

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области техничких наука

(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно

1125/5

члану 6. и чл. 7 став 1. овог правилника)

(Број захтева)

25.08.2014. године

(Датум)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији**

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5 тач. 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06)“, дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

РАСТКА (ДИМИТРИЈЕ) ЈОВАНОВИЋА

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **РАСТКО (ДИМИТРИЈЕ) ЈОВАНОВИЋ** уписан на Докторске студије 2010. године.

(име, име једног од родитеља и презиме)

Поднео је захтев за израду докторске дисертације:

АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТУРБУЛЕНТНИХ ТОПЛОТНИХ ПРОЦЕСА У ВРТЛОЖНИМ ГОРИОНИЦИМА

Универзитет је дана 16.09.2013. год. својим актом под бр. 61206-3694/2-13 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТУРБУЛЕНТНИХ ТОПЛОТНИХ ПРОЦЕСА У ВРТЛОЖНИМ ГОРИОНИЦИМА

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **РАСТКА (ДИМИТРИЈЕ) ЈОВАНОВИЋА**
(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 05.06.2014. године, одлуком факултета под бр. 1125/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Бошко Рашуо</u>	Ред.проф.	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
2. <u>Др Предраг Стефановић</u>	Научни саветник	Термоенергетика	ИНН Винча Београд
3. <u>Др Драгослава Стојиљковић</u>	Ред.проф.	Погонски мат.и сагоревање	Машински факултет Београд
4. <u>Др Драган Туцаковић</u>	Ред.проф.	Термотехника	Машински факултет Београд
5. <u>Др Александар Бенгин</u>	Ванредни професор	Ваздухопловство	Машински факултет Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 19.06.2014. године.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом.

2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.

3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности, уколико је таквих примедби било.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1125/4
Датум: 19.06.2014. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу чл. 30. Закона о високом образовању (Сл.гласник 76/05, 100/07 и 44/10) и чл. 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду и извештаја Комисије у саставу: проф.др Бошко Рашуо, ментор, др Предраг Стефановић, научни саветник ИНН Винча, проф.др Драгослава Стојиљковић, проф.др Драган Туцаковић и проф.др Александар Бенгин, о оцени докторске дисертације „Аеродинамичке карактеристике турбулентних топлотних процеса у вртложним горионцима“ докторанта Растка Јовановића, дипл.инж.маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 19.06.2014. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се извештај за оцену и одбрану докторске дисертације **„АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТУРБУЛЕНТНИХ ТОПЛОТНИХ ПРОЦЕСА У ВРТЛОЖНИМ ГОРИОНИЦИМА“** докторанта **РАСТКА ЈОВАНОВИЋА**, дипл.инж.маш.

Извештај о оцени и одбрани докторске дисертације, по истеку рока од 30 дана увида јавности, доставља се на сагласност Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Растка Д. Јовановића**,
дипл. инж. маш., студента докторских студија.

Одлуком 1125/2 бр. од 05.06.2014. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Растка Д. Јовановића, дипл. инж. маш. под насловом

**АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТУРБУЛЕНТНИХ ТОПЛОТНИХ
ПРОЦЕСА У ВРТЛОЖНИМ ГОРИОНИЦИМА**

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Растко Д. Јовановић, дипл. инж. маш. 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).

Кандидат Растко Д. Јовановић, дипл. инж. маш. пријавио је израду докторске дисертације 17. маја 2013. године, бр. 1048/1, Катедри за ваздухопловство Машинског факултета Универзитета у Београду и за ментора предложио редовног професора др Бошка Рашуо.

На основу пријаве кандидата и предлога Катедре, одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду од 13. јуна 2013. године, бр. 1048/3, именована је Комисија за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме у саставу: ментор, Проф. др Бошко Рашуо редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду, др Предраг Стефановић, научни саветник, Институт за Нуклеарне Науке Винча, Проф. др Драгослава Стојиљковић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду, Проф. др Драган Туцаковић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду и Проф. др Александар Бенгин, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду.

Комисија је 8. јула 2013. године, бр. 1048/4, известила Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидат испуњава све услове предвиђене законом и Статутом Машинског факултета Универзитета у Београду за израду докторске дисертације и да предложена тема радног назива „Аеродинамичке карактеристике турбулентних топлотних процеса у вртложним горионцима“ може бити предмет докторске дисертације.

На захтев Растка Д. Јовановића, дипл. инж. маш. и извештаја Комисије у саставу: Проф. др Бошко Рашуо, ментор, др Предраг Стефановић, научни саветник, Институт за Нуклеарне Науке Винча, Проф. др Драгослава Стојиљковић, Проф. др Драган Туцаковић и Проф. др Александар Бенгин, бр. 1048/4 од 8. јула 2013. године, а на основу чл. 128. Закона о високом образовању, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду на седници од 11. јула 2013. године, донело је одлуку бр. 1048/5 да се прихвата предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације „Аеродинамичке карактеристике турбулентних топлотних процеса у вртложним горионцима“ кандидата Растка Д. Јовановића, дипл. инж. маш. и да се за ментора именује проф. др Бошко Рашуо. Одлука је достављена Већу Научних области техничких наука Универзитета у Београду на сагласност.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је дало сагласност на предлог теме докторске дисертације „Аеродинамичке карактеристике турбулентних топлотних процеса у вртложним горионцима“ кандидата Растка Д. Јовановића, дипл. инж. маш., под менторством редовног професора др Бошка Рашуо, 16. септембра 2013. године, одлука бр. 61206-3694/2-13.

На основу одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и именовању ментора и сагласности Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду, декан Машинског факултета у Београду је 11. јула 2013. год. донео закључак бр. 1048/5 да се одобри рад на теми докторске дисертације „Аеродинамичке карактеристике турбулентних топлотних процеса у вртложним горионцима“ кандидату Растку Д. Јовановићу, дипл. инж. маш.

