

Факултет МАШИНСКИ

1048/6
(Број захтева)

11.07.2013.
(Датум)

Образац 1.
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

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

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

АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТУРБУЛЕНТНИХ ТОПЛОТНИХ ПРОЦЕСА У
ВРТЛОЖНИМ ГОРИОНИЦИМА

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ ВАЗДУХОПЛОВСТВО

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: РАСТКО (Димитрије) ЈОВАНОВИЋ

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

3. Година дипломирања: 2005.

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 11.07.2013
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: 1048/5
Датум: 11.07.2013. године
Београд, Краљице Марије 16

На захтев Растка Јовановића, дипл.инж.маш., бр. 1048/1 од 17.05.2013. године, извештаја Комисије у саставу: проф.др Бошко Рашуо, др Предраг Стефановић, научни саветник ИНН Винча, проф.др Драгослава Стојиљковић, проф.др Драган Туцаковић и проф.др Александар Бенгин, број 1048/4 од 08.07.2013. 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 11.07.2013. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације **«АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТУРБУЛЕНТНИХ ТОПЛОТНИХ ПРОЦЕСА У ВРТЛОЖНИМ ГОРИОНИЦИМА»** докторанта **РАСТКА ЈОВАНОВИЋА**, дипл.инж.маш.

За ментора докторанту Растку Јовановићу, именује се **проф.др Бошко Рашуо**.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Подобност теме и кандидата **Растка Јовановића, дипл. маш. инж.** за израду докторске дисертације под насловом: **АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТУРБУЛЕНТНИХ ТОПЛОТНИХ ПРОЦЕСА У ВРТЛОЖНИМ ГОРИОНИЦИМА**, која је поднета од стране кандидата 17. 05. 2013. године и заведена под бројем: 1048/1.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду од 13. 06. 2013. године, бр. 1048/3, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Растка Јовановића, дипл маш. инж. за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Аеродинамичке карактеристике турбулентних топлотних процеса у вртложним горионицима”.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Растко Јовановић је рођен 06.11.1979. године у Београду. Основну школу и гимназију је завршио у Београду. Основне студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписао је школске 1998./1999. године, где је и дипломирао на катедри за Ваздухопловство са просечном оценом 8.65/10. Дипломски рад са темом „Кинематска анализа прецизног подешавања положаја трупа и носног дела летелице Боинг 737“ одбранио је у марту 2005. године са оценом 10. Од септембра 2005. године запослен је као истраживач сарадник у Лабораторији за Термотехнику и Енергетику Института за Нуклеарне Науке Винча.

Прву годину докторских студија уписао је школске 2010./2011. године на Машинском факултету Универзитета у Београду. У циљу реализације програма усавршавања кандидат је положио све испите предвиђене планом и програмом докторских студија са просечном оценом 10 (десет).

Ред. број	Назив предмета	Предметни наставник	Година студија				Оцена
			Прва година		Друга година		
			I (11)	II (12)	III (13)	IV (14)	
1	Виши курс математике (парцијалне диференцијалне једначине и линеарна алгебра)	проф. др Иван Аранђеловић	5				10 (десет)
2	Нумеричке методе	проф. др Стојан Раденовић	5				10 (десет)
3	ОМНИР и комуникација	проф. др Милош Недељковић	5				10 (десет)
4	Механика лета	проф. др Бошко Рашуо.	5				10 (десет)
5	Лабораторија 1	проф. др Бошко Рашуо.	10				10 (десет)
6	Одабрана поглавља из механике	проф. др Јосиф Вуковић.		5			10 (десет)
7	Динамика лета	проф. др Бошко Рашуо.		5			10 (десет)
8	Моделирање процеса сагоревања	проф. др Мирољуб Аџић		5			10 (десет)
9	Лабораторија 2	проф. др Бошко Рашуо.		15			10 (десет)
10	Изабрана поглавља из аеродинамике	проф. др Бошко Рашуо.			5		10 (десет)
11	Примена CFD у сагоревању	проф. др Мирољуб Аџић			5		10 (десет)
12	Лабораторија 3	проф. др Бошко Рашуо.			20		10 (десет)
13	Лабораторија 4	проф. др Бошко Рашуо.				25	10 (десет)

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

У току рада у Лабораторији за Термотехнику и Енергетику Института за Нуклеарне Науке Винча кандидат Растко Јовановић је био ангажован на следећим истраживачким пројектима Министарства науке и технолошког развоја:

- „Моделирање и нумеричка симулација турбулентних топлотно – струјних процеса у ложиштима индустријских котлова“, од септембра 2005. до фебруара 2007. године.
- „Развој унапређеног горионичког постројења за плазмену стабилизацију сагоревања угљеног праха у лету“, од септембра 2005. до фебруара 2007. године.

Тренутно је као истраживач сарадник ангажован на следећим пројектима Министарства науке и технолошког развоја:

- „Побољшање квалитета и технологије сагоревања домаћих лигнита у циљу повећања енергетске ефикасности и смањења штетних материја из термоелектрана ЈП Електропривреде Србије“
- „Смањење аерозагађења из термоелектрана у ЈП Електропривреда Србије“.

