

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно члану 6. и чл. 7 став 1. овог правилника)

691/4
(Број захтева)
23.08.2010. 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:

АЛЕКСАНДРА (МИОДРАГ) ЕРИЋА
(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **АЛЕКСАНДАР (МИОДРАГ) ЕРИЋ**
(име, име једног од родитеља и презиме)

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

ТЕРМОМЕХАНИЧКИ ПРОЦЕСИ ПРИ САГОРЕВАЊУ БАЛИРАНОГ СОЈИНОГ ОСТАТКА У ПОТИСНОМ ЛОЖИШТУ

Универзитет је дана 03.07.2009. год. својим актом под бр 612-25/116/09 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

ТЕРМОМЕХАНИЧКИ ПРОЦЕСИ ПРИ САГОРЕВАЊУ БАЛИРАНОГ СОЈИНОГ ОСТАТКА У ПОТИСНОМ ЛОЖИТУ

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **АЛЕКСАНДРА (МИОДРАГ) ЕРИЋА**
(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 06.05.2010. године, одлуком факултета под бр 691/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Мирко Коматина</u>	редовни професор	Термомеханика	Машински факултет Београд
2. <u>Др Милош Бањац</u>	Ванредни професор	Термомеханика	Машински факултет Београд
3. <u>др Драгослава Стојиљковић</u>	Ванредни професор	Сагоревање	Машински факултет Београд
4. <u>Др Стеван Немода</u>	Виши научни сарадн.	Термотехника, сагоревање	ИНН Винча
5. <u>Др Драгољуб Дакић</u>	Виши научни сарадн.	Термотехника, сагоревање	ИНН Винча

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 08.07.2010. 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: 691/4
Датум:
Београд, Краљице Марије 16

На основу чл. 128. Закона о високом образовању и извештаја Комисије у саставу: проф.др Мирко Коматина, ментор, проф.др Милош Бањац, проф.др Драгослава Стојиљковић, др Стеван Немода, виши научни сарадник ИНН Винча и др Драгољуб Дакић, виши научни сарадник ИНН Винча, о оцени докторске дисертације „Термомеханички процеси при сагоревању балираног сојиног остатка у потисном ложишту“ докторанта мр Александра Ерића, дипл.инж.маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 08.07.2010. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се извештај за оцену и одбрану докторске дисертације **„ТЕРМОМЕХАНИЧКИ ПРОЦЕСИ ПРИ САГОРЕВАЊУ БАЛИРАНОГ СОЈИНОГ ОСТАТКА У ПОТИСНОМ ЛОЖИШТУ“** докторанта **мр АЛЕКСАНДРА ЕРИЋА**, дипл.инж.маш.

Одобрава се одбрана докторске дисертације пошто се докторска дисертација са извештајем Комисије за оцену и одбрану ставља на увид јавности у трајању од 30 дана и уколико не буде примедби на докторску дисертацију и извештај Комисије за оцену и одбрану, доставља се Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду да да сагласност на извештај о урађеној докторској дисертацији.

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
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Александра М. Ерића

На основу одлуке Наставно-научног већа број 691/2 од 06.05.2010. године именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације мр Александра М. Ерића, дипл. инж. маш. под насловом “ТЕРМОМЕХАНИЧКИ ПРОЦЕСИ ПРИ САГОРЕВАЊУ БАЛИРАНОГ СОЈИНОГ ОСТАТКА У ПОТИСНОМ ЛОЖИШТУ”.

После детаљног проучавања приложене докторске дисертације подносимо следећи

**ИЗВЕШТАЈ
О УРАЂЕНОЈ ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ**

1. УВОД

1.1. Наслов дисертације:

Докторска дисертација кандидата мр Александра М. Ерића, дипл. инж. маш., под насловом „Термомеханички процеси при сагоревању балираног сојиног остатка у потисном ложишту“ садржи 199 стране са 105 слика и 34 табеле. Дисертација има податке о ментору и комисији за оцену и одбрану, предговор, садржај, апстракт на српском и енглеском језику, номенклатуру, седам поглавља, литературу са списком од 127 референци и биографију кандидата.