О завршетку докторске дисертације ментор проф. др Бошко Рашуо обавестио је Катедру за ваздухопловство и Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду, дописом број 1125/1 од 27. маја 2014. године. Предложена је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: ментор Проф. др Бошко Рашуо, др Предраг Стефановић, научни саветник, Институт за Нуклеарне Науке Винча, Проф. др Драгослава Стојиљковић, Проф. др Драган Туцаковић и Проф. др Александар Бенгин. На седници Наставно-научног већа 05.06.2014. године је једногласно усвојено обавештење о завршетку дисертације кандидата Растка Д. Јовановића, дипл. инж. маш. и предлог састава Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације (бр. 1125/2 од 05.06.2014. године).

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада области Техничких наука, научна област Машинство. За ментора је одређен др Бошко Рашуо, редовни професор на катедри за Ваздухопловство Машинског факултета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат Растко Д. Јовановић, дипл. инж. маш. 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.

Кандидат Растко Д. Јовановић, дипл. инж. маш. прву годину докторских студија уписао је школске 2010./2011. године на Машинском факултету Универзитета у Београду. У циљу реализације програма усавршавања кандидат Растко Д. Јовановић, дипл. инж. маш. је положио све испите предвиђене планом и програмом докторских студија са просечном оценом 10 (десет). Кандидат Растко Д. Јовановић, дипл. инж. маш. је аутор више радова објављених у међународним часописима и на међународним конференцијама. Четири рада су објављена у часописима са СЦИ листе. Основни правац рада кандидата Растка Д. Јовановића, дипл. инж. маш., током докторских студија и рада на пројектима Технолошког развоја је био експериментално и нумеричко (коришћењем прорачунске 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. Након положених свих испита и испуњених свих осталих обавеза предвиђених Планом и програмом докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду, као и Програмом усавршавања договореним са потенцијалним ментором кандидат Растко Д. Јовановић, дипл. инж. маш. је 17. маја 2013. године Комисији за докторске студије Машинског факултета Универзитета у Београду поднео захтев за пријаву докторске дисертације под радним називом „Аеродинамичке карактеристике турбулентних топлотних процеса у вртложним горионцима“.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација „Аеродинамичке карактеристике турбулентних топлотних процеса у вртложним горионцима“, кандидата Растка Д. Јовановића дипл. инж. маш. изложена је на 200 страна.

Дисертација садржи следећих осам поглавља:

1. Увод,
2. Теоријске основе предложеног математичког модела,
3. Верификација развијеног математичког модела,
4. Експериментално и нумеричко испитивање карактеристика паљења различитих чврстих горива,
5. Испитивање аеродинамичких и перформансних карактеристика постојећих вртложних горионика при сагоревању у конвенционалним и у „oxy-fuel“ условима (односно у мешавини кисеоника и рециркулисаног димног гаса),
6. Испитивање аеродинамичких и перформансних карактеристика новог концепта вртложног горионика при сагоревању у конвенционалним и у „oxy-fuel“ условима,
7. Симулација сагоревања угљеног праха у млазу коришћењем LES (Large Eddy Simulation – Симулација Великих Вртлога) турбулентног модела.
8. Закључак

Дисертација садржи списак од 145 коришћених референци и цитиране литературе на 12 страна и 4 прилога на укупно 47 страна. Дисертација има укупно 70 слика и 22 табеле.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу дисертације истакнут је значај смањења емисије угљендиоксида, пре свега због очекиваног пораста потрошње фосилних горива. Дат је преглед основних мера за смањење емисије аерозагађивача и приказан је концепт сагоревања у мешавини кисеоника

и димног гаса (сагоревање у „oxy-fuel“ условима) као могућег решења за смањење емисије угљендиоксида. Изнесене су основне разлике у тоplotно-струјним карактеристикама гасовитих компоненти при конвенционалном сагоревању у ваздуху и при сагоревању у мешавини кисеоника и димног гаса („oxy-fuel“ сагоревање).

Изнесен је преглед релевантне научне литературе у којем су анализирани карактеристике појединачних фаза процеса сагоревања: деволатилизације, времена закашњења паљења честица чврстог горива, механизма паљења честица чврстог горива, сагоревања издвојених волатила и сагоревања коксног остатка. Посебна пажња је посвећена разликама сваке од наведених фаза при конвенционалном и „oxy-fuel“ сагоревању.

У наставку су приказане карактеристике постојећих експерименталних ложишта и вртложних горионика коришћених за испитивање особина пламена и емисије аерозагађивача при преласку са конвенционалног на сагоревање у „oxy-fuel“ моду, при чему су посебно истакнути услови при којима се у току „oxy-fuel“ сагоревања могу остварити карактеристике пламена и размене топлоте одговарајуће оним при конвенционалном сагоревању што је од посебног значаја за могућност преласка реалних термо-постројења са конвенционалног на „oxy-fuel“ сагоревање.

У следећем делу првог поглавља је дат преглед коришћених математичких модела за симулацију процеса сагоревања у „oxy-fuel“ условима. Истакнути су коришћени под-модел за симулацију сваке од појединачних фаза у току процеса сагоревања (деволатилизације, времена закашњења паљења честица чврстог горива, механизма паљења честица чврстог горива, сагоревања издвојених волатила и сагоревања коксног остатка).