Растко Јовановић је аутор више радова објављених на међународним конференцијама и међународним часописима. Три рада су објављена у часописима са СЦИ листе.

Основни правац рада кандидата током докторских студија и рада на пројектима Технолошког развоја је био експериментално и нумеричко (коришћењем прорачунске аеродинамике, динамике флуида и методе коначних запремина) испитивање карактеристика процеса паљења и сагоревања чврстих горива у кисеоником обогаћеном ваздуху и у мешавини кисеоника и димног гаса.

Кандидат је у оквиру међународне сарадње учествовао у програму за младе истраживаче “Marie Curie actions” на пројекту “Marie Curie Early Stage Training Programme in Integrated Energy Conversion for a Sustainable Environment – INECSE”.

Кандидат је у оквиру овог пројекта у периоду од 2007. – 2009. године два пута боравио (у укупном трајању од две године) у Институту за Енергетику у Варшави (Пољска) где је био ангажован на међународном пројекту “Biomass, OxyFuel, and Flameless Combustion for the utilization of pulverized coals for electricity generation – BOFCOM”. У оквиру овог пројекта кандидат се бавио проучавањем могућности смањења емисије аерозагађивача (угљен-диоксида и азотних оксида) применом технологије “oxy-fuel” сагоревања (сагоревање у мешавини кисеоника и димног гаса). Кандидат је првенствено био ангажован на нумеричком моделирању аеродинамичко – термичких услова у вртложним горионцима при њиховом раду у “oxy-fuel” моду, као и на експерименталном испитивању могућности стабилног рада вртложних горионика при сагоревању чврстих горива (угља и биомасе) у “oxy-fuel” условима.

Кандидат је, такође у оквиру пројекта “Marie Curie Early Stage Training Programme in Integrated Energy Conversion for a Sustainable Environment – INECSE”, 2008. године шест месеци провео на усавршавању на катедри за Термоенергетику Техничког Универзитета у Минхену (Немачка). У току овог боравка кандидат је радио на пројекту “Cost effective and environmental friendly oxyfuel combustion of hard coals – Friendly Coal” на нумеричком моделирању аеродинамичко – термичких услова у лабораторијском ложишту при ступњевитом сагоревању угљеног праха у лету у “oxy-fuel” условима.

У току свог научно-истраживачког рада кандидат је објавио следеће радове:

Радови објављени у научним часописима међународног значаја

- **Радови у врхунским међународним часописима (M21):**
 1. **Jovanović R.**, Milewska A., Swiatkowski B., Goanta A., Spliethoff H.: *Numerical investigation of influence of homogeneous/ heterogeneous ignition/combustion mechanisms on ignition point position during pulverized coal combustion in oxygen enriched and recycled flue gases atmosphere*, - International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol 54, No 4, 2011, pp. 921-931.

2. **Jovanović R.**, Milewska A., Swiatkowski B., Goanta A., Spliethoff H.: *Sensitivity analysis of different devolatilisation models on predicting ignition point position during pulverized coal combustion in O₂/N₂ and O₂/CO₂ atmospheres*, - Fuel, Vol 101, No 1, 2012, pp. 23-37.
3. **Jovanović R.**, Rašuo B., Stefanović P., Cvetinović D., Swiatkowski B.: *Numerical investigation of pulverized coal jet flame characteristics under different oxy-fuel conditions*, - International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol 58, No 1-2, 2013, pp. 654-662.
- Радови у међународним часописима (M24):
 1. **Jovanović R.**, Cvetinović D., Stefanović P., Swiatkowski B.: *Turbulent Two-Phase Flow Modeling of Air-Coal Mixture Channels with Single Blade Turbulators*, - FME Transactions, Vol 36, No 2, 2008, pp. 67-74.
 2. **Jovanović R.**, Cvetinović D., Stefanović P., Swiatkowski B.: *Turbulent Three Dimensional Two-Phase Flow Modeling of Air-Coal Mixture Channels with Movable Shutters for Regulation Pulverized Coal Particle Distribution*, - ICHMT Digital Library, Vol 13, No 1, 2008, pp. 2285-2302.