1.2. Хронологија одобравања и израде дисертације:

Кандидат мр Александар Ерић дипл. маш. инж. је 25. децембра 2008. године Наставно-научном већу Машинског факултета поднео молбу број 1497/1 да му се одобри израда докторске дисертације под насловом „Термомеханички процеси при сагоревању балираног сојиног остатка у потисном ложишту“. На основу тога и на предлог Катедре за примењену термодинамику од 12.02.2009. године именована је Комисија за припрему извештаја о испуњености услова кандидата и о научној заснованости теме. Та Комисија је установила да кандидат испуњава услове за израду дисертације и да је предложена тема научно заснована у домену актуелних тема у области термомеханике, па је сачинила извештај број 554/1 и упутила га Наставно-научном већу 14. маја 2009. године са предлогом да се мр Александру Ерићу одобри израда докторске дисертације под насловом „Термомеханички процеси при сагоревању балираног сојиног остатка у потисном ложишту“. За ментора је предложен проф. др Мирко С. Коматина. Стручно веће области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на научну заснованост теме и именовање ментора на својој седници одржаној 03.07.2009. године, на основу чега је Декан Машинског факултета одобрио израду ове докторске дисертације својом Одлуком број 959/1 од 11. септембра 2009. године. Ментор проф. др

Мирко С. Коматина је 30.04.2010. године обавестио Катедру за примењену термомеханику о завршетку докторске дисертације. На предлог Катедре Научно наставно веће Машинског факултета је на седници одржаној 06.05.2010. донело је Одлуку бр. 691/2 о именовању Комисије за оцену и одбрану.

1.3. Место дисертације у одговарајућој научној области:

Примењена термомеханика

1.4. Биографски подаци о кандидату:

Александар М. Ерић је рођен 24. септембра 1978. године у Аранђеловцу. Средњу школу је завршио 1997. године у Тополи, са звањем машински техничар у Средњој техничкој школи “Милић Радовановић”. Машински факултет у Београду је уписао 1997. године, а дипломирао у јулу 2002. године на смеру Термотехника са темом “Неки од начина повећања степена корисности термо-акумулационих пећи и котлова мале снаге”. На Машинском факултету у Београду је 2006. године одбранио магистарску тезу под насловом „Преношење топлоте и супстанције при гасификацији биомасе у флуидизованом слоју“ на катедри за Примењену термомеханику.

Кандидат Александар Ерић је од септембра 2002. године запослен у Лабораторији за термотехнику и енергетику, Института за нуклеарне науке „Винча“ као истраживач сарадник, где ради до данас. У оквиру Лабораторије кандидат ради на пројектима везаним за сагоревање биомасе. Говори енглески језик, ожењен је и има једно дете.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Структура и садржај дисертације:

1. Увод (3 стр.)
2. Преглед литературе (92 стр.)
3. Математички модел сагоревања балираног сојиног остатка у потисном ложишту (22 стр.)
4. Експериментална истраживања (31 стр.)
5. Параметарска анализа резултата добијених моделом (7 стр.)
6. Поређење резултата (17)
7. Закључак (4 стр.)

Примарни циљ тезе је овладавање знањем о процесима у потисном ложишту, развој методе нумеричке симулације сагоревања балиране биомасе и анализа енергетски ефикасног технолошког поступка сагоревања балираног сојиног остатка у ложишту са потисним типом сагоревања, који задовољава еколошке стандарде.

Теза се базира на развоју физичко-математичког модела процеса везаних са сагоревањем биомасе у посматраном ложишту, а у циљу верификације развијеног модела и одређивања непознатих параметара у моделу, теза обухвата и експериментална истраживања на реалном ложишту индустријских размера.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља:

Резултати истраживања спроведених у оквиру ове дисертације приказани су у седам поглавља.

У првом поглављу изнесене су основне уводне напомене везане за разматрани проблем. Дата су уводна разматрања везана за коришћење биомасе као обновљивог извора енергије, као и образложење избора најоптималније технологије сагоревања пољопривредне биомасе, која је предмет проучавања ове докторске дисертације.

У другом поглављу су, на основу обимног и критичког прегледа литературе, из изабране тематске области и на основу захтева развоја предложене технологије термичке конверзије биомасе дефинисани проблем и циљ истраживања. Основни задатак који је проистекао из анализе проблематике јесте дефинисање математичког модела појава преношења количине топлоте и супстанције при сагоревању балираног сојиног остатка у потисном ложишту. Овај начин сагоревања подразумева сагоревање у порозној средини бале биомасе, као и догоревање несагорелих волатила у слободном (флуидном) простору око бале. Сагоревање у порозној средини бале сојиног остатка је сложен хетерогени процес који није довољно истражен, па је њему у овом поглављу поклоњен посебан значај. Ради заокруживања целокупног процеса сагоревања размотрене су и специфичности сагоревања несагорелих гасова у флуидном простору.