У последњем делу првог поглавља су на основу изнетог прегледа релевантне научне литературе формиране основне хипотезе које овом дисертацијом треба потврдити. Очекује се да ће при сагоревању чврстог горива у лету у мешавини кисеоника и угљендиоксида доћи до промена карактеристика процеса сагоревања у односу на конвенционално сагоревање у ваздуху. Предвиђа се да ће се обогаћивањем угља биомасом, такође, променити карактеристике процеса паљења спрашеног угљеног праха захваљујући високом уделу волатила у биомаси. Услед разлика у струјно-термичким карактеристикама основних гасовитих компоненти при преласку између две описане врсте сагоревања, конвенционалног (азот) и „oxy-fuel“ (угљендиоксид), доћи ће до значајних промена у аеродинамичким карактеристикама вртложних горионика које могу довести до промена у перформансама процеса сагоревања, и емисије аерозагађивача.

Без обзира на наведене разлике приликом промене типа сагоревања, претпоставља се да се одговарајућом аеродинамичком и/или геометријском модификацијом вртложних горионика могу остварити исте или приближно једнаке карактеристике процеса сагоревања у оба случаја (при конвенционалном и „oxy-fuel“ сагоревању).

С обзиром да су стандардни модели деволатилизације, паљења и сагоревања честица чврстог горива засновани на експерименталним подацима изведеним у конвенционалним условима сагоревања у ваздуху они нису погодни за симулацију процеса „oxy-fuel“ сагоревања. У складу са претходно изнесеном претпоставком сматра се да је неопходно приступити развоју и имплементацији нових софистициранијих структурних модела чије перформансе не зависе од унапред дефинисаних услова сагоревања те могу бити успешно примењени и при „oxy-fuel“ сагоревању.

У другом поглављу дисертације су изнесене основне теоријске поставке предложеног математичког модела реактивног двофазног турбулентног струјног тока. Дат је кратак приказ свеобухватног ЦФД (CFD “Computational Fluid Dynamics”, Прорачунска Динамика Флуида) кода ANSYS FLUENT коришћеног за све нумеричке симулације у оквиру ове тезе. Приказане су основне струјно-транспортне једначине ЦФД-а, као и поступци њиховог моделирања: једначина континуитета, једначина количине кретања, једначина енергије струјног тока и једначина концентрације гасовитих компоненти. Посебан део је посвећен процесу моделирања турбуленције коришћењем претпоставке о вртложној вискозности.

У наставку другог поглавља описано је моделирање секундарне фазе (честица чврстог горива) коришћењем “Lagrange”-овог приступа, представљене су основне једначине прорачунских честица: једначина кретања и једначина енергије, такође је описан поступак моделирања утицаја турбуленције на дисперзију прорачунских честица. У даљем тексту су изведени чланови за размену масе, количине кретања и енергије између примарне фазе (флуида) и дисперзне фазе (прорачунских честица).

У оквиру овог поглавља приказан је и стандардни FLUENT-ов модел паљења и сагоревања прорачунских честица при чему су посебно описани подмодели механизма загревања честица, деволатилизације честица, сагоревања волатила и сагоревања коксног остатка. Посебна пажња је посвећена опису и имплементацији структурног модела (FG – „Functional Group“) деволатилизације који у обзир узима реалан састав волатила у FLUENT-ов „solver“ коришћењем сета корисничких рутина. Истакнуте су основне предности наведеног модела деволатилизације у односу на стандардне моделе који користе генерички угљоводоник базиран на хемијској анализи узорка као једину компоненту деволатилизације. Приказан је поступак свођења главних интегро-диференцијалних једначина предложеног деволатилизационог модела на облик погодан за уградњу у комерцијалне ЦФД кодове.

Детаљно су представљени стандардни секвенцијални FLUENT-ов модел паљења који претпоставља хомогено паљење честица, као и кориснички модел који обухвата оба могућа типа паљења честица (хомогени и хетерогени) са основним критеријумима за избор одговарајућег механизма паљења (хомогеног односно хетерогеног) у току прорачуна карактеристика честица у реактивном струјном пољу. Посебан део је посвећен опису реакција са коксним остатком. Уместо стандардног FLUENT-ов модел сагоревања коксног остатка које је описано једном глобалном реакцијом коксног остатка са кисеоником чији је производ угљендиоксид предложен је проширени хемијски механизам сагоревања и гасификације коксног остатка који осим претходно наведене реакције обухвата и две додатне реакције коксног остатка, са воденом паром и са угљендиоксидом, које имају изражен утицај при „oxy-fuel“ сагоревању.

У наставку су представљени хемијски механизми којима се описују реакције у гасној фази: стандардни FLUENT-ов механизам сагоревања волатила који се састоји од две хемијске реакције и софистициранији кориснички модел који се састоји од укупно шест глобалних реакција, а такође је дат и приказ математичких модела којима се описује дејство ових реакција у турбулентном реактивном струјном току.

У даљем тексту другог поглавља је описан поступак моделирања механизма формирања азотних оксида који у обзир узима настанак температурног и горивог NO-а. Дефинисане су основне транспортне једначине модела са одговарајућим изворним члановима које се користе у нумеричком прорачуну концентрације NO-а.

У последњем делу другог поглавља је описано моделирање процеса преноса топлоте зрачењем коришћењем „DO – Discrete Ordinates“ модела.

Предмет трећег поглавља дисертације је валидизација предложеног модела сагоревања и његово поређење са експерименталним подацима из расположиве научне литературе, као и са два FLUENT-ова модела сагоревања најчешће примењивана при симулацији процеса сагоревања спрашеног горива у лету у стандардним и „oxy-fuel“ условима. За поређење су изабрани експериментални подаци добијени при сагоревању битуминузног угља у лету у „IFRF“-овом полу-индустријскомк ложишту са аеродинамички конфигурисаним гориоником за ступњевито увођење ваздуха топлотне снаге $2.4 MW_t$. Експериментални подаци изложени у раду „Weber“-а и коаутора су добијени мерењем вредности статичке температуре гасне фазе, масеног удела кисеоника, угљендиоксида, угљенмоноксида и азотних оксида на аксијалним растојањима $0.25 m$ и $0.75 m$ од фронта горионика. Наведене величине су мерене на радијалним растојањима у опсегу $0 m - 0.75 m$ од осе горионика. Добијени резултати су показали значајно боље слагање података добијених нумеричким прорачуном коришћењем предложеног модела сагоревања са експерименталним вредностима у односу на стандардне FLUENT-ове моделе.