Зборници међународних скупова

- Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)
 1. Crnomarković N., Sijerčić M., Belošević S., **Jovanović R.**: *Modelling of Boiler Furnace Using Hottels Zonal Method of Thermal Radiation*, - International Conference Power Plants 2006, Proceedings on CD, Vrnjačka Banja 2006, Serbia, 10 pages.
 2. **Jovanović R.**, Stevanović Ž., Turanjanin V., Pezo M.: *Current wind turbines technology status and trends*, - International Conference Power Plants 2006, Proceedings on CD, Vrnjačka Banja, Serbia, 4 pages.
 3. Crnomarković N., Sijerčić M., Belošević S., **Jovanović R.**: *Simulation of reactive two-phase turbulent flow with Hottel zonal method of radiative heat transfer*, - The Fifth International Symposium on radiative Transfer 2007, Proceedings on CD, Bodrum, Turkey, 3 pages.
 4. Milewska A., Swiatkowski B., **Jovanovic R.**: *Simultaneous Devolatilisation and Char Combustion in Oxyfuel Coal Combustion. Flame Stand-off Distance*, - 1st OXYFUEL COMBUSTION CONFERENCE 2009, Proceedings on CD, Cottbus Germany, 2 pages.
 5. **Jovanović R.**, Milewska A., Swiatkowski B., Goanta A., Spliethoff H.: *Influence of different devolatilisation models on predicting ignition point position and ignition temperature during pulverized coal combustion in O₂/N₂ and O₂/CO₂ atmospheres*, - 8th European Conference on Coal Research and its Applications 2010, Proceedings on CD, Leeds, Great Britain, 21 pages.
 6. Cvetinović D., Čantrak S., Stefanović P., Marković Z., **Jovanović R.**, Erić M.: *Turbulent Axisymmetric Self-Sustained Oscillating Air Jet Flow Characteristics*, - III International Symposium Contemporary Problems of Fluid Mechanics 2011, Proceedings on CD, Belgrade, Serbia, 4 pages.
 7. Cvetinović D., Čantrak S., Stefanović P., Marković Z., **Jovanović R.**, Erić M.: *Effect of Externally Supplied Excitations on the Flow Structures of the Free Turbulent Axisymmetric Air Jet*, - III International Symposium Contemporary Problems of Fluid Mechanics 2011, Proceedings on CD, Belgrade, Serbia, 4 pages.
 8. Erić M., Škobalj P., Marković Z., Cvetinović D., **Jovanović R.**, Stefanović P.: *Particulate matter emission investigation on the upgraded electrostatic precipitators at TPP "Nikola Tesla"*, - Proceedings of 15th SYMPOSIUM ON THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING 2011, Soko Banja, Serbia, pp. 568-577.
 9. **Jovanović R.**, Cvetinović D., Stefanović P., Škobalj P., Marković Z.: *DEVELOPMENT of COAL PARTICLES FRAGMENTATION MODEL for CFD SIMULATION of*

PULVERIZED COAL GASIFICATION USING LOW TEMPERATURE AIR PLASMA, - 9th European Conference on Coal Research and its Applications 2012, Proceedings on CD, Nottingham, Great Britain, 19 pages.

10. **Jovanović R.**, Cvetinović D., Stefanović P., Rašuo B.: *An Investigation of Different Devolatilisation Kinetic Factors for Numerical Modeling of Serbian Lignite Combustion*. Proceedings of International Conference Power Plants 2012, Zlatibor, Serbia, pp 1269 - 1282.
11. **Jovanović R.**, Erić M., Spasojević V., Živković N., Marković Z.: *Numerical Investigation of Swirl Generator Influence on Coal Particles Distribution and Residence Time Inside Laboratory Scale Experimental Burner Channel*. Proceedings of International Conference Power Plants 2012, Zlatibor, Serbia, pp. 1283 - 1288.
12. **Jovanović R.**, Cvetinović D., Stefanović P., Škobalj P., Marković Z.: *Development of Coal Particles Fragmentation Model for Inclusion in CFD Codes for Pulverized Coal Gasification Using Low Temperature Air Plasma*, - Proceedings of International Conference Power Plants 2012, Zlatibor, Serbia, pp 1289 - 1302.
13. **Jovanović R.**, Rašuo B.: *Mathematical Modeling of Combustion of Single Porous Pulverized Coal Particle Using Lattice Approach*, - 84th Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics, GAMM 2013, Proceedings on CD, Novi Sad, Serbia, 1 page.

Техничка и развојна решења

1. Stefanović P., Cvetinović D., Erić M., Živković N., Marković Z., Škobalj P., Jovanović R., Spasojević V.: *STUDIJA UTICAJA HOMOGENIZACIJE UGLJA NA EFIKASNOST TEHNOLOGIJE RADA TERMOELEKTRANA (TENT) I ZAŠTITU ŽIVOTNE SREDINE*. Interna publikacija NIV-LTE-458, Izveštaj za korisnika Javno Preduzeće Elektroprivreda Srbije 2011, Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke Vinča, Laboratorija za termotehniku i energetiku.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу биографских података кандидата, положених испита на докторским студијама, његових научних и стручних активности и остварених резултата, Комисија сматра да је кандидат подобан за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Процес сагоревања спрашеног угља у кисеоником обогаћеном ваздуху као и у смеси кисеоника и димног гаса („oxy-fuel“ сагоревање) значајно се разликује од конвенционалног начина сагоревања. Наиме при „oxy-fuel“ сагоревању честице угљеног праха сагоревају у смеси кисеоника и рециркулисаног димног гаса, за разлику од конвенционалног сагоревања при коме честице спрашеног угља сагоревају у ваздуху. Услед разлика у топлотним и хемијским карактеристикама гасне фазе у којој се врши сагоревање угљеног праха у лету долази до разлика у карактеристикама процеса сагоревања.

