

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

79/2
(Број захтева)Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)19.01.2017.
(Датум)

З А Х Т Е В
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

МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА ПРОЦЕСА У ЛОЖИШТУ НА СПРАШЕНИ УГАЉ ПРИ ДИРЕКТНОМ КОСАГОРЕВАЊУ СА БИОМАСОМ

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Термотехника

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

- Име, име једног родитеља и презиме кандидата: АЛЕКСАНДАР (РАДМАН) МИЛИЋЕВИЋ
- Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд
- Година дипломирања: 2011.
- Назив магистарске тезе кандидата: _____
- Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: _____
- Година одбране магистарске тезе: _____
- Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: _____

Година уписа докторских студија: 2011.Обавештавамо Вас да је _____
Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 19.01.2017
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

Прилог:

- Предлог теме докторске дисертације са образложењем.
- Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -

Број: 79/2

Датум: 19.01.2017. године

Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Александра Милићевића**, маг. инж.маш., бр. 2875/1 од 15.11.2016. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Драган Туцаковић, ред. проф., др Драгослава Стојиљковић, ред. проф. и др Срђан Белошевић, научни саветник, ИНН Винча Београд, број 79/1 од 17.01.2017. године, а на основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 19.01.2017. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **АЛЕКСАНДАР МИЛИЋЕВИЋ**, маг. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА ПРОЦЕСА У ЛОЖИШТУ НА СПРАШЕНИ УГАЉ ПРИ ДИРЕКТНОМ КОСАГОРЕВАЊУ СА БИОМАСОМ»**.

За ментора студенту **Александру Милићевићу**, именује се др Драган Туцаковић, ред. проф.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата Александра Милићевића, маг. инж. маш. за израду докторске дисертације.

Одлуком Већа за докторске студије бр. 3285/2 од 22.12.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Александра Милићевића, маг. инж. маш. за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **"Математичко моделирање и оптимизација процеса у ложишту на спрашени угаљ при директном косагоревању са биомасом"**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Кандидат Александар Р. Милићевић рођен је 06.11.1987. у Александровцу (жупском), Република Србија. Након завршене основне школе уписао је средњу школу „Свети Трифун“ (смер: Машински техничар за компјутерско конструисање) у Александровцу, коју је завршио 2006. као ђак генерације са Вуковом дипломом.

Машински факултет у Београду је уписао 2006. са освојених 100 поена на пријемном испиту. Основне академске судије (B.Sc.) завршио је 2009. године, а дипломске академске студије (мастер) на смеру термотехника је завршио 2011. Током свих година студирања добијао је Похвале уз одговарајуће дипломе поводом дана Машинског факултета у Београду за одличан успех. Докторске студије на Машинском факултету у Београду је уписао школске 2011/12.

У мају 2012. Друштво термичара Србије му додељује награду за најбољи дипломски (мастер) рад на свим техничким факултетима у Србији током 2011. године.

Од априла 2013. запослен је у Институту за нуклеарне науке „Винча“ у Лабораторији за термотехнику и енергетику. Од пријема у радни однос ангажован је на пројекту Министарства науке: „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. У току свог досадашњег рада у Лабораторији

за термотехнику и енергетику, Института за нуклеарне науке Винча, стекао је звање истраживач сарадник.

Објавио је већи број радова који су публиковани у научним часописима или саопштени на међународним конференцијама и штампани у зборницима радова. Поред тога учествовао је у организацији међународних конференција "Power Plants 2014" и "Power Plants 2016" која су одржане на Златибору 2014. и 2016. године.

Кандидат говори енглески језик и поседује искуство у програмирању и употреби инжењерских софтверских пакета.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Александар Милићевић је уписао докторске студије на Машинском Факултету Универзитета у Београду школске 2011/12. године. У оквиру докторских студија на Машинском факултету у Београду кандидат је положио испите из следећих предмета: Виши курс математике, Нумеричке методе, ОМНИР и комуникација, Енергетика и заштита животне средине, Одабрана поглавља из механике флуида, Обновљиви извори енергије, Преношење топлоте и супстанције – нумерички приступ, Хидродинамика парних котлова, Одабрана поглавља из простирања топлоте и супстанције. Кандидат је успешно испунио све обавезе на предметима Истраживање и публикавање I, II, III и IV, и успешно урадио и одбранио Пројекат идеје докторске дисертације у складу са Правилником за докторске студије Машинског факултета. Просечна оцена кандидата на докторским студијама је: **10,00 (десет)**.