Дефинисање сложеног математичког модела којим се описују транспортни процеси при сагоревању балираног сојиног остатка у потисном ложишту приказано је у трећем поглављу. Имајући у виду стационарност и симетричност проблема изабран је стационарни дводимензијски модел физичких и хемијских процеса који је описан математичким апаратом, односно сетом парцијалних диференцијалних једначина, заснован на методи коначних запремина. За описивање модела коришћене су транспортне једначине одржања масе, количине кретања, енергије и хемијских врста узимајући у обзир све специфичности које су разматране у другом поглављу. Такође, дефинисани су и гранични услови чије су величине одређене експерименталним истраживањима. Формиране једначине решавање су нумеричким поступком.

Експериментална истраживања која су извршена у циљу одређивања неопходних улазних параметара модела приказана су у четвртном поглављу и састоје се од две целине. Прва целина експерименталних истраживања се односи на одређивање карактеристика узорка коришћеног горива (балирани сојин остатак) и то порозности, коефицијената пермеабилности и стагнатне топлотне проводљивости. За одређивање свих ових параметара направљене су експерименталне апаратуре имајући у виду постојеће стандарде и специфичности узорка горива. Друга целина експерименталних истраживања се односи на мерење карактеристичних величина на реалном постројењу која су потребна ради верификације предложеног модела сагоревања. Ова мерења се пре свега односе на материјални и енергијски биланс на границама дела ложишта које представља домен развијеног модела. Осим билансних мерења обављено је и експериментално одређивање температурног профила у средишњем уздужном попречном пресеку бале током процеса сагоревања у циљу поређења са одговарајућим температурним профилем добијеним нумеричком симулацијом.

У петом поглављу су приказани резултати параметарске анализе рада ложишта кроз нумеричку симулацију на развијеном моделу, која је рађена у CFD програмском пакету *FLUENT*. Анализа је разматрана са становишта утицаја промене снаге котла и влажности узорка на глобалне параметре процеса сагоревања. У овом као и у претходном поглављу извршена је и анализа рада ложишта по предложеном принципу сагоревања, сагледане су неке специфичности и дате сугестије у циљу побољшања рада.

Верификација развијеног модела је извршена у шестом поглављу поређењем са резултатима експерименталних истраживања. У овом поглављу поређени су резултати добијени сопственим моделом са резултатима добијеним коришћењем других програма

за нумеричку симулацију. Осим тога у овом поглављу вршено је поређење два приступа при дефинисању одржања енергије у порозној средини и то интегралног једноједначинског, који претпоставља температурну равнотежу између флуидне и чврсте фазе и двоједначинског који претпоставља температурну неравнотежу између ове две фазе. Анализа резултата добијених помоћу ова два приступа показала је задовољавајуће слагање са експериментима.

У закључку су дефинисане предности развијеног модела у односу на постојеће, а дате су и препоруке у смислу даљих истраживања термомеханичких процеса сагоревања балираног сојиног остатка у потисном ложишту. Препоруке се пре свега односе на унапређење физичког модела, али и развијених експерименталних метода.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост, оригиналност и значај:

Пољопривредна отпадна биомаса представља значајан извор енергије у свим земљама чија се индустрија базира на пољопривредној производњи, а најчешћи облик енергије који се добија из биомасе је топлотна енергија која настаје сагоревањем. Приликом конверзије биомасе у енергију неопходно је водити рачуна да целокупан процес буде усаглашен са три основна услова, а то су: екологија, енергетска ефикасност и одрживи развој. Први услов је добрим делом испуњен самим избором горива, при чему је потребно да технологија конверзије буде што савршенија, тако да се емисија штетних једињења (угљенмоноксид и азотни оксиди) сведе на најмању могућу меру. Други услов подразумева да сопствена потрошња енергије процеса конверзије буде што је могуће мања, како би ефективни степен конверзије био што већи. Ово је могуће остварити смањењем енергије потребне за припремање биомасе за процес конверзије (сагоревања), па следи да је најмања енергија за припрему потребна ако се биомаса користи у што изворнијем облику. Последњи услов у смислу одрживог развоја је испуњен ако се користи део биомасе који представља остатак из примарне пољопривредне производње, тако да производња енергије ни на који начин не утиче на процес производње хране што је основни циљ пољопривредне производње. Битно је истаћи важну карактеристику биомасе са тачке гледишта одрживог развоја, а то је да је биомаса обновљиви извор енергије. Поред тога, биомаса не само да је јефтин извор енергије, него се њеним коришћењем често решава и проблем одлагања отпада.