- Услед разлике у топлотним капацитетима CO₂ и N₂ при „oxy-fuel“ сагоревању неопходно је користити мешавину O₂/CO₂ са запреминским уделом O₂ од 30-35% како би се остварила иста или приближна адијабатска температура пламена као при конвенционалном сагоревању угљеног праха у ваздуху (21% O₂ и 79% N₂) [1].
- При „oxy-fuel“ сагоревању приближно 75-80% укупне количине димног гаса се враћа у ложиште како би се остварила иста адијабатска температура пламена као при

конвенционалном сагоревању угљеног праха [2]. Због одсуства азота у димном гасу запремински проток димног гаса на излазу из котла умањен је за 75-80%.

- Увећан удео CO_2 у ложишту и умањен проток у конвективном делу котла условљавају разлике у преносу топлоте [3].
- Услед повећане концентрације CO_2 у котлу се убрзавају ендотермне реакције што значајно мења карактеристике процесе паљења, деволатилизације и сагоревања коксног остатка при сагоревању угљеног праха у лету у „oxy-fuel“ моду, [4, 5].
- Механизам формирања аерозагађивача (NO_x , CO , CO_2) у току конвенционалног и „oxy-fuel“ сагоревања се разликује услед одсуства N_2 из ваздуха и услед повећаног садржаја CO_2 у ложишту при „oxy-fuel“ сагоревању [6].
- Рецикулација димног гаса у котлу приликом „oxy-fuel“ сагоревања повећава концентрацију SO_x у котлу што доводи до повећане корозије на елементима котла [7].

Из горе наведених карактеристика оба типа сагоревања издвајају се следеће предности „oxy-fuel“ технологије у односу на конвенционално сагоревање угљеног праха у лету: повећана термална ефикасност процеса услед смањеног протока инертног дела гасне фазе (N_2), смањење несагорелог угљеника у пепелу захваљујући повећаном парцијалном притиску O_2 , смањење емисије NO_x (пре свега топлотног NO_x) захваљујући замени азота рециркулисаним димним гасом, лакша контрола NO_x захваљујући могућности убризгавања рециркулисаног димног гаса на жељеним локацијама у котлу.

Важно је истаћи да без обзира на наведене предности „oxy-fuel“ сагоревање још увек нема примену на индустријским котловима за сагоревање спрашеног угља у лету како због високе цене производње чистог кисеоника неопходног за „oxy-fuel“ сагоревање, тако и због непотпуног познавања свих техничких и технолошких захтева за модификацију постојећих термоблокова приликом њиховог преласка са конвенционалног на „oxy-fuel“ сагоревање.

Предмет истраживања кандидата Растка Јовановића, дипл. инж. машинства, је проучавање технолошких могућности сагоревања угља, биомасе и мешевине угља и биомасе у кисеоником обогаћеном ваздуху и у смеси кисеоника и димног гаса (која се претежно састоји од угљен-диоксида) као могућег решења за смањење аерозагађења (пре свега емисије угљен-диоксида и азотних оксида).

У том смислу у првој фази истраживања приступиће се експерименталном испитивању карактеристика процеса паљења изабраних узорака угља, биомасе и мешавина угља и биомасе у спрашеном стању у атмосфери различитог хемијског састава при температурама које одговарају реалним вредностима температуре гасовитих продуката сагоревања у ложиштима термоблокова. Предмет наредне фазе истраживања биће аеродинамичка симулација процеса сагоревања чврстих горива у мешавинама O_2/N_2 и O_2/CO_2 различитог хемијског састава коришћењем стандардних модела турбуленције, деволатилизације, паљења, сагоревања волатила и сагоревања коксног остатка преузетих из стручне литературе у овој области. У следећој фази рада приступиће се развоју напреднијих модела турбуленције, паљења, деволатилизације и сагоревања коксног остатка честица чврстог горива. У даљем истраживању предвиђа се аеродинамичко пројектовање и израда новог вртложног горионика за сагоревање чврстих горива у спрашеном стању у oxy-fuel“ моду коришћењем нумеричког моделирања и експерименталних података добијених у првој фази истраживања. Експериментално испитивање и нумеричка симулација карактеристика новог вртложног горионика чији би аеродинамички облик био погодан за замену постојећих вртложних горионика енергетских термоблокова при њиховом преласку са конвенционалног

сагоревања на сагоревање у „oxy-fuel“ моду биће предмет следеће фазе истраживања. Поменути испитивања ће обухватити:

- Испитивање карактеристика пламена и емисије аерозагађивача при сагоревању различитих врста чврстих горива (угља и биомасе) у лету у атмосфери са различитим хемијским саставом коришћењем новог вртложног горионика.
- Одређивање утицаја процеса ступњевитог сагоревања на карактеристике пламена и емисију аерозагађивача при сагоревању различитих врста чврстих горива (угља и биомасе) у лету у атмосфери са различитим хемијским саставом.
- Испитивање ефекта различитих конфигурација горионичких пакета на карактеристике процеса сагоревања и емисију аерозагађивача у ложишту енергетског котла при конвенционалном и „oxy-fuel“ моду сагоревања.
- Испитивање могућности ко-сагоревања угља и биомасе коришћењем нових вртложних горионика при конвенционалном и „oxy-fuel“ моду сагоревања.

