zlatibor, Serbia, October 30th - November 2nd, 2012, Paper No. E2012-081, pp. 948-960,
7. Tucaković D., Živanović T., Stupar G., Banjac M., Belošević S., Crnomarković N., Tomanović I., Beljanski V.: *Impacts of certain parameters on work efficiency of utility boiler in block 2 TPP Kostolac B*, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-7877-021-0), International Conference Power Plants 2012, Zlatibor, Serbia, October 30th - November 2nd, 2012, Paper No. E2012-082, pp. 961-971,
8. Stojanović A., Belošević S., Stanković B., Crnomarković N., Tomanović I., Beljanski V.: *Overview of dry flue gas desulfurization technologies for pulverized coal-fired boilers*, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-7877-021-0), International Conference

Power Plants 2012, Zlatibor, Serbia, October 30th - November 2nd, 2012, Paper No. E2012-096, pp. 1063-1073,

9. Beljanski V., Tomanović I., Belošević S., Sijerčić M., Stanković B., Crnomarković N., Stojanović A.: *Sulfation reaction modeling of Ca-based sorbent*, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-7877-021-0), International Conference Power Plants 2012, Zlatibor, Serbia, October 30th - November 2nd, 2012, Paper No. E2012-086, pp. 1001-1012,
 10. Tomanović I., Beljanski V., Belošević S., Sijerčić M., Stanković B., Crnomarković N., Stojanović A.: *Modelling and optimisation of desulphurisation process by direct sorbent injection in furnace of pulverised coal utility boiler*, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-7877-021-0), International Conference Power Plants 2012, Zlatibor, Serbia, October 30th - November 2nd, 2012, Paper No. E2012-087, pp. 1013-1024,
 11. Tomanović I., Belošević S., Stojanović A., Tucaković D., Živanović T.: *Alternative modeling approaches to sulfation reactions of calcium based sorbents injected in the pulverized coal furnace*, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-6055-043-1), 16th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, Sokobanja, Serbia, 22-25 October 2013, pp. 65-72,
 12. Stojanović A., Stevanović V., Živković D., Pezo M., Tomanović I.: *Review of Critical Heat Flux Predictions*, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-6055-043-1), 16th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, Sokobanja, Serbia, 22-25 October 2013, pp. 293-304,
- 1.2.3. Радови објављени у водећем часопису националног значаја (M51):
13. Stojanović A., Belošević S., Stanokvić B., Crnomarković N., Tomanović I., Beljanski V.: *Suvi postupci odsumporavanja dimnih gasova kotlova na spraseni ugalj - karakteristike i efikasnost*, Termotehnika, Vol XXXVIII, No 1, 2012, pp. 61-80,
- 1.2.4. Техничка решења – нови софтвер (M85):
14. Belošević S., Sijerčić M., Beljanski V., Tomanović I., Crnomarković N., Stanković B., Stojanović A.: *Софтвер за симулацију процеса настајања и редуције NO_x у ложишту котла за сагоревање спрашеног угљеног праха*, нови софтвер, карактер техничког решења: математички модел, нумерички алгоритам и компјутерски програм, корисник ЈП „Електропривреда Србије“ на основу пројекта Министарства за просвету, науку и технолошки развој ТР-33018 (Примена за симулацију процеса у ложишту парног енергетског котла блока ТЕ Костолац Б-2 при различитим погонским ситуацијама), решење је реализовано: 2012,
- 1.2.5. Учесће у научно-истраживачким пројектима финансираним од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије:
15. У пројектном циклусу, у периоду од 2011. до 2015. године учешће на пројекту „Повећање енергетске и еколошке ефикасности процеса у ложишту за угљени прах и оптимизација излазне грејне површине енергетског парног котла применом

сопствених софтверских алата“ ТР-33018, под покровитељством Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

У оквиру својих досадашњих стручних и научно-истраживачких активности кандидат је испољио квалитете, заинтересованост и способност за научно-истраживачки рад у области машинства – термотехнике, којој припада предложена тема докторске дисертације.

Изразит смисао кандидата да се бави теоријским, експерименталним, а нарочито нумеричким истраживањима посвећеним развоју и примени сложених математичких модела и софтвера, исказан је кроз радове објављене у часописима, на конференцијама и у форми техничког решења, као и учешћем на пројектима Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Два објављена рада кандидата налазе се у часописима који се налазе на СЦИ листи и припадају категорији врхунских међународних часописа.