Преглед положених испита кандидата са оценама, бројем ЕСПБ бодова и именима предметних наставника приказан је у следећој табели.

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 Слободан Радојевић	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.	Енергетика и заштита животне средине (1.4.5)	проф. др Александар Јововић	5				10 (десет)
5.	Истраживање и публикавање I (Лабораторија I) (1.5.10)	проф. др Драган Туцаковић	10				10 (десет)
6.	Одабрана поглавља из механике флуида (2.1.5)	проф. др Светислав Чантрак		5			10 (десет)
7.	Одабрана поглавља из простирање топлоте и супстанције (2.2.5)	проф. др Мирко Коматина		5			10 (десет)
8.	Обновљиви извори енергије (2.3.5)	проф. др Мирко Коматина		5			10 (десет)
9.	Истраживање и публикавање II (Лабораторија II) (2.4.15)	проф. др Драган Туцаковић		15			10 (десет)
10.	Преношење топлоте и супстанције – нумерички приступ (3.1.5)	проф. др Милош Бањац			5		10 (десет)

11.	Хидродинамика парних котлова (3.2.5)	проф. др Драган Туцаковић			5		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)

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

1.2.1. Радови објављени у међународним часописима изузетних вредности (M21a)

1. Belošević S., Tomanović I., Crnomarković N., Milićević A., Tucaković D.: *Numerical study of pulverized coal-fired utility boiler over a wide range of operating conditions for in-furnace SO₂/NO_x reduction*, Applied Thermal Engineering, Vol 94, 2016, pp. 657-669, IF(2015)=3.043, ISSN 1359-4311.

1.2.2. Радови објављени у истакнутим међународним часописима (M22)

2. Crnomarković N., Belošević S., Tomanović I., Milićević A. V.: *Influence of the number of gray gases in the weighted sum of gray gases model on the calculation of the radiative heat exchange inside pulverized coal-fired furnaces*, Thermal Science, Vol 20, Suppl. 1, 2016, pp. S197-S206, IF(2014)=1.222, ISSN 0354-9836.
3. Belošević S., Tomanović I., Crnomarković N., Milićević A., Tucaković D.: *Modeling and optimization of processes for clean and efficient pulverized coal combustion in utility boilers*, Thermal Science, Vol 20, Suppl. 1, 2016, pp. S183-S196, IF(2014)=1.222, ISSN 0354-9836.

1.2.3. Радови објављени у међународним часописима (M23)

4. Tomanović I., Belošević S., Milićević A., Tucaković D.: *Modeling of calcium-based sorbent reactions with sulfur dioxide*, Journal of the Serbian Chemical Society, Vol 80, No 4, 2014, pp. 542-562. IF(2014)=0.871, ISSN 0352-5139.

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

5. Milićević A., Belošević S., Tomanović I., Crnomarković N., Tucaković D.: *Importance, characteristics and mathematical modeling of processes during co-firing biomass with pulverized coal in furnaces*, Full Papers Proceeding of International Conference "Power Plants 2016", November 2016, Zlatibor Serbia, ISBN 978-86-7877-027-2, pp. 680 – 689.
6. Tomanović I., Belošević S., Milićević A., Nenad Đ. Crnomarković N., Tucaković D.: *Furnace sorbent injection for SO₂ removal and the effects on combustion and NO_x emission – a numerical study*, Full Papers Proceeding of International Conference "Power Plants 2016", November 2016, Zlatibor Serbia, ISBN 978-86-7877-027-2, pp. 635 – 647.
7. Crnomarković N., Belošević S., Tomanović I., Milićević A. V.: *A new method of the zonal model of radiative heat exchange application by which the correction of the surface zone total emissivities is possible*, Full Papers Proceeding of International Conference "Power Plants 2016", November 2016, Zlatibor Serbia, ISBN 978-86-7877-027-2, pp. 648 – 657.
8. Tomanović I., Belošević S., Milićević A., Tucaković D.: *Influence of sorbent particle dispersion in pulverised coal-fired furnace on desulphurization process efficiency*,

Proceedings (ISBN 978-86-6055-076-9), 17th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, SIMTERM 2015, Sokobanja, Serbia, October 20–23, 2015, pp. 228-235.