У четвртном поглављу су експериментално испитиване карактеристике процеса паљења чврстих горива: две врсте битумонозних угљева (руског и јужноафричког), биомасе (дрвене пиљевине) и мешавина наведених угљева и дрвене пиљевине у лабораторијском вертикалном цевном реактору. Приказани су основни елементи лабораторијског реактора, као и поступак извођења експеримента. Испитивање карактеристика паљења је вршено у опсегу температура реактора $800 - 1350\text{ }^{\circ}\text{C}$ у атмосфери са различитим хемијским саставом. Испитивања су вршена у O_2/N_2 и O_2/CO_2 смешама са запреминским уделом кисеоника 0, 21, 27, 35, 50, 75, 95 и 100% у азоту односно угљендиоксиду. Укупно је урађено 148 тестова паљења чврстог горива. Процес паљења је сниман камером велике брзине одзива, при чему је као критеријум паљења усвојен снимак на којем је регистрован први визуелни траг пламена. Основни резултати експерименталних испитивања су добијена зависност растојања пламена од фронта горионика и температура оксиданта при којој долази до паљења честица чврстог горива у зависности од хемијског састава оксиданта, температуре оксиданта и врсте горива.

Сви експериментални тестови су нумерички симулирани при чему су коришћени описани кориснички модел сагоревања и један стандардни FLUENT-ов модел сагоревања. Као критеријум паљења је усвојен положај наглог пораста температуре честице односно превојна тачка на прорачунској кривој зависности температуре честице од растојања од фронта горионика. Нумерички резултати добијени коришћењем стандардног FLUENT-овог модела сагоревања су показали задовољавајуће слагање са експерименталним подацима само у уском опсегу малих удела кисеоника и при малим температурама. Са повећањем удела кисеоника у обе смесе и повећањем температуре стандардни FLUENT-ове модел сагоревања је показао незадовољавајуће перформансе предвиђајући положај пламена на значајно већим растојањима од осе горионика од експериментално утврђених. Предложени модификовани модел сагоревања је показао веома добро слагање у целом опсегу експерименталних услова што се може приписати коришћењем структурног FG моделу деволатилизације као и могућности предвиђања хетерогеног паљења до кога долази при повишеним уделима кисеоника и при великим температурама оксиданта (узимајући у обзир фину мељаву експерименталних узорака испитиваних горива). С обзиром на претходно наведене нумеричке резултате, симулација температуре оксиданта при којој долази до паљења честица чврстог горива је симулирана само коришћењем модификованог модела сагоревања при чему је постигнуто веома добро слагање са добијеним експерименталним вредностима.

У петом поглављу ове дисертације аутор се бавио испитивањем могућности постојећег вртложног горионика примарно намењеног сагоревању у конвенционалним условима за рад у „oxy-fuel“ моду. Испитивани модел вртложног горионика се састоји од два коаксијална вода, унутрашњег кроз који се врши увођење смесе примарног оксиданта и угљеног праха и спољашњег кроз који се врши увођење и вртложење секундарног оксиданта. Струјно-термичке карактеристике вртложног горионика су испитиване у цилиндричном хоризонталном полу-индустријском ложишту са могућношћу рецикулације димног гаса, односно при конвенционалном сагоревању и у „oxy-fuel“ условима сагоревања. Топлотна снага на улазу у експериментално ложиште је била једнака при оба мода сагоревања – 250 kW . При конвенционалном сагоревању као примарни односно секундарни оксидант је коришћен ваздух температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ односно $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ док је при „oxy-fuel“ сагоревању као примарни оксидант коришћена O_2/CO_2 смеша са запреминским уделом кисеоника 23%, а као секундарни оксидант O_2/CO_2 смеша са запреминским уделом кисеоника 47%, што даје укупни запремински удео кисеоника у гасовитој смеси од 35%. Наведени састав примарног и секундарног оксиданта је одређен тако да при сагоревању у „oxy-fuel“ условима даје адијабатску температуру пламена једнаку или приближну оној при конвенционалном сагоревању. Резултати експерименталних испитивања обухватају статичку температуру на два различита аксијална растојања од фронта горионика, статичку температуру на излазу из ложишта, као и концентрације азотних оксида, и угљен диоксида на излазу из ложишта. Добијени експериментални резултати су показали приближне вредности статичке

температуре на излазу из ложишта у оба испитивана случаја, као и релативно мало смањење концентрације азотних оксида при „oxy-fuel“ сагоревању.

Како би се обезбедио потпунији увид у карактеристике процеса сагоревања у конвенционалним и у „oxy-fuel“ условима паралелно са експерименталним испитивањем извршена је и ЦФД симулација оба описана случаја коришћењем предложеног и у овој фази валидизованог модела сагоревања. Добијени нумерички резултати су показали да при преласку са конвенционалног на „oxy-fuel“ сагоревање долази до значајних промена у аеродинамичким карактеристикама горионика. Брзина примарног оксиданта на улазу у горионик је у оба случаја била приближно једнака и одређена тако да обезбеди неометано увођење угљеног праха у лету у експериментално ложиште. Како је густина угљендиоксида већа од густине азота долази до значајног повећања масеног протока примарног оксиданта при „oxy-fuel“ сагоревању. Последишно, при „oxy-fuel“ сагоревању, услед значајног дела рециркулисаног димног гаса коришћеног за примарни оксидант долази до смањења масеног протока секундарног оксиданта, као и до смањења брзине секундарног оксиданта што доводи до промене аеродинамичких карактеристика горионика. Промена у аеродинамичким карактеристикама горионика се пре свега огледа у редукцији рецикулационе зоне при „oxy-fuel“ сагоревању у односу на сагоревање у конвенционалним условима. Ова појава је условљена значајним смањењем количине кретања секундарног оксиданта у oxy-fuel“ условима. Промене рецикулационе зоне у близини фронта горионика доводе до промена у карактеристикама паљења и облику пламена. Наиме, смањење рецикулационе зоне при „oxy-fuel“ сагоревању доводи до одложеног паљења честица спрашног угља, као и до другачије расподеле температуре гасне фазе у ложишту.