Предвиђени циљеви истраживања су:

- Поређење карактеристика процеса паљења у мешавинама O_2/N_2 и O_2/CO_2 са различитим уделима O_2 у смеси, као и при различитим температурама гасне фазе. Одређивање карактеристика процеса паљења је веома битно како би се обезбедило одговарајуће одстојање пламена од фронта горионика односно остварио стабилан пламен. Посебно се истиче значај одређивања карактеристика процеса паљења при повишеном уделу CO_2 и при великим температурама (изнад $1200\text{ }^{\circ}C$) односно у условима који одговарају паљењу чврстих горива у спрашеном стању при сагоревању у „oxy-fuel“ моду.
- Одређивање утицаја повишеног удела CO_2 при сагоревању чврстих горива у лету на температуру пламена и пренос топлоте у ложишту.
- Одређивање неопходне количине O_2 (у мешавинама O_2/N_2 и O_2/CO_2) за остваривање стабилног пламена при ко-сагоревању угља и биомасе у зависности од удела биомасе у смеси угља и биомасе.
- Провера могућности стандардних модела турбуленције, деволатилизације, паљења, сагоревања волатила и сагоревања коксног остатка поређењем резултата симулација са већ добијеним експерименталним подацима. Посебна пажња ће бити посвећена провери могућности коришћења стандардних модела за симулацију процеса сагоревања чврстих горива у „oxy-fuel“ условима.
- Коришћење развијених напредних модела турбуленције, паљења, деволатилизације и сагоревања коксног остатка за симулацију резултата лабораторијских експеримената чиме ће се извршити провера њихове тачности, како у односу на добијене експерименталне резултате тако и у односу на стандардне моделе.
- Симулација процеса сагоревања чврстих горива у стандардним и „oxy-fuel“ условима у 0.5 MW_T хоризонталном ложишту коришћењем развијених напредних модела турбуленције, паљења, деволатилизације и сагоревања коксног остатка. Добијени резултати ће послужити за даљу проверу тачности развијених модела, као и за аеродинамичко пројектовање различитих конфигурација новог „oxy-fuel“ вртложног горионика.

- Експериментална и нумеричка оптимизација аеродинамичких карактеристика изабраног модела вртложног горионика за сагоревање чврстих горива у „oxy-fuel“ условима пре свега са становишта стабилности рада (стабилности пламена), потпуности сагоревања и емисије аерозагађења (CO , NO_x и SO_x).
- У финалној фази истраживања приступиће се нумеричком испитивању могућности имплементације резултата истраживања на индустријском котлу електране "Dolna Odra" са конвенционалног сагоревања угљеног праха у лету на ко-сагоревање угљеног праха и дрвеног чипса у мешавини кисеоника и димног гаса коришћењем новог концепта горионика.

Релевантни библиографски извори и резултати на које се надовазују истраживања из ове тезе:

1. Okawa M., Kimura N., Kiga T., Takano S., Arai K., Kato M.: *Trial design for a CO_2 recovery power plant by burning pulverized coal in O_2/CO_2* , - Energy Conversion and Management, Vol 38, Supplement, 1997, pp. 123-127.
2. Payne R., Chen S. L., Wolsky A. M., Richter W. F.: *CO_2 Recovery Via Coal Combustion in Mixtures of Oxygen and Recycled Flue-Gas*, - Combustion Science and Technology, Vol 67, No 1, 1989, pp. 1-16.
3. Buhre B. J. P., Elliot L. K., Sheng C. D., Gupta R. P., Wall T.: *Oxy-fuel combustion technology for coal-fired power generation*, - Prog. Energy Combust. Sci. Vol 31, No 4, 2005, pp. 283-307.
4. Molina A., Shaddix C. R.: *Ignition and devolatilization of pulverized bituminous coal particles during oxygen/carbon dioxide coal combustion*, - Proceedings of the Combustion Institute, Vol 31, No 2, 2007, pp 1905-1912.
5. Man C. K., Gibbins J. R., Cashdollar K. L.: *Effect of coal type and oxy-fuel combustion parameters on pulverized coal ignition*, - Proceedings of International Coal Conference on Science and Technology 2007, Nottingham, United Kingdom, pp 5A1.
6. Andersson K., Normann F., Johnsson F., Leckner B.: *NO Emission during Oxy-Fuel Combustion of Lignite*, - Ind. Eng. Chem. Res. Vol 47, No 6, 2008, pp. 1835-1845.
7. Maier J., Dhungel B., Mönckert P., Kull R., Scheffknecht G.: *Impact of recycled gas species (SO_2 , NO) on emission behaviour and fly ash quality during oxy-coal combustion*, - Proceedings of 33rd International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems (2008), Florida, USA, pp 33 - 45.