9. Crnomarković N., Belošević S., Tomanović I., Milićević A., Stojanović A., Stupar G.: *Influence of polynomial coefficients on the weighted sum of gray gases model optimization*, Proceedings (ISBN 978-86-6055-076-9), 17th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, SIMTERM 2015, Sokobanja, Serbia, October 20–23, 2015, pp. 853-858.
10. Belošević S., Nemoda S., Crnomarković N., Tomanović I., Milićević A.: *Prediction of in-furnace flue gas desulfurization by lime-based sorbent injection*, Proceedings (ISBN 978-86-6055-076-9), 17th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, SIMTERM 2015, Sokobanja, Serbia, October 20–23, 2015, pp. 284-289.
11. Milićević A., Tomanović I., Stojanović A., Belošević S., Stanković B., Crnomarković N., Sijerčić M.: *Wall functions in the thermal energy equation within $k-\varepsilon$ turbulence model*, Full Papers Proceeding of International Conference "Power Plants 2014", 28-31. October 2014, Zlatibor Serbia, ISBN 978-86-7877-024-1, pp. 719–728.
12. Stojanović A., Stevanović V., Živković D., Belošević S., Crnomarković N., Stanković B., Tomanović I., Milićević A.: *Review of heat transfer mechanisms in pool boiling*, Full Papers Proceeding of International Conference "Power Plants 2014", 28-31. October 2014, Zlatibor Serbia, ISBN 978-86-7877-024-1, pp. 729–743.
13. Tomanović I., Milićević A., Stojanović A., Belošević S., Tucaković D.: *Ca-based sorbent reactions modelling for SO₂ emission reduction in pulverized coal combustion conditions*, Full Papers Proceeding of International Conference "Power Plants 2014", 28-31. October 2014, Zlatibor Serbia, ISBN 978-86-7877-024-1, pp. 704–711.

1.2.5. Учесће у научно-истраживачким пројектима финансираним од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије:

14. У пројектном циклусу, у периоду од 2011. до 2016. 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

Својим досадашњим стручним и истраживачким активностима кандидат је испољио квалитете, заинтересованост и способност за научноистраживачки 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 и на конференцијама, као и учешћем на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Четири објављена рада кандидата се налазе у часописима на SCI листи, а девет објављених радова су саопштена на међународним конференцијама и штампана у зборницима радова.

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

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања докторске дисертације обухвата развој математичког модела и рачунарског кода за симулацију и предвиђање турбулентних транспортних процеса и хемијских реакција при директном косагоревању спрашеног угља и биомасе, као и нумеричку анализу и испитивање могућности оптимизације процеса и предметног поступка косагоревања са становишта емисије полутаната и енергетске ефикасности.

Угаљ ће још годинама остати један од најважнијих извора за производњу електричне енергије, док се предвиђа да ће од обновљивих извора биомаса, а у домаћим условима пре свега отпадна пољопривредна биомаса, играти важну улогу захваљујући значајним залихама. Косагоревање угља са биомасом омогућава редукцију емисије CO_2 , али може допринети и редукцији SO_x и NO_x , зависно од састава горива.

Косагоревање се може извести на много начина, али генерално постоје три основна концепта: директно косагоревање (подразумева истовремено сагоревање најмање два горива у истом ложишту), индиректно косагоревање (при којем се чврсто гориво гасификује, а потом сагорева у истом ложишту са гасовитим горивом) и паралелно косагоревање (при којем горива сагоревају у одвојеним котловима, а произведена пара снабдева исте турбине). Директно косагоревање је најчешћа опција за косагоревање биомасе и угља, услед нижих специфичних трошкова експлоатације, релативно ниских инвестиција при увођењу косагоревања у постојеће термоелектране на угаљ и високе ефикасности процеса у енергетским котловима. Косагоревање биомасе доноси еколошке предности и повећава удео обновљивих извора енергије, а угаљ може ублажити ефекат варијација у квалитету биомасе која се уноси у ложиште. Потреба за смањењем емисије полутаната, економска одрживост и могућност повећања укупне ефикасности термоелектрана, указују на то да процес косагоревања који укључује отпадну пољопривредну биомасу и угаљ много обећава у смислу делимичне замене конвенционалног сагоревања угља.