Сагоревање балиране отпадне пољопривредне биомасе у потисном ложишту представља нову и недовољно истражену технологију, која се у литератури појављује под термином „цигаретно сагоревање“. Према овој технологији процес сагоревања одвија тако што биомаса у пресованој (балираној) форми контролисано сагорева на једном крају, при чему се фронт сагоревања одржава у истом положају у односу на ложиште непрекидним кретањем горива у смеру супротном од смера кретања фронта пламена. Одавде је јасно да се као гориво користи отпадна биомаса у форми бале, што значи да су задовољена сва три поменута услова под условом да је процес сагоревања квалитетан.

Тема представља спрегу између експерименталних и нумеричких истраживања и уноси оригиналне идеје при математичкој интерпретацији појединих процеса. Овде се пре свега мисли на начин дефинисања континуалног дозирања горива преко запреминских извора горивих и негоривих компонената у порозном слоју. Такође, оригиналност тезе се огледа и у експерименталном делу, како кроз одређивање термофизичких карактеристика при чему је осмишљена и конструисана сопствена експериментална апаратура, тако и кроз методу експерименталног дефинисања температурног профила у

бали сојиног остатка током процеса сагоревања. Нумеричка симулација процеса сагоревања је обављена на савременом комерцијалном софтверу *FLUENT 6.3.26* којим је кандидат потпуно овладао.

Изабрана тема ове докторске дисертације је оправдана и представља евидентан помак у проучавању термомеханичких процеса који се јављају приликом сагоревања балиране биомасе у потисном ложишту, чиме се отвара могућност за даљи научни рад. Осим проучавања и анализе процеса сагоревања биомасе у тези је посвећена посебна пажња еколошком аспекту сагоревања што теми даје додатан значај.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу:

Списак литературе коришћене у раду је дат у посебном одељку. Прегледом листе коришћене литературе може се закључити да је кандидат располагао већином доступне референтне литературе и да ју је проучио у току израде дисертације. Дисертација је рађена упоредо са порастом броја објављених радова у области сагоревања балиране биомасе у потисном ложишту, па је кандидат уложио велики труд у систематском праћењу и анализи литературе, са циљем да понуди свој допринос у проучавању термомеханичких процеса који се одвијају приликом сагоревања у потисном ложишту.

3.3. Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

Ради спровођења анализа могућности и карактеристика сагоревања балираног сојиног остатка у потисном ложишту, на енергетски ефикасан и еколошки прихватљив начин, спроведене су савремене теоријске и експерименталне методе. Теоријске методе се састоје у дефинисању процеса комплексним математичким моделом, за чије решавање је коришћен нумерички код (CFD), који омогућава нумеричку симулацију сложених физичко-хемијских процеса који се одигравају при сагоревању балираног сојиног остатка у потисном ложишту. У циљу верификације модела, одређивања непознатих параметара, као и детаљне анализе предложеног поступка обављена су обимна експериментална истраживања. Експерименти су изведени на реалном индустријском котлу, а термофизичке карактеристике су одређене на бази мерења урађених на посебно осмишљеним и конструисаним лабораторијским инсталацијама.

За потребе нумеричке симулације процеса преношења количине кретања, топлоте и супстанције у оквиру система са хетерогеним сагоревањем порозног чврстог горива, формиран је модел сложених физичких и хемијских процеса описан математичко-нумеричким апаратом који садржи сет међусобно повезаних парцијалних диференцијалних једначина, које описују процесе предложеног потисног ложишта. Транспортне једначине модела су дискретизоване методом контролних запремина, а решавање нумеричким методама базираним на TEACH алгоритму.