Суштинска повезаност досадашњих објављених радова са облашћу којој припада тема предложене докторске дисертације, као и истраживачка делатност у тој области квалификују кандидата за успешан и ефикасан рад на предложеној теми.

На основу биографских података кандидата, положених испита и одбрањеног пројекта о идеји докторске дисертације на докторским студијама, као и његових научних и стручних активности и објављених радова, Комисија сматра да је кандидат подобан за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања дисертације обухвата развој математичког модела и рачунарског кода за симулацију комплексних процеса при одсумпоровању димних гасова применом поступка додавања спрашеног сорбента на бази калцијума у ложиште парног котла за сагоревање угљеног праха, нумеричку анализу процеса и испитивање могућности оптимизације предметног поступка одсумпоровања.

Емисија сумпор-диоксида (SO_2) и појава киселих киша неки су од најизраженијих еколошких проблема који настају као последица сагоревања фосилних горива, па је њихово решавање неопходно, како при изградњи нових, тако и при ревитализацији и вођењу постојећих термоенергетских постројења. За одсумпоровање димних гасова постоји више поступака, од којих су најефикаснији влажни скруберски поступци, али захтевају висока финансијска улагања, а подразумевају и велику потрошњу воде што такође може бити проблем. Суви поступци, у које спада и убацивање честица сорбента у ложиште парног котла, имају мању ефикасност, али су знатно економичнији и нарочито погодни при ревитализацији и продужењу радног века постројења. Процес одсумпоровања овим поступком заснива се на реакцији SO_2 са честицама спрашеног сорбента. Могу се користити засебно, али и у комбинацији са другим поступцима. Спрашени кречњак и доломит су најдоступнији, па и најчешће коришћени сорбенти. У зависности од организације сагоревања, у ложиште се директно могу уносити кроз посебне отворе изнад зоне пламена, или са угљеним прахом кроз линију за гориво.

Постоји несразмера између потребних параметара за ефикасну примену система за одсумпоровање унутар ложишта и расположивих информација. Процес се одиграва у комплексним условима међусобно повезаних симултаних процеса струјања, сагоревања и размене топлоте, па одвојено разматрање процеса одсумпоровања не обезбеђује поуздана решења. Превазилажење ових проблема омогућава метода математичког моделирања дајући читав низ детаљних неопходних информација.

Моделирање одсумпоровања димних гасова у реалној геометрији ложишта засновано је на нумеричком решавању транспортних једначина учествујућих варијабли, узимајући у обзир струјно-термичке процесе, сагоревање спрашеног угља и реакције калцинације, синтеровања и сулфатизације честица сорбента. Подмодел процеса који се одигравају при реаговању честице сорбента уграђује се у комплексни диференцијални модел и алгоритам за предвиђање тродимензионалног, двофазног, турбулентног, реактивног тока, са конвективно-радијационом разменом топлоте и масе у ложишту. Вишекомпонентна континуална фаза се разматра у Ојлеровом пољу. За затварање система парцијалних диференцијалних једначина гасне фазе користи се k - ϵ модел турбуленције. Повезивање гасне и дисперзне фазе изводи се помоћу PSI-CELL концепта, у коме се утицај чврсте фазе узима у обзир преко посебних изворних чланова у транспортним једначинама за гасну фазу. Чврста фаза је описана обичним диференцијалним једначинама кретања, енергије и промене масе честице у Лагранжеевом пољу. Размена топлоте радијацијом је описана моделом „шест флуксева“. Хетерогене реакције сагоревања разматрају се у кинетичко-дифузионом режиму, у склопу брзине промене масе индивидуалних честица угља. Струјање у близини зидова је описано „зидним функцијама“. За спрезање једначина континуитета и количине кретања помоћу корекције притиска примењен је SIMPLE алгоритам. Парцијалне диференцијалне једначине се дискретизују методом контролних запремина и применом хибридне шеме, а добијени систем алгебарских једначина се решава одговарајућим алгоритмом.