Мада је косагоревање угља и биомасе добро познато и мада се последњих година томе посвећује доста истраживачких напора, има много отворених питања у вези одвијања процеса сагоревања, формирања и емисије полутаната и утицаја косагоревања на рад котла. Генерално, честице биомасе су мање густине и имају већи садржај влаге и волатила и мању топлотну моћ у односу на угаљ. Услед различитих физичких и хемијских својстава као горива, биомаса има значајан утицај на карактеристике пламена. Високе концентрације неких елемената и једињења, као што су калијум, силицијум-диоксид и хлор у појединим биљним биомасама представљају посебан проблем при формирању наслага и појави корозије у котловима.

Двофазна вишекомпонентна турбулентна струјања са процесима сагоревања горива су изузетно сложена, са мноштвом међусобно спрегнутих утицаја. Сложеност струјања, комплексност постројења, недостатак мерне опреме и цена, често онемогућавају, односно отежавају експериментална испитивања. Због тога се приступа развоју и примени математичких модела базираних на теоријским разматрањима физичких процеса и хемијских реакција и емпиријским вредностима добијеним на основу експерименталних испитивања. Такође, значајна мотивација је и то што је управо рад на развоју сопственог комплексног модела процеса најбољи начин за стицање знања и искустава у области моделирања и нумеричке симулације. У моделирању се може претпоставити сличност између сагоревања спрашеног угља и биомасе, али уз значајне разлике у механизмима и кинетици услед велике разноликости биомасе као горива и недовољног познавања кључних карактеристика сагоревања. Следећи аспекти су од посебне важности: различита аеродинамичка и термичка својства повезана са различитим величинама и неправилним облицима честица биомасе, брзина деволатилизације и састав волатила, количина формираног коксног остатка и његова брзина сагоревања. Постоји потреба за развојем поузданог алата за нумеричко предвиђање да

би се проценила ограничења ефикасног, сигурног и економичног рада постројења током косагоревања спрашеног угља и биомасе у постојећим и новим котловским блоковима.

Основни циљ докторске дисертације је развити сопствени диференцијални математички модел и нумерички код за предвиђање и нумеричку симулацију турбулентних транспортних процеса и хемијских реакција при директном косагоревању спрашеног угља са биомасом. У дисертацији ће бити изабран адекватан приступ моделирању сагоревања спрашених чврстих горива, од различите биомасе биљног порекла (као што је отпадна пољопривредна биомаса), до лигнита и квалитетнијих угљева и развијен поједностављен, али тачан и прорачунски ефикасан подмодел сагоревања. Пошто су подмодели сагоревања биомасе засновани пре свега на подмоделима сагоревања угља, неопходно је имати добро предзнање у вези моделирања сагоревања угља. При сагоревању спрашеног чврстог горива разликује се неколико фаза, које су, међутим, делимично симултане: загревање честице, издвајање влаге, деволатилизација, реакције у гасној фази и реакције коксног остатка. Битна одлика предложеног математичког модела је моделирање и хомогених и хетерогених реакција. Такође, циљеви истраживања предвиђених дисертацијом обухватају истраживање и оптимизовање сложених процеса у поступку директног косагоревања спрашеног угља са биомасом и тако унапређење садашњег ограниченог познавања ове проблематике, да би се повећала ефикасност сагоревања ових горива и редуковала емисија полутаната. Модел би требало да обезбеде адекватна предвиђања за читав опсег спрашених горива, тј. угљева и биомасе (посебно отпадне пољопривредне биомасе) и, истовремено, да буду релативно једноставни да омогуће ефикасну практичну примену. Помоћу свеобухватне нумеричке студије, проширујући опсег разматраних радних услова, биће испитан велики број утицајних параметара при различитим и променљивим радним условима у одабраном предметном ложишту, омогућавајући разумевање процеса који контролишу косагоревање угља са биомасом, а до чега се иначе не може доћи само експериментално.