3. Полазне хипотезе

На основу података изнетих у претходном поглављу о предмету и циљу истраживања ове дисертације, као и на основу прегледа релевантних референци истичемо низ појава и чињеница које овим истраживањем треба доказати.

Пре свега, очекује се да ће при сагоревању чврстог горива у лету у атмосфери са великим садржајем CO_2 доћи до одлагања паљења, односно повећања температуре паљења у односу на сагоревање при стандардним условима. Такође, очекује се да ће повећање садржаја кисеоника довести до супротног ефекта, тј. бржег паљења горива и смањења температуре паљења. Како испитивана биомаса има значајно већи удео волатила од испитиваних угљева, очекује се да ће се повећањем удела биомасе при ко-сагоревању убрзати процес паљења, односно обезбедити паљење при мањим температурама.

Очекује се да ће промене концентрација O_2 и CO_2 , осим утицаја на време и температуру паљења, довести до значајне промене процеса деволатилизације и сагоревања коксног остатка што може утицати на степен сагоревања и емисију аерозагађивача при сагоревању у реалним термоенергетским блоковима.

Иако претходно наведене појаве значајно утичу на перформансе горионика на њих се може утицати и применом одговарајуће аеродинамичке конструкције вртложног горионика, обезбеђивањем одговарајућег степена мешања примарне и секундарне струје, односно коришћењем одговарајућег степена рецикулације димног гаса, а у циљу остваривања стабилног рада горионика и минимизације емисије аерозагађивача.

Применом „oxy-fuel“ технологије сагоревања чврстих горива у лету може се остварити смањење емисије азотних оксида (пре свега температурског NO_x -а) за 20-30% у односу на конвенционално сагоревање.

Стандардни модели турбуленције, паљења, деволатилизације и сагоревања коксног остатка нису погодни за симулацију процеса сагоревања чврстих горива у „oxy-fuel“ условима те је неопходан развој напреднијих модела који не зависе од унапред дефинисаних услова процеса сагоревања.

4. Научне методе истраживања

Научне методе које ће бити примењене у поступку реализације научних резултата могу се поделити на две групе: експерименталне методе и нумеричке методе.

Експерименталне методе подразумевају испитивања процеса сагоревања у два типа ложишта: лабораторијском вертикалном цевном реактору и хоризонталном полу-индустријском ложишту. За потребе испитивања ове тезе обе апаратуре ће бити значајно модификоване.

Ложиште цевног реактора ће бити потпуно замењено новим веће висине (1500 mm.) израђеним од високо термоотпорне керамике. На тај начин омогућиће се истраживање феномена паљења и визуелних карактеристика пламена у мешавинама O_2/N_2 и O_2/CO_2 са уделима O_2 5-100% у опсегу температура 1000 °C - 1400 °C. Испитивања ће бити вршена за две различите врсте угљева, две различите врсте биомасе и за њихове мешавине. Укупно ће се обавити преко 300 тестова паљења са мерењем температуре паљења, одстојања пламена од фронта горионика, дужине пламена и стабилности пламена, што ће омогућити стварање целовите базе података о процесу паљења и аеродинамичким карактеристикама пламена ових горива у веома широком опсегу радних услова.

Полу-индустријско хоризонтално ложиште снаге 0.5 MW_T ће такође бити значајно измењено да би се омогућило испитивање аеродинамичких перформанси вртложних горионика при сагоревању и у конвенционалном и у „oxy-fuel“ моду. Биће инсталирани специјални контејнери са O_2 и CO_2 који ће се користити за стартовање „oxy-fuel“ процеса у ложишту. Ложиште ће бити потпуно заптивено и опремљено системом за пречишћавање и рецикулацију димног гаса како би се омогућило континуирано испитивање карактеристика „oxy-fuel“ сагоревања. На хоризонталном ложишту ће се у првој фази извршити прелиминарна испитивања аеродинамичких и перформансних карактеристика укупно три различита типа горионика при сагоревању угљеног праха у стандардном и у „oxy-fuel“ моду. На основу добијених резултата са становишта стабилности процеса сагоревања за даља испитивања биће изабран само један вртложни горионик. На изабраном вртложном горионику обавиће се оптимизација аеродинамичких параметара рада, пре свега са становишта стабилности рада, потпуности процеса сагоревања и емисије аерозагађења.

Испитивања рада горионика ће се обавити при сагоревању угљеног праха у лету и при сагоревању мешавине угљеног праха и биомасе. У финалној експерименталној фази хоризонтално ложиште биће опремљено OFA (“Over Fire Air”) отвором што ће омогућити и испитивање карактеристика процеса ступњевитог сагоревања.

Испитивања ће се обавити у више фаза и нумеричким моделирањем. У првој фази нумерички ће бити симулирани сви експерименти који ће бити изведени на цевном ложишту коришћењем стандардних модела турбуленције, деволатилизације, паљења и сагоревања коксоног остатка.

Стандардни модел деволатилизације који подразумева да се волатили састоје од појединачног генеричког угљоводоника који се ослобађа у зависности од експериментално утврђених кинематских параметара за испитивано гориво замениће се “network” моделом деволатилизације који у обзир узима реалну композицију волатила од којих се сваки ослобађа одговарајућом кинетиком заснованом на јачини хемијске везе која је независна од врсте горива.