Експериментална истраживања су извршена на индустријском постројењу-котлу снаге 1,5 MW који се користи за грејање пластеника у оквиру „Пољопривредне корпорације Београд“. Ради одређивања термомеханичких параметара рада котла, у оквиру ових истраживања мерени су параметри, као што су континуално мерење температуре у више тачака у оквиру радног простора ложишта, протоци ваздуха, димних гасова и протока биомасе као и континуална анализа састава продуката сагоревања (CO_2 , O_2 , CO).

Експериментална истраживања су се поред тога односила и на одређивање температурног профила у бали сојине сламе у току процеса сагоревања, ради поређења са температурним профилем добијеним нумеричком симулацијом процеса, као и дефинисање термофизичких параметара посматране биомасе, што је обављено у оквиру лабораторијских експерименталних истраживања. У том циљу је осмишљена и направљена лабораторијска апаратура за карактеризацију биомасе у складу са постојећим стандардима.

3.4. Оцена примењивости и верификације остварених резултата:

Практична применљивост остварених резултата показана је кроз параметарску анализу математичког модела рада ложишта са различитим радним условима. За потребу параметарске анализе вршена је анализа рада ложишта при променљивој снази и при различитим почетним влажностима горива. Верификација математичког модела је остварена кроз поређење са резултатима добијеним експерименталним истраживањима на реалном постројењу.

3.5. Оцена способности кандидата за самостални научни рад;

Чланови комисије сматрају да је кандидат показао смисао и знање да самостално препозна и систематски решава кључне проблеме из домена термомеханике и сагоревања, примењујући савремене научне методе теоријског и експерименталног карактера и овладавајући савременим софтверским пакетима.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса:

Основни научни допринос истраживања процеса сагоревања балираног сојиног остатка у потисном ложишту је разумевање технологије, анализа сложених струјно-термичких процеса који се одвијају у ложишту, као и сагледавање могућности коришћења горива различите врсте, карактеристика итд. С тим у вези у оквиру ове докторске тезе развијен је математички модел сагоревања у потисном ложишту који подразумева сложене механизме преношења количине кретања, топлоте и супстанције у порозној средини балираног сојиног остатка и слободној, флуидној средини простора око бале. Транспортни процеси у порозној средини у многоме зависе од термофизичких карактеристика средине, па је у складу са тиме извршена експериментална термофизичка карактеризација репрезентативног узорка сојине сламе. Осим ових обављена су и експериментална истраживања на реалном постројењу са мерењем температурног профила у бали у циљу верификације развијеног модела.

Формиран је математички модел тако да је његовим решавањем могућа симулација рада ложишта у стационарним режимима са задовољавајућом тачношћу, уз дефинисање физичких појава. Предложеним моделом могуће је вршити прорачун три групе поља: брзина, температура и компонената реакција сагоревања (хемијских врста). Једначине које описују ове групе поља су систематски представљене и анализирани како за порозну тако и за флуидну средину. Транспортни процеси приликом сагоревања у порозној и флуидној средини су анализирани преко коефицијената транспортних једначина чиме је дат посебан научни допринос у разумевању њиховог утицаја на укупан процес.

Поље брзина у прорачунском домену је описано сетом *Navier-Stokes*-ових једначина са решавањем турбулентних *Reynolds*-ових напона стандардним и често коришћеним *k-ε* моделом турбуленције, при чему је додатни пад притиска при струјању флуида у слоју горива моделиран је општеприхваћеном *Forchheimer*-овом једначином уз експериментално дефинисање константи вискозног и инерционог члана. Поље температура у порозној средини је дефинисано интегралном енергијском једначином при чему је усвојен модел топлотне равнотеже чврсте и флуидне фазе. Поред тога у тези је разматрана и могућност дефинисања одржања енергије у порозној средини и преко две засебне једначине за флуидну и чврсту фазу коришћењем модела температурне неравнотеже. Анализом резултата и њиховим поређењем са експериментима показано је да се оба модела могу успешно користити са задовољавајућом тачношћу.

Поља концентрација су дефинисана моделом сагоревања који се заснива на систему транспортних једначина хемијских врста уз дефинисање брзине конверзије компонената у изворном члану. Брзине конверзије компонената су представљене одговарајућим једначинама *Arrhenius*-овог типа са претпоставком да је хемијска кинетика ограничавајући фактор у брзини хемијских реакција.