Извод из литературе релевантне за предмет истраживања:

[1] Damstedt B.: *Structure and Nitrogen Chemistry in Coal, Biomass, and Cofiring Low-NO_x Flames*, All Theses and Dissertations, Brigham Young University - Provo, 2007.

[2] Yin C., Kær S., Rosendahl L., Hvid S.: *Co-firing straw with coal in a swirl-stabilized dual-feed burner: Modelling and experimental validation*, Bioresource Technology, Vol 101, No 11, 2010, pp. 4169-4178.

[3] Yin C, Rosendahl L., Kær S.: *Towards a better understanding of biomass suspension co-firing impacts via investigating a coal flame and a biomass flame in a swirl-stabilized burner flow reactor under same conditions*, Fuel Processing Technology, Vol 98, 2012, pp. 65-73.

[4] Yin C., Kær S., Rosendahl L., Hvid S.: *Co-firing straw with coal in a swirl-stabilized dual-feed burner: Modelling and experimental validation*, Bioresource Technology, Vol 101, No 11, 2010, pp. 4169-4178.

[5] Flenory P., Tree D., Dalverny L.: *Temperature, velocity and species profile measurements for reburning in a pulverized, entrained flow, coal combustor*, Grant Number DE-FG22-95PC95223, Brigham Young University, Reporting period 1995-1999.

[6] Belosevic S.: *Modeling approaches to predict biomass co-firing with pulverized coal*, The Open Thermodynamics Journal, Vol 4, 2010, pp. 50-70.

[7] David M.: *Mathematical models of the thermal decomposition of coal*, Fuel, Vol 62, No 5, 1983, pp. 534-539.

[8] Stojiljkovic D., Radovanovic M., Ercegovic M., Jones J. M., Williams A.: *Devolatilization of Some Pulverized Eastern European Lignites*, Journal of the Energy Institute, Vol 78, No 4, 2005, pp. 190-195.

- [9] Jankes G., Cvetković O., Milovanović N., Ercegovic M., Adžić M., Stamenić M.: *Rapid pyrolysis of Serbian soft brown coals*, Thermal Science, Vol 13, 2009, pp. 113–126.
- [10] Williams A., Pourkashanian M., Jones M.: *Combustion of pulverised coal and biomass*, Prog. Energy Combust. Sci., Vol. 27, No 6, 2001, pp. 587–610.
- [11] Belošević S., Tomanović I., Crnomarković N., Milićević A., Tucaković D.: *Numerical study of pulverized coal-fired utility boiler over a wide range of operating conditions for in-furnace SO₂/NO_x reduction*, Applied Thermal Engineering, Vol 94, 2016, pp. 657-669.
- [12] Wang G., Pinto T., Costa M., *Investigation on ash deposit formation during the co-firing of coal with agricultural residues in a large-scale laboratory furnace*, Fuel, Vol 117, No A, 2014, pp. 269-277.
- [13] Tabet F., Gökalp I.: *Review on CFD based models for co-firing coal and biomass*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 51, 2015, pp. 1101-1114.
- [14] Karampinis E., Nikolopoulos N., Nikolopoulos A., Grammelis P., Kakaras E.: *Numerical investigation Greek lignite/cardoon co-firing in a tangentially fired furnace*, Applied Energy, Vol 97, 2012, pp. 514-524.
- [15] Wang X., Tan H., Niu Y., Pourkashanian M., Ma L., Chen E., Liu Y., Liu Z., Xu T., *Experimental investigation on biomass co-firing in a 300 MW pulverized coal-fired utility furnace in China*, Proceedings of the Combustion Institute, Vol 33, No 2, 2011, pp. 2725-2733.
- [16] Gubba S., Ingham D., Larsen K., Ma L., Pourkashanian M., Tan H, Williams A., Zhou H.: *Numerical modelling of the co-firing of pulverised coal and straw in a 300 MWe tangentially fired boiler*, Fuel Processing Technology, Vol 104, 2012, pp. 181-188.
- [17] Pallarés J., Gil A., Cortés C., Herce C.: *Numerical study of co-firing coal and Cynara cardunculus in a 350 MWe utility boiler*, Fuel Processing Technology, Vol 90, No 10, 2009, pp. 1207-1213.