Предметно ложиште у моделу је са одвођењем шљаке у чврстом стању и односи се на енергетски котао у коме се помоћу тангенцијално постављених млазних горионика сагорева спрашени лигнит. У зависности од количине сагорљивог сумпора у гориву мења се и концентрација SO_2 на излазу из котла. Моделом се разматра утицај уношења у ложиште

честица сорбента на бази калцијума, у овом случају кречњака (CaCO_3) или креча (CaO), на могућност редукције емисије SO_2 при различитим струјно-термичким условима. Потребно је обезбедити да локална температура гаса дуж путање честице кроз ложиште не доведе до деактивације, или успорења реакције сулфатизације сорбента, али и оптимизовати читав низ других радних услова у ложишту, као што су величина честица сорбента и организација сагоревања угља и самог поступка одсумпоравања.

Основни циљ истраживања је развој математичког модела реакција честица сорбента (које обухватају њихову калцинацију, синтеровање и сулфатизацију) и пратећих процеса, при променљивим температурама и другим реалним радним условима унутар ложишта енергетског котла и провера модела ради могуће примене у техничкој пракси.

Генерално, циљеви истраживања предвиђених дисертацијом су и научни и практични, а обухватају:

- избор оптималног приступа моделирању реакција калцинације, синтеровања и сулфатизације честице сорбента на бази калцијума, проверу нумеричке имплементације и валидацију модела предметних реакција,
- развој и унапређење математичког модела и нумеричког кода за симулацију процеса при одсумпоравању ложишних гасова поступком уношења спрашеног сорбента на бази калцијума у ложиште енергетског котла на угљени прах,
- адекватну верификацију нумеричког кода и валидацију прорачуна и комплексног модела процеса са циљем поуздане примене модела и
- нумеричку оптимизацију предметног поступка одсумпоравања и одговарајућих струјно-термичких процеса и хемијских реакција, са аспекта редукције емисије SO_2 и енергетске ефикасности процеса у ложишту котла.

Подмодел којим се описује комплексни процес одсумпоравања димних гасова поступком уношења честица сорбента на бази калцијума у ложиште заснива се на нумеричкој имплементацији различитих модела реакција калцинације, синтеровања и сулфатизације честице сорбента, чији ће преглед и критичка анализа представљати основу за избор оптималног приступа моделирању. Истраживања у предложеној тези надовезују се на диференцијални 3D математички модел, нумерички код и рачунарски програм, развијен у оквиру претходних истраживања, којим се моделирају струјање и други процеси у ложишту енергетског парног котла. Предметно котловско ложиште и модел одговарајућих процеса приказани су у радовима [1-3]. У претходном периоду у програм је додат и модел настанка и деструкције оксида азота [1]. Битан циљ истраживања у оквиру тезе је имплементација новог модела процеса и реакција везаних за одсумпоравање у оквиру комплексног компјутерског програма. Потребно је прилагодити модел, инкорпорирати га у модел комплексних процеса у ложишту и омогућити његову примену у симулацијама реалног постројења у коме постоји стална промена температуре, концентрације SO_2 и других параметара.

Један од првих, најпознатијих и, због релативне једноставности, највише коришћених приступа представио је Borgwardt [4] у оквиру тзв. модела непрореагованог језгра (unreacted shrinking core model-USCM), који се може назвати емпиријским моделом, а претпоставља да цела честица реагује по спољашњој површини, уз промену пречника унутрашњег непрореагованог језгра CaO . Стога је овај модел усвојен као полазна основа. Приказ имплементације Borgwardt-овог модела детаљније је дат у [5,6,7]. Показује добре резултате при симулацијама са крупнијим честицама, али због недостатка података за ситније честице није могуће прецизно одредити битне коефицијенте који утичу на ток реакције.

Ради проширења домена примене модела на честице сорбента произвољне величине и поузданијег моделирања све три учествујуће реакције, тј. калцинације, синтеровања и сулфатизације, посебно ће се детаљно испитати могућност имплементације модела

делимично синтерованих сфера (partially sintered spheres model-PSSM), који су predstavili Lindner и Simonsson [8], са применом на реакције CaO са SO_2 . Alvfors и Svedberg [9,10] применили су овај модел у нешто сложенијем облику на изотермне реакције сумпор диоксида са сорбентом на бази калцијума. Модел подразумева да се честица сорбента састоји од независних зрна на којима се симултано одвијају процеси калцинације, синтеровања и сулфатизације. Alvfors и Svedberg су извели низ нумеричких експеримената који подразумевају изотермне услове и константну концентрацију SO_2 у околини честице. Ово донекле отежава директну примену модела, обзиром да се у неизотермним условима у ложишту појављује рачунска нестабилност и стога се одговарајућим нумеричким решењима мора извести стабилизација промене прорачунских величина на честици између временских корака при нумеричком праћењу честице. Самостална имплементација модела сулфатизације је приказана у [11] и служи за његову проверу поређењем са нумеричким експериментима приказаним код Alvfors-а и Svedberg-а [9,10]. Постоји још неколико приступа моделирању проблема реакције гасне фазе и сорбента, као што су модели приказани у [12-14], али се претходно описани модел намеће као један од најпогоднијих, јер омогућава моделирање широког спектра честица сорбента, различитих величина, састава и осталих релевантних карактеристика. Даје и могућност испитивања веома ситних честица (реда величине неколико микрометара), чије се квалитативно дејство применом Borgwardt-овог емпиријског модела не може испитати.