Иако су резултати експерименталних и нумеричких испитивања у петом поглављу показали да се постојећи вртложни горионици могу користити и у „oxy-fuel“ условима сагоревања, значајне промене у расподели температура и пољу брзина у ложишту при преласку са конвенционалног на „oxy-fuel“ сагоревање су показале потребу за конструкцијом и испитивањем аеродинамичких и топлотних карактеристика вртложног горионика прилагођеног сагоревању у „oxy-fuel“ моду што је предмет шестог поглавља ове тезе. Предложена је конструкција горионика којом се секундарна струја дели на два вода, при чему се попречни пресек ових водова значајно разликује. Основна идеја овакве конструкције је да се преласком на „oxy-fuel“ сагоревање већи део секундарног оксиданта уводи кроз секундарни вод малог попречног пресека чиме се повећава брзина струјања и количина кретања секундарног оксиданта, односно остварује однос количине кретања примарног и секундарног оксиданта приближне вредности као при конвенционалном сагоревању. Нумеричка симулација конвенционалног и „oxy-fuel“ сагоревање угљеног праха у лету са новом концепцијом вртложног горионика је показала да при „oxy-fuel“ сагоревању долази до развоја интензивније рецикулационе зоне у близини горионика. Прорачунате вредности поља брзина и расподеле температуре су приближно једнаке при оба типа сагоревања.

Експериментална испитивања на полу-индустријском цилиндричном ложишту су потврдила резултате ЦФД модела, при чему посебно треба истаћи да је осим веома блиских вредности статичке температуре на излазу из ложишта при оба типа сагоревања постигнуто и значајно смањење концентрације азотних оксида.

У седмом поглављу дисертације приказана је симулација сагоревања угљеног праха у лету при различитим радним условима применом „LES – Large Eddy Simulation“ модела турбуленције. Основна карактеристика LES турбулентног модела је да се коришћењем процеса „филтрирања“ вртложних скала целокупни спектар турбуленције дели на два дела: опсег великих вртлога који се директно решавају и опсег малих вртлога који се моделирају. Коришћењем овог напредног модела турбуленције било је могуће предвидети карактеристике паљења и сагоревања које нису обухваћене стандардним турбулентним моделима вртложне вискозности. Добијени резултати позиције паљења, развоја, облика и дужине пламена се добро слажу са експериментално регистрованим, те се може закључити, да је коришћењем прилагођеног LES турбулентног модела предложени нумерички модел

сагоревања чврстих горива у лету значајно унапређен, чиме је основна хипотеза која је постављена у дисертацији и потврђена.

У осмом поглављу дисертације изнет је детаљан закључак са критичком анализом остварених резултата спроведених експерименталних истраживања и нумеричких симулација. Такође су дате могуће смернице за даља истраживања из области ове значајне дисертације. Истакнут је научни допринос дисертације као и могућност примене добијених резултата у реалним условима (на горионицима и ложиштима реалних термо-блокова).

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација „Аеродинамичке карактеристике турбулентних топлотних процеса у вртложним горионицима“ даје савремен и оригиналан приступ истраживању процеса сагоревања чврстих горива у атмосфери са различитим хемијским саставом. Научни допринос ове дисертације се пре свега огледа у стварању јединствене базе података карактеристика процеса паљења различитих врста чврстих горива у великом опсегу радних услова коришћењем експерименталних података добијених на унапређеном лабораторијском цевном ложишту, развоју софистицираног нумеричког модела за симулацију процеса сагоревања чврстих горива у конвенционалним и „oxy-fuel“ условима који је базиран на оригиналном приступу моделирања процеса деволатилизације и паљења/сагоревања честица чврстог горива у лету, иновативној методи примене развијеног модела за аеродинамичку и геометријску оптимизацију и развој вртложног горионика за рад у „oxy-fuel“ условима, као и у експерименталном испитивању предложене конфигурације горионика на полу-индустријском ложишту.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији је коришћена обимна литература из области сагоревања чврстих горива, а пре свега угљеног праха, у лету. Коришћена литература се може поделити на три групе: радови који се баве експерименталним испитивањима карактеристика фундаменталних процеса при конвенционалном и „oxy-fuel“ сагоревању, радови који се баве експерименталним испитивањима карактеристика пламена, конструкције и аеродинамике горионика и емисије аерозагађивача при преласку са конвенционалног на „oxy-fuel“ сагоревање и радови који се баве симулацијом наведених типова сагоревања чврстих горива применом прорачунске динамике флуида и методе коначних запремина. Литература је кандидату послужила као полазна основа за формирање прегледа досадашњих истраживања из области конвенционалног и „oxy-fuel“ сагоревања. Самим тим, дат је релевантан приказ тренутног стања у области којој припадају проблеми разматрани у докторској дисертацији. Коришћена научна литература је служила као почетна основа за конципирање дела експерименталних испитивања, а такође је указала на могуће правце побољшања постојећих и имплементацију софистициранијих нумеричких модела коришћених за симулацију сагоревања чврстих горива у лету.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Научне методе које су 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 су значајно модификоване.