У тези је дефинисана нова и једноставна метода апроксимације дозирања горива у моделу запреминским изворима појединих компонената као продуката процеса испаравања и деволатилизације. Као производ процеса деволатилизације у моделу је узимана смеша гасова састављена од угљендиоксида, водене паре и пропана. Угљендиоксид и водена пара су узимани у циљу задовољења материјалног биланса кисеоника из горива, док је пропан узет као модел горивог дела смеше, који поред материјалног биланса задовољава и укупни енергијски биланс. Сагоревање пропана из волатила и угљеника из коксног остатка је моделирано двостепеним реакцијама са угљенмоноксидом као међупроизводом. Повратни ендотермни процеси су узети у обзир преко додатне реакције разградње угљендиоксида на угљенмоноксид и кисеоник. Концентрација азотмооксида у ложишту је одређена постављањем једначине одржања при чему је узет утицај три модела формирања и то: термички, брзи и гориви. Овакав сложен приступ моделирању сагоревања отвара могућност дубље анализе процеса уз сагледавање утицаја појединих релевантних параметара, са посебним освртом на еколошке аспекте сагоревања. Развијени математички модел се уз незнатне модификације може користити за анализу сагоревања и других типова балиране биомасе по предложеном принципу, што свакако представља значајан научни допринос у овој области.

Непознате термофизичке особине порозне средине (балираног сојиног остатка) одређене су у оквиру лабораторијских експерименталних испитивања на за ту прилику посебно конструисаној и израђеној апаратури. Коефицијенти пермеабилности су одређени стандардним поступком мерења пада притиска кроз порозни слој и запреминског протока флуида. Стагнатна топлотна проводљивост узорка балиране сојине сламе, такође је одређена експерименталним истраживањима на сопственој апаратури која је прилагођена величини репрезентативног узорка, чиме је добијена зависност топлотне проводљивости и порозности. Експерименти су извођени при различитим вредностима порозности и влажности узорака како би покрили шири дијапазон експлоатационих услова. Општи допринос ових експерименталних истраживања се огледа у термофизичкој карактеризацији балираног сојиног остатка као и у развоју нове експерименталне методе и апаратуре за ову врсту експерименталних истраживања на осталим врстама биомасе.

Осим лабораторијских експерименталних истраживања обављена су експериментална истраживања на ложишту снаге 1,5 MW превасходно у циљу верификације развијеног модела сагоревања. Обимна истраживања на овом постројењу подразумевала су стандардна мерења карактеристичних величина на улазном и излазном попречном пресеку. Поред стандардних мерења обављена су и посебна мерења температурног профила у средишњем уздужном попречном пресеку бале сојине сламе у току процеса сагоревања у чију сврху је развијена и примењена сопствена експериментална метода. Развијена метода одређивања температурног профила у бали која је показала задовољавајуће слагање са резултатима модела, представља посебан научни допринос.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања:

Истраживања у овој тези отварају простор за даљу изградњу теоријских и експерименталних основа при проучавању термомеханичких процеса сагоревања балираног пољопривредног остатка у потисном ложишту. Даља научна истраживања пре свега би требало базирати на развоју дела модела који се односи на кинетику сушења и деволатилизације, као и хетерогеног сагоревања коксног остатка. При томе би требало извршити одговарајућу експерименталну верификацију. Такође, требало би разматрати утицај сложенијих турбулентних и дифузионих модела сагоревања у флуидној и порозној средини на коначно поље концентрација компонената. У овој тези је претпостављено да је порозност, а самим тим и остале термофизичке карактеристике непроменљиве величине по целој запремини порозног слоја, што је усвојено имајући у виду претпоставку о моделу дозирања горива у моделу. Даља истраживања требало би базирати на претпоставци променљивости термофизичких карактеристика порозног слоја што би можда довело до тога да се модели са другачијим начином увођења горива боље слажу са експерименталним резултатима.

Бочни зидови ложишта имају одређени утицај на температурни профил у бали, па би даља експериментална истраживања могла да буду базирана на мерењу температурних профила у бали у више уздужних равни како би се сагледао утицај „хладних“ бочних зидова на температурни профил у бали. Резултати анализе оваквих експерименталних истраживања требало би да оправдају коришћење 2D модела симулације рада ложишта или, пак да услове неопходност развоја 3D модела чиме би се значајно продужило прорачунско време. Потребно је дакле, наћи оптимално решење између 3D моделирања или усвајања корекција при 2D моделирању које би узеле у обзир утицај бочних зидова.