У следећој фази стандардни модел паљења честица који предвиђа да се коксни остатак пали тек пошто је честица у потпуности деволатилизована (хомогено паљење) биће замењен општијим моделом који предвиђа оба могућа механизма паљења спрашеног горива: хомогено паљење при коме се прво одвија деволатилизација, а тек пошто је честица потпуно деволатилизована пале се ослобођени волатили и коксни остатак и хетерогено паљење при коме долази до сагоревања коксног остатка још недеволатилизоване честице. Избор једног од ова два механизма обавиће се у оквиру самог модела паљења на основу брзине хемијских процеса деволатилизације и сагоревања коксног остатка, а у зависности од температуре флуидне струје, хемијског састава флуида и величине честице.

У финалној фази развоја унапређених нумеричких модела биће модификован механизам сагоревања коксног остатка тако да у обзир узима вредност парцијалног притиска кисеоника на површини честице. Иако се овај фактор обично занемарује при моделирању конвенционалног сагоревања чврстих горива у лету, он је веома значајан при “oxy-fuel” сагоревању услед повишене концентрације кисеоника.

5. Очекивани научни допринос

Научни допринос ове дисертације се очекује у:

- Аеродинамичкој оптимизацији облика стандардног вртложног горионика и поправљању његових перформансних могућности при сагоревању у мешавини кисеоника и димног гаса са становишта стабилности рада, потпуности процеса сагоревања и емисије аерозагађења (CO , NO_x и SO_x) коришћењем прорачунске динамике флуида и методе коначних запремина,
- Ефикаснијој нумеричкој симулацији ефеката (пре свега могућности смањења емисије азотних оксида) при преласку са конвенционалног сагоревања угљеног праха у лету на сагоревање у мешавини кисеоника и димног гаса у ложишту индустријског котла,
- Тачнијем одређивању утицаја различитих геометријских и аеродинамичких конфигурација вртложних горионика на стабилност рада и емисију аерозагађења (CO , NO_x и SO_x) при једно-степеном и ступњевитом сагоревању чврстих горива у мешавини кисеоника и димног гаса,

- Развоју и имплементацији напредних модела турбуленције, деволатилизације, паљења и сагоревања коксног остатка који се могу применити за сагоревање различитих чврстих горива у спрашеном стању, као и у калибрацији наведених модела поређењем са експерименталним подацима,
- Одређивању утицаја повишених удела угљен-диоксида и кисеоника на процес паљења и карактеристике пламена различитих врста угљева, биомасе и мешавина угља и биомасе, и
- Ефикаснијем одређивању утицаја величине удела биомасе у мешавини угља и биомасе на карактеристике процеса паљења и сагоревања у атмосфери са различитим хемијским саставом.

6. План истраживања и структура рада

План истраживања у оквиру ове докторске дисертације обухвата следеће фазе:

1. Библиографско истраживање и систематизацију експерименталних поступака и аеродинамичких нумеричких модела у досадашњим научним радовима и другој релевантној литератури.
2. Дефинисање неопходних експерименталних поступака и одговарајућих нумеричких модела прорачуна.
3. Модификацију и експериментално истраживање на лабораторијском цевном ложишту.
4. Симулацију експерименталних резултата добијених на цевном ложишту коришћењем стандардних модела турбуленције, деволатилизације, паљења, сагоревања волатила и сагоревања коксног остатка
5. Поређење нумеричких и експерименталних резултата.
6. Развој напредних модела деволатилизације, паљења, и сагоревања коксног остатка и њихово перформансно поређење са стандардним моделима.
7. Аеродинамичко пројектовање и израда могућих решења вртложних горионика погодних за рад при “oxy-fuel” сагоревању коришћењем експерименталних испитивања на полу-индустријском ложишту и нумеричких симулација заснованих на наведеним развијеним напредним моделима.
8. Оптимизацију аеродинамичких карактеристика одабраног типа вртложног горионика и поправљање његових перформанси могућности при сагоревању у мешавини кисеоника и димног гаса са становишта стабилности рада, потпуности процеса сагоревања и емисије аерозагађења (CO , NO_x и SO_x).
9. Нумеричку симулацију конвенционалног и “oxy-fuel” сагоревања у ложишту.
10. Закључак
11. Списак литературе
12. Додатак: Симулација сагоревања угљеног праха у млазу коришћењем LES (Large Eddy Simulation) турбулентног модела.