Извод из литературе релевантне за предмет истраживања:

1. Belosevic S., Beljanski V., Tomanovic I., Crnomarkovic N., Tucakovic D., Zivanovic T., Numerical analysis of NO_x control by combustion modifications in pulverized coal utility boiler, *Energy & Fuels*, Vol. 26, No 1, 2012, pp. 425-442,
2. Belosevic S., Sijercic M., Tucakovic D., Crnomarkovic N., A numerical study of a utility boiler tangentially-fired furnace under different operating conditions, *Fuel*, Vol. 87, No 15–16, 2008, pp. 3331-3338,
3. Belosevic S., Sijercic M., Crnomarkovic N., Stankovic B., Tucakovic D., Numerical prediction of pulverized coal flame in utility boiler furnaces, *Energy & Fuels*, Vol. 23, No 11, 2009, pp. 5401-5412,
4. Borgwardt R., Kinetics of the reaction of sulfur dioxide with calcined limestone, *Environmental Science & Technology*, Vol. 4, No 1, 1970, pp. 59-63,
5. Beljanski V., Tomanović I., Belošević S., Sijerčić M., Stanković B., Crnomarković N., Stojanović A., Sulfation reaction modeling of Ca-based sorbent, *Proceedings, International Conference on Power Plants „Power Plants 2012“*, Zlatibor 2012., pp. 1001-1012,
6. Tomanović I., Beljanski V., Belošević S., Sijerčić M., Stanković B., Crnomarković N., Stojanović A., Modelling and optimisation of desulfurisation process by direct sorbent injection in furnace of pulverised coal utility boiler, *Proceedings, International Conference on Power Plants „Power Plants 2012“*, Zlatibor 2012., pp. 1013-1024,
7. Belošević S., Tomanović I., Beljanski V., Tucaković D., Živanović T., Numerical prediction of processes for clean and efficient combustion of pulverized coal in power plants, *Applied Thermal Engineering* (Available online: 18 November 2013, DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2013.11.019),
8. Lindner B., Simonsson D., Comparison of structural models for gas-solid reactions in porous solids undergoing structural changes, *Chemical Engineering Science*, Vol. 36, No 9, 1981, pp. 1519-1527,

9. Alvfors P., Svedberg G., Modelling of the sulphation of calcined limestone and dolomite-a gas-solid reaction with structural changes in the presence of inert solids, *Chemical Engineering Science*, Vol. 43, No 5, 1988, pp. 1183-1193,
10. Alvfors P., Svedberg G., Modelling of the simultaneous calcination, sintering and sulphation of limestone and dolomite, *Chemical Engineering Science*, Vol. 47, No 8, 1992, pp. 1903-1912,
11. Tomanović I., Belošević S., Stojanović A., Tucaković D., Živanović T., Alternative modeling approaches to sulfation reactions of calcium based sorbents injected in the pulverized coal furnace, *Proceedings, the 16th International Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia „SimTerm 2013“*, Sokobanja 2013., pp. 65-72,
12. Kocaefe D., Karman D., Steward F. R., Interpretation of the sulfation rate of CaO, MgO, and ZnO with SO₂ and SO₃, *AIChE Journal*, Vol. 33, No 11, 1987, pp. 1835-1843,
13. Szekely J., Evans J. W., A structural model for gas-solid reactions with a moving boundary, *Chemical Engineering Science*, Vol. 25, No 6, 1970, pp. 1091-1107,
14. Zhou W., Maly P., Brooks J., Nareddy S., Swanson L., Moyeda D., Design and test furnace sorbent injection for SO₂ removal in a tangentially fired boiler, *Environmental Engineering Science*, Vol. 27, No 4, 2010, pp. 337-345.