Експериментална лабораторијска истраживања у циљу термофизичке карактеризације пољопривредне биомасе требало би усмерити ка даљем усавршавању апаратуре за одређивање топлотне проводљивости у смислу смањења њеног утицаја на коначне резултате. Коефицијенти молекуларне дифузије у овој тези су узимани као константне вредности чиме је дефинитивно начињена одређена грешка у пољу концентрација, па се ради добијања тачније слике концентрација препоручује додатно моделирање овог коефицијента.

4.3. Очекивана примена резултата у пракси:

Практична примена остварених резултата се огледа пре свега у могућности коришћења развијеног модела сагоревања балиране биомасе у потисном ложишту за симулацију рада ложишта са различитим врстама биомасе, како би се једноставније сагледале конструкционе измене неопходне за одвијање квалитетног процеса сагоревања. Развијени модел могао би да послужи у циљу анализе могућности смањена емисије

штетних гасова, пре свих азотмооксида, кроз избор оптималног места увођења струје рецикулационих димних гасова у ложиште. Развијена експериментална метода за термофизичку карактеризацију биомасе могла би успешно да се искористи у циљу добијања мапе термофизичких особина за све типове балиране биомасе, што може бити од општег значаја при проучавању и других начина сагоревања.

4.4. Кандидат је верификовао докторску дисертацију:

Доприноси докторске дисертације су верификовани кроз низ радова из уже области докторске дисертације које је аутор објавио у међународним часописима који су на **SCI** листи:

- [1] R. Mladenovic, D. Dakic, A. Eric, M. Mladenovic, M. Paprika, B. Repic, The boiler concept for combustion of large soya straw bales, *Energy*, Vol. 34, Issue 5, (2009), ISSN 0360-5442, pp. 715-723. (IF=2.952)
- [2] B. Repic, D. Dakic, M. Paprika, R. Mladenovic, A. Eric, Soya straw bales combustion in high efficient boiler, *Thermal Science*, Vol. 12, No.4, (2008), pp. 51-60. (IF=0.407)
- [3] R. Mladenovic, S. Belosevic, M. Paprika, M. Komatina, D. Dakic, A. Eric, D. Djurovic, Effects of air excess control in a heat storage solid fuel-fired household furnace *Applied Thermal Engineering*, Volume 27, Number 13, September 2007, ISSN 1359-4311. (IF=0.868)
- [4] S. Belosevic, R. Mladenovic, D. Dakic, M. Paprika, A. Eric, D. Djurovic, M. Komatina, B. Grbic, N. Radic, Properties and efficiency of a Pt/Al₂O₃ catalyst applied in a solid fuel thermo-accumulating furnace, *J. Serb. Chem. Soc.* 72 (8–9) 869–878 (2007). (IF=0.536)
- [5] D. Dakic, S. Beloševic, R. Mladenovic, M. Paprika, D. Djurovic, A. Eric, M. Komatina, B. Grbic, N. Radic, Reduction of Carbon Monoxide Emission from a Solid-Fuel Thermo-Accumulation Furnace, *Thermal Science*: Vol. 10 (2006), No. 4, Belgrade 2006, YU ISSN 0354-9836, UDC: 662.612./613, pp. 107-119. (IF=0.407)

и излагањем радова на међународним конференцијама, као и кроз пријављени патент:

- [6] R. Mladenovic, D. Dakic, A. Eric, M. Paprika, M. Mladenovic, B. Repic, “Energy production facility with combustion of large rolled bales of soya straw”, INFUB – 7th European Conference on Industrial Furnaces and Boilers, april 2006, Porto, Portugal, pp. 18-21.
- [7] R. Mladenovic, A. Eric, M. Mladenovic, B. Repic, D. Dakic, „Energy production facilities of original concept for combustion of soya straw bales”, *16th European Biomass Conference & Exhibition – From Research to Industry and Markets, Proceedings on DVD-ROM*, ISBN 978-88-89407-58-1, Valencia, Spain, 2-6 June 2008.
- [8] D. Dakic, M. Paprika, R. Mladenovic, A. Eric, B. Repic, The boiler concept for combustion of large soya straw bales as the zero emission plant, 4th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Dubrovnik, Croatia, 4-8 June 2007, Proceedings on CD ROM, Edited by: Guzovic Z., Duic, N., Ban, M., pp.1-11, ISBN 13: 978-953-6313-87-7 and ISBN 10: 953-6313-87-1