Ложиште цевног реактора је потпуно замењено новим веће висине (1500 mm.) израђеним од високо термоотпорне керамике. На тај начин је омогућено истраживање феномена паљења и карактеристика пламена и у екстремним условима, у мешавинама O_2/N_2 и O_2/CO_2 са уделима O_2 5-100% у опсегу температура 1000-1400 °C. Испитивања су вршена за две различите врсте угљева, једну врсту биомасе и за њихове мешавине. Укупно је извршено преко 140 тестова паљења са мерењем температуре паљења, одстојања пламена од фронта горионика, и стабилности пламена, што је омогућило стварање оригиналне базе података о процесу паљења и карактеристикама пламена ових горива у веома широком опсегу нових услова.

Полу-индустријско хоризонтално ложиште снаге 0.5 MW_T такође је значајно измењено да би се омогућило испитивање перформанси вртложних горионика при сагоревању и у конвенционалном и у новом - „oxy-fuel“ моду. Инсталирани су специјални контејнери са O_2 и CO_2 гасовима који су коришћени за стартовање „oxy-fuel“ процеса у ложишту. Ложиште је потпуно заптвено и опремљено системом за пречишћавање и рецикулацију димног гаса како би се омогућило континуирано испитивање карактеристика „oxy-fuel“ сагоревања. На хоризонталном ложишту су извршена испитивања два различита типа вртложних горионика при сагоревању угљеног праха у стандардном и у „oxy-fuel“ моду пре свега са становишта карактеристика пламена и емисије аерозагађења.

Испитивање коришћењем нумеричког моделирања је било подељено у више фаза. У првој фази нумерички су симулирани сви експерименти изведени на цевном ложишту коришћењем стандардних модела турбуленције, деволатилизације, паљења и сагоревања коксоног остатка. Како је закључено да је одступање нумерички добијених резултата од експерименталних вредности превише велико приступило се развоју напреднијих модела за сагоревање.

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 замењен је структурним моделом деволатилизације који у обзир узима реалну композицију воалтила 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) је 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 врши се у оквиру самог модела паљења на основу брзине хемијских процеса деволатилизације, сагоревања честице чврстог горива и сагоревања коксног остатка, а у зависности од температуре флуидне струје, хемијског састава флуида и величине честице.

У финалној фази развоја напредних нумеричких модела модификован је механизам хемијских реакција у гасној фази, као и механизам реакција коксног остатка увођењем додатних реакција како би се што потпуније описао процес сагоревања чврстих горива у широком опсегу радних услова.

3.4. Применљивост остварених резултата

Кандидат Растко Д. Јовановић је радом на докторској дисертацији остварио значајне научно-истраживачке резултате са трајном научном вредношћу и практичном применљивошћу у области сагоревања чврстих горива у атмосфери са различитим хемијским саставом.

Оригинални резултати остварених лабораторијских експерименталних истраживања примењени су за развој и верификацију предложеног нумеричког модела. Велики број експериментално испитиваних случајева у стандардним и новим радним условима омогућио је стварање јединствене базе података о процесу паљења и карактеристикама пламена ових горива у веома широком опсегу радних услова, што је обезбедило могућност фине калибрације предложеног оригиналног нумеричког модела, као и његову високу поузданост.

Развијени и верификовани нумерички модел је интензивно примењиван при испитивању аеродинамичких и перформансних карактеристика модела вртложног горионика и указао је на могућу концепцију конструкције новог вртложног горионика прилагођеног раду у „oxy-fuel“ условима. Резултати нумеричке симулације конвенционалног и „oxy-fuel“ сагоревања на два типа вртложних горионика (стандардног и модификованог) су потврђени експерименталним испитивањима.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде дисертације показао способност самосталног извођења научно-истраживачких пројеката, као и способност решавања техничких проблема применом савремених научно-истраживачких метода. Велико радно искуство у области експерименталног испитивања и нумеричке симулације сагоревања чврстих горива у широком опсегу радних услова који није ограничен само на конвенционално и „oxy-fuel“ сагоревање пружају основу за даљи квалитетан самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни допринос ове дисертације је остварен у:

- Унапређењу експерименталне инсталације и експерименталног поступка одређивања карактеристика процеса паљења и карактеристика пламена различитих чврстих горива. Оригиналност модификованог лабораторијског вертикалног цевног ложишта се пре свега огледа у новом начину увођења примарног и секундарног оксиданта у ложиште којим се обезбеђује њихово мешање на приближно једнак начин као код вртложних горионика, као и у могућности извођења експеримената у екстремним условима, при великим температурама оксиданта, као и у широком опсегу хемијских састава испитиваних O_2/N_2 и O_2/CO_2 мешавина. Оригинална концепција коришћене експерименталне инсталације омогућује извођење великог броја научних експеримената у кратком временском року - више десетина испитивања различитих узорака чврстог горива у току једног радног дана.
- Стварању јединствене научне базе података, коришћењем расположивих експерименталних резултата са лабораторијског цевног ложишта, о карактеристикама паљења различитих врста угљева, биомасе и мешавина угљева и биомасе. Научни допринос наведене базе података се посебно огледа у новим подацима о утицају додавања биомасе на карактеристике паљења различитих врста угљева, с обзиром да у релеватној научној литератури постоји недостатак систематизованих резултата о утицају обогаћивања угља биомасом на карактеристике паљења.