3. Полазне хипотезе

У овој докторској дисертацији полази се од следећих основних хипотеза:

- разматра се струјање нестишљивог флуида у потпуно развијеном турбулентном току,
- комплексни процес сагоревања угљеног праха може се моделирати помоћу јединствене кинетике добијене мерењем привидне брзине сагоревања честице угљеног праха као целине,
- гасовита фаза (ложишни гасови) разматра се у Ојлеровом пољу, чврста (дисперзна) фаза (честице спрашеног угља и сорбента) у Лагранжеевом пољу, утицај чврсте фазе на гасовиту инкорпорира се преко посебних изворних чланова у транспортним једначинама за гас, док се утицај гасовите фазе на чврсту моделира дифузионом брзином честице,
- парцијалне диференцијалне једначине могу се дискретизовати, а добијени систем линеарних алгебарских једначина нумерички решити,
- струјно поље се описује коначним бројем контролних запремина и добро апроксимира континуално струјно поље,
- честица сорбента је сферног облика,
- процеси, тј. реакције калцинације, синтеровања и сулфатизације честице сорбента теку симултано, а прва два процеса утичу на сулфатизацију.

4. Научне методе истраживања

Методе које ће се у истраживањима користити обухватају:

- критичку анализу и међусобно поређење различитих приступа моделирању разматраних процеса и хемијских реакција; избор алтернативних модела калцинације, синтеровања и сулфатизације честице сорбента,
- математичко моделирање разматраних комплексних процеса у предметном ложишту котла са сагоревањем угљеног праха,
- верификацију нумеричког кода,
- валидацију математичког модела поређењем са доступним експерименталним и/или нумеричким резултатима из литературе,
- нумеричка студија посматраних процеса и појава у разматраној геометрији, нумерички експерименти и параметарска анализа.

5. Очекивани научни допринос

Очекивани резултати и научни допринос дисертације су вишеструки. Ради се о докторату који је посвећен математичком моделирању читавог комплекса међусобно спрегнутих процеса при одсумпоравању уношењем честица сорбента у ложиште парног котла са сагоревањем угља у лету.

С једне стране, очекивани резултати дисертације обухватају нови математички модел и нумерички код, као и нову варијанту софтверског алата претходно развијеног у циљу симулације процеса у ложишту, са подмоделом и нумеричким поступком за симулацију процеса при одсумпоравању и одговарајућих хемијских реакција. Развијени модел процеса који се одигравају на честицама сорбента на бази калцијума при одсумпоравању могао би пружити и потребна полазна знања и искуства за будућа истраживања и моделирање апсорпције и пратећих процеса при коришћењу сорбената другог типа за редукцију емисије различитих полутаната.

С друге стране, на основу симулација, биће изведена обимна нумеричка анализа могућности оптимизације разматраних процеса и места уношења сорбента у реалним условима ложишта дате геометрије, са аспекта редукције емисије сумпор-диоксида, али и азотних оксида, као и повећања ефикасности и уштеда у раду котла. Нумеричком симулацијом процеса у ложишту се као главни резултати добијају детаљна поља свих учествујућих варијабли, као што су температура, брзина, концентрације и топлотни флукекси, у функцији промене параметара процеса важних за ефикасност, економичност и поуздану експлоатацију система. Очекују се резултати који би били основа за анализу рада ложишта у променљивим условима и повећање енергетске и еколошке ефикасности ложишних процеса. Допринос докторске дисертације тако не би имао само научни карактер, већ би се огледао и у томе што би развијени модел могао да послужи за истраживања и анализу процеса у ложишту у циљу усавршавања предметне технологије одсумпоравања и бољег вођења ложишта и котлова реалних постројења. Из тога произилази практични значај дисертације, уз могућност проширења домена примене на различите геометријске конфигурације и радне услове у ложишту и снаге котлова, посебно домаћих термоенергетских постројења.

Очекују се следећи главни резултати дисертације:

- математички модел и софтвер за нумеричку симулацију процеса у ложишту предметног котла, са моделом за симулацију процеса при одсумпоравању додавањем спрашеног сорбента у ложиште и одговарајућих реакција,
- ближе познавање предметног технолошког поступка одсумпоравања ложишних гасова и
- нумеричка анализа и оптимизација поступка уклањања SO_2 додавањем спрашеног сорбента (кречњака, или креча) у предметно ложиште на угљени прах.
- Резултати дисертације би требало значајно да допринесу подизању нивоа знања и разматрања комплексних процеса у ложиштима енергетских котлова и технологија за редукцију емисије SO_2 и других полутаната.