7. Закључак и предлог

На основу анализе пријаве теме докторске дисертације Растка Јовановића, дипл. инж. машинства, а сходно одлуци број 1048/3 Наставно-научног већа донетој 13. 06. 2013. године, Комисија за подношење извештаја о прихватању теме и оцену научне заснованости докторске дисертације закључује да је предложена тема научно утемељена и адекватна за израду докторске дисертације високог ранга, као и да кандидат - студент докторских студија испуњава законске и друге услове за рад на предметној докторској дисертацији, тако да предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату:

Растку Јовановићу, дипл. инж. машинства,
одобри израду докторске дисертације са темом:

АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТУРБУЛЕНТНИХ ТОПЛОТНИХ ПРОЦЕСА У ВРТЛОЖНИМ ГОРИОНИЦИМА

научна област: **машинство.**

За ментора кандидата током рада на овој докторској дисертацији предлаже се **др Бошко Рашуо, редовни професор**, на катедри за Ваздухопловство Машинског факултета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф. др Бошко Рашуо,
редовни професор Машинског факултет Универзитета у Београду

.....
Др Предраг Стефановић,
научни саветник, Институт за Нуклеарне Науке Винча

.....
Проф. др Драгослава Стојиљковић,
редовни професор Машинског факултет Универзитета у Београду

.....
Проф. др Драган Туцаковић,
ванредни професор Машинског факултет Универзитета у Београду

.....
Проф. др Александар Бенгин,
ванредни професор Машинског факултет Универзитета у Београду

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата РАСТКА ЈОВАНОВИЋА, дипл маш. инж.

Име и презиме ментора: Др БОШКО РАШУО

Звање: Редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Title: Numerical investigation of pulverized coal jet flame characteristics under different oxy-fuel conditions, Author: Jovanović R., **Rašuo B.**, Stefanović P., Cvetinović D., Swiatkowski B. Source: **INTERNATIONAL JOURNAL OF HEAT AND MASS TRANSFER**, Elsevier Ltd., Vol 58, No 1-2, Published: March 2013., Pages: 654-662, ISSN: 0017-9310, IF 2.315,

2. Title: Scaling between Wind Tunnels—Results Accuracy in Two-Dimensional Testing, Author: **Rašuo B.**, Source: **TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL & SPACE SCIENCES**, The Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 55, No.2, Published: March 2012., Pages: 109-115, ISSN: 0549-3811, IF 0.397,

3. Title: The influence of Reynolds and Mach numbers on two-dimensional wind-tunnel testing: An experience, Author: **Rašuo, B.**, Source: **THE AERONAUTICAL JOURNAL**, Volume 115, Number 1166, Paper No. 3542, The Royal Aeronautical Society, ISSN: 0001-9240, London, Published: April 2011, Pages: 249-254, IF 0.414,

4. Title: A New General Approach to Airplane Rotation, Authors: Bajović, M., Živanović, M., **Rašuo, B.**, Stojaković, P., Source: **TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL & SPACE SCIENCES**, The Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol.53, No.180, Published: August 2010. Pages: 130-137, ISSN: 0549-3811, IF 0.397,

5. Title: Some analytical and numerical solutions for the safe turn manoeuvres of agricultural aircraft - an overview, Author: **Rašuo B.** Source: **THE AERONAUTICAL JOURNAL**, Volume: 111, Issue: 1123, Pages: 593-599, ISSN: 0001-9240, Published: SEP 2007., IF: 0.415.

6. Title: On sidewall boundary layer effects in two-dimensional subsonic and transonic wind tunnels, Author: **Rašuo B.** Source: **ZEITSCHRIFT FÜR ANGEWANDTE MATHEMATIK UND MECHANIK**, Volume: 81, pages: S935-S936, ISSN: 0044-2267, Supplement: Suppl. 4, Published: 2001., IF: 0.801.

7. Title: Two-dimensional wall interference in transonic wind tunnels, Author: **Rašuo B.** Source: **ZEITSCHRIFT FÜR ANGEWANDTE MATHEMATIK UND MECHANIK** Volume: 77, Pages: S275-S276, ISSN: 0044-2267, Supplement: Suppl. 1, Published: 1997., IF: 0.801.

8. Title: On boundary layer control in two-dimensional transonic wind tunnel testing, Author: **Rašuo B.** Book Editor(s): Meier, GEA; Sreenivasan, KR, Conference: IUTAM Symposium on One Hundred Years of Boundary Layer Research Location: DLR, Gottingen, GERMANY Date: AUG 12-14, 2004, Source: **IUTAM SYMPOSIUM ON ONE HUNDRED YEARS OF**

BOUNDARY LAYER RESEARCH, Book Series: Solid Mechanics and its Applications, Volume: 129, **Springer**, Pages: 473-482, Published: 2006.

9. Title: On solving boundary value problem in fluid mechanics by Fourier's method: Wall interference of transonic wind tunnels: **Rašuo B.** Book Editor(s): Wendyland, WI; Efendiev, M, Conference: International Conference on Multifield Problems Location: Univ Stuttgart, Stuttgart, GERMANY Date: APR 08-10, 2002, Source: **ANALYSIS AND SIMULATION OF MULTIFIELD PROBLEMS**, Book Series: LECTURE NOTES IN APPLIED AND COMPUTATIONAL MECHANICS, Volume: 12, **Springer**, Pages: 317-322, Published: 2003.

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 SCIE 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 SCIE 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 M11,M12,M13,M14,M41 и M51.)

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. 07. 2013._

М.П.