- [9] B. Repic, D. Dakic, R. Mladenovic, A. Eric, Development of a boiler based on cigarette combustion principle for straw bales from agricultural production, 18th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2008, 24-28 August 2008, Praha, Czech Republic, Proceedings on CD ROM, Session P5, Paper P5.264., pp.1-12, ISBN 978-80-02-02047-9.
- [10] D. Djurovic, D. Dakic, A. Eric, B. Repic, Development of the boiler for combustion of agricultural biomass by products, 5th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Dubrovnik, Croatia, September 29th -October 3th, 2009, Proceedings on CD ROM, Edited by: Guzovic Z., Duic, N., Ban, M., pp.1-18, ISBN 978-953-6313-98-3.
- [11] Д. Дакић, Р. Младеновић, Б. Репић, А. Ерић, С. Белошевић, М. Паприка, М. Коматина, Ложиште за сагоревање великих бала биомасе са механизованим дозирањем горива и сагоревањем по принципу цигарете, Завод за интелектуалну својину, Пријава број: 2007/0138, Београд 11.04.2007.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

5.1. Кратак осврт на дисертацију у целини, на научне доприносе конкретној научној области и методологији, на примену у пракси и на способности кандидата:

У раду је дат веома широк и свеобухватан преглед истраживања у области релевантној за тематске оквири дисертације. Кандидат је на основу детаљног прегледа најновије литературе у врло комплексној области, која је тек у зачетку, дефинисао проблеме и на основу тога обавио истраживања приказана у оквиру ове тезе.

Дисертација садржи детаљно разрађене теоријске основе и експерименталну верификацију изграђеног математичког модела сагоревања балираног сојиног остатка у потисном ложишту. Текст дисертације је концизно написан, са јасним стилем излагања и вешто изабраном терминологијом уз коришћење стандардних ознака и мерних јединица.

На основу дефинисаних циљева кандидат је направио сложен математички модел процеса сагоревања балираног сојиног остатка у потисном ложишту, који је решавао у комерцијалном програмском пакету *FLUENT*. Самостално је осмислио и конструисао неколико експерименталних инсталација на којима су урађена мерења у циљу одређивања неопходних термофизичких карактеристика као улазних параметара модела. Поред тога осмислио је и извео врло сложена експериментална истраживања на полуиндустријском демонстрационом котлу 1,5MW у циљу верификације развијеног модела сагоревања.

Проучавање и анализа сложених термомеханичких процеса остварено је ефикасном применом стандардних и модерних метода и мултидисциплинарног приступа, укључујући и експерименталне провере које су потврдиле оправданост усвојених хипотеза.

На основу свега наведеног може се истаћи да је кандидат показао изузетан смисао како за практична тако и за теоријска истраживања и добио резултате од великог значаја у недовољно истраженој области.

5.2. Предлог Комисије наставно-научном већу:

На основу изложеног, чланови комисије су једногласно закључили да докторска дисертација „ТЕРМОМЕХАНИЧКИ ПРОЦЕСИ ПРИ САГОРЕВАЊУ БАЛИРАНОГ СОЈИНОГ ОСТАТКА У ПОТИСНОМ ЛОЖИШТУ“ кандидата мр Александра Ерића, дипл.маш.инж. истраживача сарадника у Лабораторији за термотехнику и енергетику, Института за нуклеарне науке „Винча“, испуњава све формалне (законске) и стварне (научне) услове предвиђене за докторску дисертацију. Зато Комисија предлаже Научно-наставном већу да овај извештај усвоји у целости и у складу са Законом о Универзитету и Статутом Машинског факултета предузме потребне активности ради стицања неопходних услова за заказивање јавне одбране.

У Београду, 25.06.2010. године

Чланови Комисије:

др Мирко Коматина, редовни професор, ментор
Машински факултет у Београду

др Милош Бањац, ванредни професор
Машински факултет у Београду

др Драгослава Стојиљковић, ванредни професор
Машински факултет у Београду

др Стеван Немода, виши научни сарадник
Институт за нуклеарне науке Винча

др Драгољуб Дакић, виши научни сарадник
Институт за нуклеарне науке Винча