- Приликом креирања систематизоване базе података са карактеристикама паљења различитих врста угљева, биомасе и мешавина угљева и биомасе начињен је научни искорак на пољу услова експерименталних испитивања с обзиром да су узорци испитивани на температурама оксиданта до $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$ и у целокупном могућем опсегу удела кисеоника у O_2/N_2 и O_2/CO_2 смешама - 5-100%.
- Оригиналном концепту испитивања и развоја вртложних горионика, при коме је усвојен јасан научни критеријум односа момента количине кретања примарног и секундарног оксиданта чијим коришћењем се при аеродинамичкој модификацији постојећих и развоју нових вртложних горионика осим основног критеријума задовољавања једнаке адијабатске температуре пламена обезбеђује једнака или бар приближна расподела поља брзина и расподела преноса топлоте при конвенционалном и новом типу сагоревања у мешавини кисеоника и рециркулисаног димног гаса (“oxy-fuel“ сагоревање)
- Одређивању утицаја различитих нових геометријских и аеродинамичких конфигурација вртложних горионика на карактеристике пламена и емисију аерозагађења при конвенционалном сагоревању као и при новом типу сагоревања угљеног праха у лету у мешавини кисеоника и рециркулисаног димног гаса, као и при међусобном поређењу карактеристика два наведена типа сагоревања.
- Развоју и имплементацији нових 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.
- Посебно је потребно истаћи научни искорак начињен на пољу моделирања деволатилизације, уградњом структурног „FG - Functional Group“ модела деволатилизације у „solver“ ЦФД кода ANSYS FLUENT, с обзиром на чињеницу да су структурни модели до сада коришћени само за одређивање улазних података за једноставније емпиријске моделе деволатилизације, а не и у оквиру самих ЦФД пакета. Уграђени модел узима у обзир реалну слику волатила, чиме се постиже могућност тачнијег моделирања процеса паљења и сагоревања чврстих горива. Научни допринос уградње и коришћења овог модела се огледа и у чињеници да, за разлику од једноставнијих емпиријских модела деволатилизације, наведени структурни FG модел не захтева додатна експериментална мерења за одређивање кинематских параметара деволатилизације, већ је за његово коришћење довољно познавање само хемијске анализе горива. На овај начин се могу постићи значајне уштеде како у експерименталној опреми тако и у времену испитивања.
- Уградњи напредног модела паљења чврстих горива који у обзир узима оба могућа механизма паљења (хомогено и хетерогено) у ЦФД код ANSYS FLUENT, чиме је начињен значајан научни искорак на пољу моделирања сагоревања чврстих горива у спрашеном стању, с обзиром да постојећи комерцијални и „open-source“ ЦФД кодови могу да моделирају само хомогено паљење чврстог горива што не одговара реалним условима у току

којих fine честице чврстог горива при повишеним температурама могу сагоревати и хетерогеним механизмом.

- Оригиналнoј методологији аеродинамичке оптимизације која је коришћена у току испитивања стандардног вртложног горионика и поправљању његових перформанси могућности при новој врсти сагоревања у мешавини кисеоника и димног гаса са становишта карактеристика пламена, и емисије аерозагађења (CO и NO_x), као и у развоју оригиналног концепта вртложног горионика намењеном сагоревању у “oxy-fuel” условима. Наведени методолошки приступ се заснива на међуспреси нумеричких и експерименталних испитивања, у току саме оптимизације и развоја вртложних горионика, при чему је поузданост модела константно експериментално проверавана, док је развијени модел коришћен за добијање неопходних података који се не могу одредити експерименталним испитивањима.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне научне литературе и сагледавања постојећих решења из области докторске дисертације, констатујемо да су резултати истраживања у тези значајни и да су применљиви у пракси. Истовремено, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, можемо закључити да су пружени одговори на сва релевантна питања и решени проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања.

Установљене чињенице истраживања су корак напред и воде ка унапређењу постојећих података о карактеристикама процеса сагоревања чврстих горива у широком опсегу радних услова, а пре свега употпуњавају податке о процесу паљења при великим температурама, као и о утицају додавања биомасе на карактеристике процеса паљења угљеног праха.

Развијени комплексни нумерички модел поседује велику применљивост с обзиром да је конципиран за симулацију процеса сагоревања чврстих горива у различитим радним условима и интензивно верификован како лабораторијским тако и полу-индустријским експерименталним испитивањима. Значајно је истаћи да је поменути нумерички модел интензивно коришћен при развоју новог концепта вртложног горионика.

4.3. Верификација научних доприноса

Радови објављени у научним часописима међународног значаја

- **Радови у врхунским међународним часописима (M21):**

1. **Jovanović P.**, 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* (54), pp. 921-931, 2011 (IF=2.315) (ISSN 0016-2361).
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 O_2/N_2 and O_2/CO_2 atmospheres - *Fuel* (101), pp. 23-37, 2012 (IF=3.357) (ISSN 0016-2361).

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* (58), pp. 654-662, 2013 (IF=2.315) (ISSN 0016-2361).
 4. **Jovanović R.**, Cvetinović D., Erić M., Rašuo B., Adžić M.: Sensitivity analysis of different kinetic factors for numerical modeling of Serbian lignite devolatilization process - *International Journal of Heat and Mass Transfer* (72), pp. 489-500, 2014 (IF=2.315) (ISSN 0016-2361).
- 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* (36), pp. 67-74, 2008 (ISSN 1451-2092).
 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* (13), 17 pages, 2008, (DOI: 10.1615/ICHMT.2008.CHT).
 3. **Jovanovic R.**, Rašuo, B., Erić, M., Cvetinović D. and Stefanović, P., Mathematical Modeling of Combustion of Single Porous Pulverized Coal Particle Using Lattice Approach, PAMM, WILEY--VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, Volume 13, Issue 1, December 2013, Pages: 315–316, DOI: 10.1002/pamm.201310153.