6. План истраживања и структура рада

Планом истраживања обухваћене су следеће целине:

- 1) опис, преглед и анализа карактеристика и варијанти поступка за смањење емисије оксида сумпора додавањем сорбента у ложиште и других поступака одсумпоравања, на основу доступне литературе, са освртом на енергетску и еколошку ефикасност,
- 2) литературни преглед и анализа приступа моделирању реакција калцинације, синтеровања и сулфатизације честице сорбента на бази калцијума, међусобно поређење алтернативних модела и избор оптималне варијанте,
- 3) развој математичког модела процеса сулфатизације честице сорбента,
- 4) валидација модела поређењем нумеричких резултата са расположивим експерименталним лабораторијским резултатима из литературе,
- 5) уградња нумеричког поступка и потпрограма у постојећи сопствени комплексни рачунарски код, тестирање и верификација компјутерског кода,
- 6) спровођење нумеричких експеримената у циљу примене развијеног модела и софтвера за испитивање могућности смањења емисије оксида сумпора из предметног ложишта помоћу разматраног поступка одсумпоравања са посебним освртом на утицајне параметре као што су:
 - локална температура гаса у ложишту,
 - моларни однос Ca/S,
 - садржај сумпора у угљу,
 - величина честице сорбента,
 - место уношења сорбента у котло,
 - дисперзија сорбента при уношењу у ложиште,
 - време боравка честица сорбента у ложишту,
 - проток носећег флуида,
- 7) оптимизација комплексних процеса при одсумпоравању, са аспекта енергетске и еколошке ефикасности,
- 8) разматрање могућности комбиноване редукције оксида сумпора и азота на основу резултата добијених применом интегралне верзије софтвера,
- 9) сумирање добијених резултата, извођење закључака, предлог потенцијалне даље примене и праваца усавршавања развијеног модела.

Структура докторске дисертације обухвата следеће оквирне целине које ће бити обрађене:

- 1) Уводна разматрања и опис проблема који се истражује.
- 2) Приказ и дискусија постојећих модела и савремених истраживања процеса сулфатизације честица сорбента на бази калцијума и учествујућих реакција, на основу доступне литературе.
- 3) Развој математичког модела и нумеричког кода за предвиђање смањења емисије оксида сумпора помоћу реакције са честицама сорбента у ложишту енергетског котла на угљени прах.
- 4) Верификација нумеричког кода и валидација математичког модела.
- 5) Спровођење нумеричких експеримената у оквиру анализе комплексних процеса и оптимизације предметног поступка одсумпоравања у ложишту.
- 6) Закључак о оствареним резултатима и научном доприносу докторске тезе и предлог наставка истраживања у предметној научно-техничкој области.

7. Закључак и предлог

Анализом података из пријаве кандидата **Ивана Томановића**, дипл. инж. маш., Комисија закључује да је предложена тема актуелна и подобна за израду докторске дисертације, као и да пружа могућност остваривања значајног научног доприноса. Кандидат испуњава све законом предвиђене услове и има истраживачке способности за рад на докторској дисертацији.

Имајући у виду све наведено Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату

Ивану Д. Томановићу, дипл. инж. маш.

одобри израду докторске дисертације под називом

**„МОДЕЛИРАЊЕ ПРОЦЕСА ОДСУМПОВАЊА ГАСОВА
УНОШЕЊЕМ СПРАШЕНОГ СОРБЕНТА У ЛОЖИШТЕ ЕНЕРГЕТСКОГ
КОТЛА НА УГЉЕНИ ПРАХ“**

у научној области Машинство – ужа научна област термотехника, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

За ментора докторске дисертације предлаже се проф. др Драган Туцаковић, редовни професор на Катедри за термотехнику Машинског факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 01.09.2014. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Драган Туцаковић, ред. проф.
Машински факултет Универзитета у Београду

др Драгослава Стојиљковић, ред. проф.
Машински факултет Универзитета у Београду

др Срђан Белошевић, научни саветник
Институт за нуклеарне науке „Винча“
Универзитета у Београду

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата **Ивана Томановића, дипл. инж. маш**, студента докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду, бр. индекса Д12/2010.

Име и презиме ментора: Драган Туцаковић

Звање: Редовни професор на Машинском факултету у Београду

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. S. Belošević, M. Sijerčić, S. Oka, D. Tucaković, *Three-dimensional modeling of utility boiler pulverized coal tangentially fired furnace*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 49, No. 19-20, p. 3371-3378, 2006, ISSN 0017-9310, DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.03.022, IF(2006)= 1.482
2. D. Tucaković, V. Stevanović, T. Živanović, A. Jovović, V. Ivanović, *Thermal-hydraulic analysis of a steam boiler with rifled evaporating tubes*, Applied Thermal Engineering, Vol. 27, No. 2-3, p. 509-519, 2007, ISSN 1359-4311, DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2006.06.009, IF(2007)= 1.175
3. D. Tucaković, T. Živanović, V. Stevanović, S. Belošević, R. Galić, *A computer code for the prediction of mill gases and hot air distribution between burners' sections at the utility boiler*, Applied Thermal Engineering, Vol. 28, No. 17-18, p. 2178-2186, 2008, ISSN 1359-4311, DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2007.12.021, IF(2008)=1.566
4. S. Belošević, M. Sijerčić, D. Tucaković, N. Crnomarković, *A numerical study of a utility boiler tangentially-fired furnace under different operating conditions*, Fuel, Vol. 87, No. 15-16, p. 3331-3338, 2008, ISSN 0016-2361, DOI: 10.1016/j.fuel.2008.05.014, IF(2008)=2.665
5. S. Belošević, M. Sijerčić, N. Crnomarković, B. Stanković, D. Tucaković, *Numerical Prediction of Pulverized Coal Flame in Utility Boiler Furnaces*, Energy & Fuels, Vol. 23, No. , p. 5401-5412, 2009, ISSN 0887-0624, DOI: 10.1021/ef9005737, IF(2009)=2.594
6. V. Ivanović, T. Živanović, D. Tucaković, G. Stupar, *Reconstruction of the aero-mixture channels of the pulverized coal plant of the 100 MW power plant unit*, Thermal Science, 2011, vol. 15, No. 3, p. 663-676, ISSN 0354-9836, DOI: 10.2298/TSCI1004120131, IF(2011)=0.779

7. S. Belošević, V. Beljanski, I. Tomanović, N. Crnomarković, D. Tucaković, T. Živanović, *Numerical Analysis of NO_x Control by Combustion Modifications in Pulverized Coal Utility Boiler*, Energy & Fuels, Vol. 26, No. 1, p. 425-442, 2012, ISSN 0887-0624, DOI: 10.1021/ef201380z, IF(2012)=3.047
8. Nenad Crnomarković, Miroslav Sijerčić, Srdjan Belosević, Branislav Stanković, Dragan Tucaković, Titoslav Zivanović, *Influence of forward scattering on prediction of temperature and radiation fields inside the pulverized coal furnace*, Energy, Vol. 45, Issue 1, p. 160-168, 2012, ISSN 0360-5442, DOI: 10.1016/j.energy.2012.01.019, IF(2012)=4,107
9. Nenad Crnomarković, Miroslav Sijerčić, Srdjan Belosević, Dragan Tucaković, Titoslav Zivanović, *Influence of application of hottel's zonal model and six-flux model of thermal radiation on numerical simulations results of pulverized coal fired furnace*, Thermal Science, 2012, vol. 16, No. 1, pp. 271-282, ISSN 0354-9836, DOI: 10.1021/ef201380z, IF(2012)=0.872
10. Nenad Crnomarković, Miroslav Sijerčić, Srdjan Belosević, Dragan Tucaković, Titoslav Zivanović, *Numerical investigation of processes in the lignite-fired furnace when simple gray gas and weighted sum of gray gases models are used*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 56, Issue 1-2, p. 197-205, 2013, ISSN 0017-9310, DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.09.024, IF(2012)=2.598
11. D. Tucaković, G. Stupar, T. Živanović, M. Petrović, S. Belosević, *Possibilities for reconstruction of existing steam boilers for the purpose of using exhaust gases from 14 MW or 17 MW gas turbine*, Applied Thermal Engineering, Vol. 56, Issue 1-2, p. 83-90, 2013, ISSN 1359-4311, DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2013.03.028, IF(2012)=2.488

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCle листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCle листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети

Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као М11,М12,М13,М14,М41 и М51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум 01.09.2014.

М.П.