3. Полазне хипотезе

У овој докторској дисертацији полази се од следећих основних хипотеза:

- разматра се стационарно турбулентно струјање нестишљивог флуида,
- процеси у гасној фази се описују временски осредњеним парцијалним диференцијалним једначинама одржања масе, количине кретања, енергије, кинетичке енергије турбуленције и њене дисипације, као и концентрације сваке појединачне компоненте гасне смеше,
- гасовита фаза (ложишни гасови) се разматра по Ојлеровом приступу, а чврста (дисперзна) фаза (честице спрашеног угља и биомасе) по Лагранжеевом,
- утицај чврсте фазе на гасовиту узима се у обзир преко посебних изворних чланова у транспортним једначинама за гас, док се утицај турбуленције флуида на честице разматра увођењем дифузионе брзине честица,
- нема међусобних судара честица,
- честице при сагоревању мењају величину (односно пречник), али не и густину,
- у моделирању се може претпоставити сличност између сагоревања спрашеног угља и биомасе, али уз значајне разлике у механизмима и кинетици услед разноликости биомасе као горива,

- континуално струјно поље се на задовољавајући начин апроксимира коначним бројем контролних запремина,
- парцијалне диференцијалне једначине могу се дискретизовати, а добијени систем линеарних алгебарских једначина нумерички решити,
- алгебарске једначине се решавају итеративно, а стабилизација итерационог поступка се изводи техником подрелаксације.

4. Научне методе истраживања

Методе које ће се у истраживањима користити обухватају:

- компаративну анализу алтернативних приступа моделирању разматраних процеса и хемијских реакција, у циљу избора оптималних подмодела појединачних струјнотермичких процеса и реакција при косагоревању спрашеног угља и биомасе,
- верификацију нумеричког кода,
- валидацију математичког модела поређењем са доступним експерименталним и/или нумеричким резултатима из литературе,
- математичко моделирање разматраних комплексних процеса у одабраном предметном ложишту са сагоревањем угљеног праха и директним косагоревањем са биомасом,
- нумеричку студију посматраних процеса и појава у разматраној геометрији предметног ложишта, нумеричке експерименте и параметарску анализу.

5. Очекивани научни допринос

Очекују се вишеструки резултати и доприноси ове дисертације, како научни, тако и практични:

- Модел сагоревања спрашеног чврстог горива-угља и биомасе, који описује све фазе у сложену процесу сагоревања горива различитог састава;
- Нумерички поступак и рачунарски код за симулацију директног косагоревања спрашеног угља и биомасе;
- Испитивање великог броја утицајних параметара, као што су удео биомасе, финоћа млевења и састав горива и протоци горива и ваздуха, при различитим и променљивим радним условима;
- Боље разумевање процеса који контролишу метод директног косагоревања спрашеног угља са биомасом;
- Оптимизација комплексних процеса током директног косагоревања спрашеног угља са биомасом, узимајући у обзир повећање ефикасности сагоревања и редукцију емисије полутаната, употребом сопственог, развијеног рачунарског кода, у оквиру обимне нумеричке студије;
- Формирање базе података која би могла помоћи у унапређењу процеса косагоревања у индустријским применама, с обзиром на ефикасност процеса и редукцију полутаната, и приликом адаптације енергетских котлова на угљени прах за косагоревање са биомасом;
- Достижање вишег нивоа знања и истраживања комплексних процеса у ложиштима при директном косагоревању спрашеног угља са биомасом.

6. План истраживања и структура рада

Планом истраживања предвиђене су следеће целине:

1. Разматрање концепата, предности и проблема при поступку директног косагоревања спрашеног угља и биомасе у ложиштима енергетских котлова, на основу доступне литературе, са освртом на енергетску и еколошку ефикасност процеса, технологија и постројења;
2. Литературни преглед и анализа приступа моделирању струјнотермичких процеса и реакција при сагоревању и директном косагоревању угљеног праха и спрашене биомасе;
3. Развој математичког модела који описује фазе сложеног процеса сагоревања спрашеног чврстог горива (издвајање влаге, деволатилизација, сагоревање волатила и сагоревање коксног остатка) различитих карактеристика;
4. Уградња развијеног модела у сопствени комплексни нумерички код, тестирање и верификација компјутерског кода;
5. Валидација модела поређењем нумеричких резултата са расположивим експерименталним лабораторијским резултатима из литературе;
6. Спровођење нумеричких експеримената у циљу примене развијеног модела и нумеричког кода за испитивање могућности повећања ефикасности сагоревања и других процеса, као и смањења емисије штетних оксида из предметног ложишта применом разматраног поступка косагоревања, са посебним освртом на утицајне параметре, као што су:
 - финоћа млевења и квалитет горива (угља и биомасе),
 - удео биомасе при косагоревању у ложишту,
 - врста биомасе, са нагласком на отпадну пољопривредну биомасу,
 - величина, састав и друге карактеристике честице биомасе,
 - место и начин уношења биомасе у ложиште,
 - протоци горива (угља и биомасе) и ваздуха;
7. Оптимизација комплексних процеса при директном косагоревању спрашеног угља са биомасом, са аспекта енергетске и еколошке ефикасности;
8. Сумирање добијених резултата, извођење закључака, предлози потенцијалне 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 математичких модела и савремених истраживања процеса директног косагоревања честица спрашеног угља и биомасе, на основу доступне литературе;
3. Развој математичког модела и нумеричког кода за предвиђање сагоревања и косагоревања спрашеног чврстог горива-угља и биомасе у предметном ложишту;
4. Валидација математичког модела и верификација нумеричког кода;
5. Спровођење нумеричких експеримената у оквиру анализе комплексних процеса и оптимизације предметног поступка косагоревања у ложишту;
6. Закључак о оствареним резултатима и научном доприносу докторске тезе и предлог наставка истраживања у овој научно-техничкој области.

7. Закључак и предлог

Анализом података из пријаве кандидата **Александра Милићевића**, маг. 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 Већу за докторске студије Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату

Александру Р. Милићевићу, маг. инж. маш.

одобри израду докторске дисертације под називом

„МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА ПРОЦЕСА У ЛОЖИШТУ НА СПРАШЕНИ УГАЉ ПРИ ДИРЕКТНОМ КОСАГОРЕВАЊУ СА БИОМАСОМ“

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, 17.01.2017. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Проф. др Драган Туцаковић,
Универзитет у Београду, Машински факултет

Проф. др Драгослава Стојиљковић,
Универзитет у Београду, Машински факултет

Др Срђан Белошевић, научни саветник,
Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата **Александра Милићевића, дипл. инж. маш**, студента докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду, бр. индекса Д18/2011.

Име и презиме ментора: Драган Туцаковић

Звање: Редовни професор на Машинском факултету у Београду

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. 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
2. 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
3. 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
4. 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
5. 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
6. 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

7. Srdjan Belošević, Ivan Tomanović, Vladimir Beljanski, Dragan Tucaković, Titoslav Živanović, *Numerical prediction of processes for clean and efficient combustion of pulverized coal in power plants*, Applied Thermal Engineering, Vol. 74, p. 102-110, 2015, ISSN 1359-4311
DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2013.11.019, IF(2013)=2.732
8. G. Stupar, D. Tucaković, T. Živanović, S. Belosević, *Assessing the impact of primary measures for NOx reduction on the thermal power plant steam boiler*, Applied Thermal Engineering, Vol. 78, p. 397-409, 2015, ISSN 1359-4311
DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.12.074, IF(2013)=2.732
9. Srdjan Belošević, Ivan Tomanović, Nenad Crnomarković, Aleksandar Milićević, Dragan Tucaković, *Numerical study of pulverized coal-fired utility boiler over a wide range of operating conditions for in-furnace SO₂/NOx reduction*, Applied Thermal Engineering, Vol. 64 br.(), p. 657-669, 2016, ISSN 1359-4311
doi:10.1016/j.applthermaleng.2015.10.162, IF(2014)=3.034
10. Srdjan Belošević, Ivan Tomanović, Nenad Crnomarković, Aleksandar Milićević, Dragan Tucaković, *Modeling and Optimization of Processes for Clean and Efficient Pulverized Coal Combustion in Utility Boilers*, Thermal Science, (2016), vol. 20 br. , str. S183-S196, ISSN 0354-9836
doi:10.2298/TSCI150604223B, IF(2015)=0.955, (M22)

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум 29.12.2016.

М.П.