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“ - *Proceedings of International Conference Power Plants* 2006, Vrnjacka Banja, Serbia, 2012, proceeding on CD, paper no. 18, 11 pages.
 2. **Jovanović R.**, Stevanović Ž., Turanjanin V., Pezo M.: „Current wind turbines technology status and trends“ - *Proceedings of International Conference Power Plants* 2006, Vrnjacka Banja, Serbia, 2012, proceeding on CD, paper no. 6, 7 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“ - *Proceedings of The Fifth International Symposium on radiative Transfer*, 2007, Bodrum, Turkey, pp. 71-73.
 4. Milewska A., Swiatkowski B., **Jovanovic R.**, „Simultaneous Devolatilisation and Char Combustion in Oxyfuel Coal Combustion. Flame Stand-off Distance“: *Proceedings of 1st OXYFUEL COMBUSTION CONFERENCE*, 2009, Cottbus Germany, proceeding on CD, 6 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“ - *Proceedings of 8th European Conference on Coal Research and its Applications* 2010, Leeds, Great Britain, paper no. 113, 15 pages.
 6. Cvetinović D., Čantrak S., Stefanović P., Marković Z., **Jovanović R.** Erić M.: „Turbulent Axisymmetric Self-Sustained Oscillating Air Jet Flow Characteristics“ – *Proceedings of III International Symposium Contemporary Problems of Fluid Mechanics* 2011, Belgrade, Serbia, pp. 223-231.
 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“ - *Proceedings of III International Symposium Contemporary Problems of Fluid Mechanics* 2011, Belgrade, Serbia, pp. 231-249.
8. **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“ - *Proceedings of 9th European Conference on Coal Research and its Applications* 2012, Nottingham, Great Britain, paper no. 27, 17 pages.
 9. **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, Proceedings on CD, 1269-1282.
 10. **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.
 11. **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.

Техничка и развојна решења

- **Критичка евалуација података, база података, приказани детаљно као део међународних пројеката, публиковани као интерне публикације или приказани на Интернету**
 1. P. Stefanović, D. Cvetinović, M. Erić, N. Živković, Z. Marković, P. Škobalj, **R. Jovanović**, V. Spasojević, 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, 43 strane.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација под називом „АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТУРБУЛЕНТНИХ ТОПЛОТНИХ ПРОЦЕСА У ВРТЛОЖНИМ ГОРИОНИЦИМА“, кандидата Растка Д. Јовановића, дипл. инж. маш., садржи савремен и оригиналан научни допринос, који омогућава целовиту анализу разматраних проблема у вези са експерименталним и нумеричким одређивањем карактеристика паљења чврстих горива у широком опсегу радних услова и примени стечених знања на аеродинамичку модификацију вртложних горионика за рад при конвенционалном сагоревању угљеног праха у лету, као и при сагоревању угљеног праха у мешавини кисеоника и рециркулисаног димног гаса („оxygen-fuel“ сагоревање). На основу онога што је приказано у докторској дисертацији и чињенице да је анализирана проблематика изузетно актуелна, са задовољством се констатује да је кандидат Растко Д. Јовановић, дипл. инж. маш., студент докторских студија успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима. Кандидат је дошао до оригиналних научних резултата, који су и верификовани, што им обезбеђује широку примену у области експерименталног испитивања и нумеричког моделирања процеса сагоревања чврстих горива у различитим радним условима.

На основу прегледа докторске дисертације од стране Комисије за оцену и одбрану докторске тезе под називом „АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТУРБУЛЕНТНИХ ТОПЛОТНИХ ПРОЦЕСА У ВРТЛОЖНИМ ГОРИОНИЦИМА“, кандидата Растка Д. Јовановића, дипл. инж. маш., са задовољством се констатује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима у научно-истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању и Статутом Машинског факултета у Београду. Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да Извештај прихвати, дисертацију стави на увид јавности и упуту извештај на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да се након тога кандидат позове на јавну одбрану.

У Београду 12. 06. 2014. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф. др Бошко Рашуо, Машински факултет Универзитета у Београду

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

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

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

.....
Проф. др Александар Бенгин, Машински факултет Универзитета у Београду

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:1125/5
Датум: 19.06.2014. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 63. Статута Машинског факултета Универзитета у Београду број 1876/1 од 04.10.2013. године и члана 37. Правилника о докторским студијама, Наставно-научно веће на седници одржаној 19.06.2014. године, донело је

ОДЛУКУ

I Прихвата се извештај о позитивној оцени урађене докторске дисертације коју је поднео **РАСТКО ЈОВАНОВИЋ**, дипл.инж.маш. и одобрава јавна одбрана дисертације по добијању сагласности од Универзитета, под насловом: „**АЕРОДИНАМИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТУРБУЛЕНТНИХ ТОПЛОТНИХ ПРОЦЕСА У ВРТЛОЖНИМ ГОРИОНИЦИМА**“

II Универзитет је дана 16.09.2013. године, својим актом број 61206-3694/2-13 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата.

III Радови кандидата у часопису међународног значаја:

1. **Jovanovic 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 (54), pp. 921-931, 2011 (IF=2.315) (ISSN 0016-2361).
2. **Jovanovic 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 (101), pp. 23-37, 2012 (IF=3.357) (ISSN 0016-2361).
3. **Jovanovic R.**, Rašuo B., Stefanović P., Cvetinovic D., Swiatkowski B.: Numerical investigation of pulverized coal jet flame characteristics under different oxy-fuel conditions - International Journal of Heat and Mass Transfer (58), pp. 654-662, 2013 (IF=2.315) (ISSN 0016-2361).
4. **Jovanovic R.**, Cvetinović D., Erić M., Rašuo B., Adžić M.: Sensitivity analysis of different kinetic factors for numerical modeling of Serbian lignite devolatilization process - International Journal of Heat and Mass Transfer (72), pp. 489-500, 2014 (IF=2.315) (ISSN 0016-2361).

Одлуку доставити: кандидату, ментору, Катедри за ваздухопловство и архиви факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић