

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно

732/5

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

(Број захтева)

11.06.2012. 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:

НЕНАДА (ЂУРО) ЦРНОМАРКОВИЋА

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **НЕНАД (ЂУРО) ЦРНОМАРКОВИЋ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИБУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА

Универзитет је дана 10.04.2007. год. својим актом под бр 43/3 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИБУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **НЕНАДА (ЂУРО) ЦРНОМАРКОВИЋА**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 26.04.2012. године, одлуком факултета под бр. 732/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Драган Туцаковић</u>	Ванредни професор	Термотехника	Машински факултет Београд
2. <u>Др Титослав Живановић</u>	Редовни професор	Термотехника	Машински факултет Београд
3. <u>Др Срђан Белошевић</u>	Виши научни сарадник	Термотехника и енергетика	ИНН Винча Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 10.05.2012. 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: 732/4

Датум: 10.05.2012. године

Београд, Краљице Марије 16

На основу чл. 128. Закона о високом образовању и извештаја Комисије у саставу: проф.др Драган Туцаковић, ментор, проф.др Титослав Живановић, др Срђан Белошевић, виши научни сарадник, ИНН Винча о оцени докторске дисертације „Прилог моделирању просторне дистрибуције зрачења у ложишту котла за сагоревање угљеног праха“ докторанта мр Ненада Црномарковића, дипл.инж.маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 10.05.2012. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се извештај за оцену и одбрану докторске дисертације **„ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИБУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА“** докторанта **МР НЕНАДА ЦРНОМАРКОВИЋА**, дипл.инж.маш.

Одобрава се одбрана докторске дисертације, пошто је докторска дисертација са извештајем Комисије за оцену и одбрану била стављена на увид јавности у трајању од 30 дана, па како је после свих разматрања на ННВ М.Ф. на крају извештај Комисије коначно усвојен, 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 Ненада Црномарковића, дипл. маш.инж.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 732/2 од 26.04.2012. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Ненада Црномарковића, дипл. маш. инж., под називом: **"ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИБУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА"** о чему подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Увод

1.1. Наслов и обим дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Ненада Црномарковића, дипл. маш. инж. под насловом **"ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИБУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА"** изложена је на 218 страна са 48 слика и 24 табеле, а састоји се од седам поглавља. Поред тога садржи списак коришћене литературе на 18 страна и прилог од 41 стране.

1.2. Хронологија одобравања израде дисертације

Кандидат мр Ненад Црномарковић, дипл. маш. инж., пријавио је докторску дисертацију 06.02.2007. године, под бројем 180/1, Катедри за Термотехнику Машинског факултета у Београду. Кандидат је за ментора предложио проф. др Драгана Туцаковића, и за коментора др Мирослава Сијерчића, научног саветника. Обавештење о пријави докторске дисертације било је на седници Наставно-научног већа Машинског факултета одржаној 22.02.2007. На основу те пријаве, на седници Већа катедре за термотехнику од 02.03.2007. године, одлуком број 180/2 од 05.03.2007. године, формирана је Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације. Комисију су чинили проф. др Драган Туцаковић, проф. др Титослав Живановић и др Мирослав Сијерчић, научни саветник запослен у Институту за нуклеарне науке Винча.

Комисија за оцену испуњености услова и научне заснованости теме је поднела извештај бр. 180/3 од 06.03.2007. у коме предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под називом **"ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИБУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА"**, наводећи да је предложена тема адекватна за израду докторске дисертације, као и да кандидат испуњава све законске и истраживачке квалификације за рад на дисертацији. Овај извештај усвојен је на Наставно-научном већу Машинског факултета 15.03.2007. У вези са захтевом докторанта мр Ненада Црномарковића да му се одобри израда

докторске дисертације, одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета број 180/4 од 22.03.2007. о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и о именовању ментора, а на основу сагласности Стручног већа Универзитета у Београду за машинске, саобраћајне и организационе науке са седнице од 10.04.2007. године, донета је коначна одлука број 541/1 од 11.04.2007. године, којом се одобрава рад на теми докторске дисертације "ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИБУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА", под менторством проф. др Драгана Туцаковића.

С обзиром да је рок за одбрану докторске дисертације 11.04.2012. године, кандидат мр Ненад Црномарковић упутио је Наставно-научном већу Машинског факултета захтев за продужење поменутог рока у трајању од годину дана. На основу тог захтева, а уз сагласност ментора проф. др Драгана Туцаковића и Шефа Катедре за термотехнику, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 26.01.2012. године донело је одлуку број 90/2 од 26.01.2012. године којом се кандидату мр Ненаду Црномарковићу, дипл. маш. инж одобрава продужење рока за израду докторске дисертације "ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИБУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА" до 11.04.2013. године.

Ментор докторске дисертације "ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИБУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА" проф. др Драган Туцаковић је обавестио Катедру за Термотехнику да је кандидат мр Ненад Црномарковић завршио докторску дисертацију. Катедра за Термотехнику је предложила Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду, број 732/1 од 17.04.2012. године, Комисију за оцену и одбрану дисертације, у саставу проф. др Драган Туцаковић - ментор, проф. др Титослав Живановић и др Срђан Белошевић, виши научни сарадник запослен у Институту за нуклеарне науке Винча. Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду, број 732/2 од 26.04.2012. године, на основу извештаја проф. др Драгана Туцаковића, ментора, да је докторант мр Ненад Црномарковић завршио докторску дисертацију "ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИБУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА", предлога Катедре за Термотехнику и члана 128. Закона о високом образовању, именована је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: проф. др Драган Туцаковић - ментор, проф. др Титослав Живановић и др Срђан Белошевић, виши научни сарадник запослен у Институту за нуклеарне науке Винча.

1.3. Место дисертације у одговарајућој научној области

Докторска дисертација "ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИБУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА", припада области техничких наука, машинство, ужим научним областима Термоенергетика и Термотехника.

1.4. Биографски подаци о кандидату

Ненад Црномарковић рођен је 15.06.1967. године у Книну, Република Хрватска. Од 1970. године стално је настањен у Београду, где је завршио основну и средњу школу. После одслуженог војног рока започео је редовне студије на

Машинском факултету у Београду, октобра 1987. године. Дипломирао је 01.10.1993. године на Групи за аутоматско управљање са средњом оценом 8,80 (осам и 80/100) и оценом на дипломском раду 10 (десет). Након дипломирања запослио се у Фабрици робота, алата и хидраулике ЛОЛА Корпорације, на радном месту пројектант компоненти и система хидраулике. Од децембра 1994. године запослен је у Лабораторији за термотехнику и енергетику Института за нуклеарне науке Винча. Школске 1994/95 године уписао је постдипломске студије на Групи за сагоревање Машинског факултета у Београду. Магистарску тезу под називом "Прилог проучавању гасификације лигнита Колубара у спрашеном стању" одбранио је 15.10.2001. године на Машинском факултету у Београду. Од октобра 2002. године до марта 2004. године боравио је у Кјоту као стипендиста владе Јапана. На Факултету за енергетику државног Кјото Универзитета студирао је сагоревање у моторима са унутрашњим сагоревањем. По повратку из Јапана наставио је истраживачки рад у Лабораторији за термотехнику и енергетику Института за нуклеарне науке Винча из области преноса масе и топлоте.

Објавио је 30 научних и стручних радова, који су саопштени на домаћим и међународним скуповима и симпозијумима, или објављена у домаћим и страним научним часописима.

2. Опис дисертације

2.1. Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Ненада Црномарковића, дипл. маш. инж., под насловом "ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИБУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА" написана је на 218 страна (уз 18 страна литературе и 41 стране прилога). Подељена је у 7 поглавља, и то:

1. Увод
2. Улога и врсте модела зрачења у нумеричким симулацијама ложишта
3. Хотелов зонални модел размене топлоте зрачењем
4. Радијациона својства пламена угљеног праха
5. Опис ложишта изабраног блока и метод прорачуна
6. Резултати математичког моделирања
7. Закључак

Дисертација садржи 48 слика и 24 табеле. Уз текст дисертације, на диску су приложени и компјутерски програми написани у Фортрану.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У **I поглављу** дата су уводна разматрања проблематике обрађене у дисертацији. Описан је значај нумеричких симулација за пројектовање нових и ревитализацију постојећих енергетских котлова. Извршен је осврт на релевантна нумеричка истраживања процеса у ложиштима котлова за сагоревање спрашеног угља. Приказане су основне особине постојећег математичког модела и предложен је начин његовог побољшања заменом модела зрачења шест флуксева Хотеловим зоналним моделом зрачења. Описана је примена Хотеловог зоналног модела зрачења у нумеричким истраживањима ложишта у свету и код нас. Дефинисани су циљеви истраживања, као и очекивани резултати рада на дисертацији.

У **II поглављу** најпре су детаљно описане једначине до сада коришћеног математичког модела ложишта за сагоревање угљеног праха. Потом је описана интегро-диференцијална једначина интензитета зрачења, као основна једначина на основу које се одређује транспорт топлоте зрачењем. Затим су приказани модели зрачења (модел шест флуксева, модел дискретних ордината, модел сферних хармоника, модел момената, Хотелов зонални модел, Монте Карло и модел дискретног трансфера) који се користе у нумеричким истраживањима индустријских и лабораторијских ложишта. На крају поглавља, извршено је поређење модела зрачења преко вредности нето размењене енергије зрачења запреминских зона и апсорбованих флуксева зрачења површинских зона. Модели зрачења су поређени за експериментално ложиште за које су дефинисани геометрија, температурско поље и радијациона својства медијума и зидова. За изабрано ложиште постоје тачне вредности нето размењене енергије зрачења запреминских зона и апсорбованих флуксева зрачења површинских зона, као и одговарајуће вредности одређене употребом неколико модела зрачења. Резултати Хотеловог зоналног модела за изабрано ложиште формиран су радом на дисертацији.

У **III поглављу** детаљно је описан Хотел-ов зонални модел. Описани су поступци рачунања директних и тоталних површина размене за два типа медијума: медијум који апсорбује и емитује зрачење, као и за медијум који апсорбује, емитује и изотропно расипа зрачење. Приказан је неексплицитни метод рачунања тоталних површина размене. Анализиране су вредности тоталних површина размене за мале вредности албеда расипања зрачења. Укратко је наведен и напредак у одређивању директних и тоталних површина размене, који је омогућио брже и тачније рачунање директних и тоталних површина размене.

У **IV поглављу** детаљно је објашњен начин одређивања радијационих својстава пламена угљеног праха, који представља двофазну смешу гасовитих и чврстих продуката сагоревања. Објашњена су два модела за одређивање радијационих својстава гасовитог медијума: модел једног сивог гаса и модел тежинске сума сивих гасова. Потом је описан општи поступак за одређивање радијационих својстава облака честица које постоје у пламену угљеног праха, међу којима највећи утицај на радијациона својства пламена имају честице летећег пепела. Испитан је утицај радијационих својстава медијума на размену енергије зрачењем. Разматран је утицај вредности коефицијента апсорпције, као и утицај албеда расипања зрачења.

У **V поглављу** приказано је изабрано реално ложиште за сагоревање угљеног праха које припада блоку А2 термоелектране Никола Тесла у Обреновцу. Детаљно је описана геометрија ложишта, а дати су још и масени протоци угља, ваздуха, рециркулисаних гасова и испарене воде на улазу у ложиште. Описан је метод рачунања директних површина размене, као и тоталних површина размене методом оригиналних емитера зрачења. Овај метод заснива се на решавању великог број матричних једначина у којима је квадратна матрица коефицијената увек иста. Решење је постигнуто применом факторизационог поступка раздвајања матрице коефицијената на горњу и доњу троугаону матрицу. Примењен је Краутов алгоритам раздвајања матрице на горњу и доњу троугаону матрицу са избором главног елемента. Одређена су радијациона својства медијума, димензије и укупни број запреминских и површинских зона ложишта. Описан је и нумерички метод повезивања Хотеловог модела размене топлоте зрачењем са

другим једначинама математичког модела. Метод се састоји у рачунању размене енергије зрачењем на грубој нумеричкој мрежи и физичких величина гасне фазе на финој нумеричкој мрежи, као и у подели нето размењене енергије зрачења између континуалне и дисперзне фазе.

У **VI поглављу** приказани су резултати математичког моделирања. На почетку је извршена детаљна верификација Хотеловог зоналног модела, применом на ложиште са усвојеним температурским пољем, а потом и применом на ложиште са усвојеним струјним пољем. За изабрано ложиште за сагоревање угљеног праха приказана је тачност рачунања директних и тоталних површине размене. Формиране су три fine нумеричке мреже и показано је да је добијено решење независно од нумеричке мреже. Након верификације нумеричког поступка кроз поређење са резултатима мерења, математички модел који садржи Хотелов зонални модел примењен је за анализу размене енергије зрачењем у условима номиналног и смањеног оптерећења котла. Извршено је и поређење резултата нумеричких симулација процеса у ложишту када математички модел садржи модел зрачења шест флуксева.

У **Закључку** извршен је преглед целокупног рада и наглашен је научни допринос дисертације.

Прилози на крају текста дисертације садрже објашњења и резултате, која су ради прегледности изостављена у главном делу текста.

3. Оцена дисертације

3.1. Савременост, оригиналност и значај

Докторска дисертација "ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИ-БУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА" представља савремен, оригиналан, мултидисциплинарни и значајан допринос моделирању просторне дистрибуције зрачења у ложишту енергетских парних котлова. Савременост теме потврђују велика улагања, пре свега у развијеним земљама, у развој софтвера који се базирају на решавању система међусобно повезаних парцијалних диференцијалних транспортних једначина количине кретања, топлоте и масе у комплексним условима турбулентног струјања. Значај теоријских и рачунарских истраживања приказаних у дисертацији представља примена оваквих модела, с обзиром да корисницима савремене термоенергетске опреме омогућава поузданије одлучивање при модернизацији термоелектрана. Оригиналност дисертације огледа се у усавршавању како комплексног модела процеса у ложишту тако и моделирања транспорта топлоте у ложишту котла, омогућавању детаљнијег увида у структуру топлотних токова и расветљавању недовољно истражених феномена транспорта топлоте зрачењем.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији коришћена је обимна литература из области простирања енергије зрачењем, математичког моделирања процеса у ложиштима котлова за сагоревање фосилних горива, као и парних котлова. Хотелов зонални модел је формиран током педесетих и шездесетих година прошлог века. Од тада, извршена су бројна унапређења модела, међу којима су најважније корелације за одређивање директних површина размене, развој експлицитних метода за

рачунање тоталних површина размене, као и корекција вредности директних површина размене у циљу задовољења принципа конзервативности. Коришћена је литература којом је документована примена Хотеловог зоналног модела зрачења у нумеричким истраживањима процеса унутар ложишта. Обимна литература коришћена је и за одређивање радијационих својстава пламена угљеног праха. Према релевантној савременој литератури из области математичког моделирања процеса у ложиштима за сагоревање угљеног праха дат је опис подмодела појединачних струјно-термичких процеса у ложишту и изведена верификација развијеног нумеричког поступка. Коришћена је литература на енглеском, руском и српском језику.

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

Комплексни процеси у ложишту за сагоревање угљеног праха обухватају турбулентно струјање двофазне смеше гас-честице са хемијским реакцијама и разменом енергије и масе. Основне одлике примењеног тродимензионалног диференцијалног математичког модела процеса у предметном ложишту могу се сагледати у следећем. Вишекомпонентна гасна фаза разматра се у Ојлеровом пољу. Транспортни феномени су описани временски осредњеним парцијалним диференцијалним једначинама конзервације одговарајућих физичких величина. Систем једначина гасне фазе затворен је $k-\epsilon$ моделом турбуленције, јер је он најчешће примењиван и најбоље верификован за комплексне токове са разменом масе и енергије. За моделирање радијационе размене топлоте у ложишту коришћен је поступак заснован на Хотеловом моделу зрачења, а у сврху поређења, и модел шест флуксева. За повезивање гасне и дисперзне фазе користи се PSI-CELL поступак, према коме се присуство дисперзне фазе манифестује кроз појаву додатних извора количине кретања, топлоте и масе у гасној фази. Сама дисперзна фаза је описана обичним диференцијалним једначинама кретања, енергије и промене масе у Лагранжовом пољу. Хетерогене реакције сагоревања угљеног праха разматрају се у комбинованом кинетичко-дифузионом режиму. Нелинеарне диференцијалне једначине гасне фазе дискретизоване су методом коначних запремина. Коефицијенти линеаризованих једначина добијени су применом хибридне диферентне шеме. Стабилизација итеративног процеса прорачуна остварена је подрелаксацијом изворних чланова. Већина савремених нумеричких истраживања процеса у ложиштима котлова за сагоревање угљеног праха такође је заснована на диференцијалним математичким моделима и методама решавања једначина на бази коначних запремина.

3.4. Оцена примењивости и верификације остварених резултата

Основни резултат рада на докторској дисертацији је повезивање Хотеловог зоналног модела размене енергије зрачењем са једначинама математичког модела процеса унутар ложишта за сагоревање угљеног праха. Може се очекивати директна примена остварених резултата дисертације у пракси, јер формирани компјутерски програм за симулацију процеса у ложишту омогућава анализу размене енергије зрачењем у реалној тродимензионалној геометрији ложишта. Оваква истраживања била би веома значајна корисницима енергетских котлова, који би са великом сигурношћу могли предвидети понашање котла у новим погонским ситуацијама.

3.5. Оцена способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде дисертације решавао сложене проблеме који су захтевали детаљно познавање процеса размене енергије зрачењем, нумеричких симулација, парних котлова и савремених истраживања у овим областима. Комисија сматра да је кандидат у потпуности оспособљен за самостално решавање научних проблема у области математичког моделирања и нумеричких симулација размене топлоте зрачењем у склопу комплексних ложишних процеса.

4. Остварен научни допринос

4.1. Приказ оствареног научног доприноса

Остварени научни допринос огледа се у следећем:

- Поступак за одређивање директних површина размене у правоугаоној геометрији комплетиран је на следећи начин. Најпре се одређују основне директне површине запреминских и површинских зона. На основу основних директних површина размене добијају се директне површине размене свих зона ложишта применом принципа симетричности. Вредности директних површина размене потом се коригују тако да са већом тачношћу задовољавају принцип конзервативности.
- Примењен је поступак корекције тоталних површина размене, тако да оне задовоље услове конзервативности. Изворни чланови енталпијске једначине услед зрачења одређују се употребом тоталних површина размене. Зато је важно да се тоталне површине размене одреде што тачније. До сада је техника корекције примењивана само за поправку вредности директних површина размене. У овој дисертацији она је по први пут примењена и за одређивање тоталних површина размене.
- Анализиране су вредности тоталних површина размене за медијум који апсорбује, емитује и изотропно расипа зрачење када је вредност албеда расипања зрачења мала. Алbedo расипања зрачења налази се у именитељу сваког обрасца за рачунање тоталних површина размене (за медијум који апсорбује, емитује и изотропно расипа зрачење). На основу тога може се закључити да када алbedo расипања зрачења постаје мали (за мале вредности концентрације честица) тоталне површине размене имају велике вредности. Показано је да тоталне површине размене у том случају немају велике вредности и да се приближавају вредностима тоталних површина размене за медијум који апсорбује и емитује зрачење.
- Испитан је утицај радијационих својстава медијума и зидова ложишта на размену енергије зрачењем. Утицај радијационих својстава на размену енергије зрачењем испитан је за експериментално ложиште са усвојеним температурским пољем и ложиште које припада енергетском котлу, за које је усвојено струјно поље. Испитивања су показала да за два различита ложишта постоје исте зависности размене енергије зрачењем од радијационих својстава. За медијум који апсорбује и емитује зрачење размена енергије зрачењем расте са порастом емисивности зидова. Показано је да постоји интервал вредности оптичке густине медијума унутар којег радијациона својства медијума утичу на размену енергије зрачењем, а за веће вредности оптичке густине медијума радијациона

својства немају утицај на размену енергије зрачењем. За медијум који апсорбује, емитује и изотропно расипа зрачење добијена је слична зависност размене енергије зрачењем од радијационих својстава медијума за два посматрана ложишта.

- За изабрано енергетско ложиште за сагоревање угљеног праха, формиране су све компоненте Хотеловог зоналног модела размене енергије зрачењем и формиран је компјутерски програм према једначинама математичког модела. Нумерички поступак је верификован поређењем са резултатима мерења, а потом је математички модел употребљен и за анализу процеса у ложишту у условима смањеног оптерећења котла. Резултати су показали да се са смањењем оптерећења котла смањује размењена енергија зрачењем у ложишту и снижава се температура продуката сагоревања на крају ложишта. Због искључења још једног горионика у случају најмањег анализираног оптерећења котла, помера се високотемпературско језгро пламена и мења се расподела размене енергије по зидовима ложишта.
- Поред компјутерског програма који је формиран према математичком моделу који садржи Хотелов зонални модел размене енергије зрачењем, формиран је и компјутерски програм према математичком моделу који садржи модел зрачења шест флуксева, да би се извршило поређење утицаја модела зрачења. Извршена су поређења температурског поља и вредности изворних чланова енталпијске једначине услед зрачења. Показано је да се математичким моделом који садржи модел зрачења шест флуксева добијају приближне вредности изабраних физичких величина гасне фазе, али и мање тачне вредности флуксева зрачења на зидовима ложишта.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Докторска дисертација садржи оригинални научни допринос развоју метода математичког моделирања процеса унутар ложишта за сагоревање угљеног праха. Детаљно је описан метод примене Хотеловог зоналног модела зрачења. Описани метод садржи основне поставке и унапређења Хотеловог зоналног модела зрачења, којима је омогућено брже и тачније рачунање директних и тоталних површина размене. Према расположивој литератури, Хотелов зонални модел је употребљаван за рачунање размене енергије зрачењем у лабораторијским ложиштима и ложиштима за тестирање модела зрачења. Примењиван је, мада у малом броју примера, и у нумеричким истраживањима процеса унутар ложишта енергетских котлова, али углавном са претпостављеним пољем струјања, или битно поједностављеним моделом сагоревања. У овој дисертацији, Хотелов зонални модел примењен је као компонента комплексног математичког модела свих релевантних процеса у ложишту. Математички модел је тестиран у великом броју радних услова и показано је да се његовом применом добијају реалне вредности физичких величина.

4.3. Очекивана примена резултата у пракси

Формирани компјутерски програм процеса у ложишту за сагоревање угљеног праха може се применити у виду нумеричког експеримента за анализу размене енергије зрачењем у тродимензионалној геометрији ложишта, у различитим радним условима: променљиво оптерећење котла, различита шема искључења горионика, променљив квалитет горива, променљива емисивност

зидова ложишта и друго. У склопу комплексних софтверских алата за симулацију ложишних процеса, примењени резултати дисертације могли би допринети поузданијој анализи процеса и оптимизацији рада котлова са аспекта енергетске ефикасности термоенергетских постројења и екологије. Компјутерски програм може се применити и у истраживачке сврхе. Уградњом других модела зрачења, може се испитати утицај модела зрачења на резултате нумеричких симулација. Таква истраживања имала би за циљ избор оптималног модела зрачења. Такође, компјутерски програм може се применити и за испитивања утицаја модела радијационих својстава гасне фазе, утицаја радијационих својстава дисперзне фазе и сл.

4.4. Верификовани научни доприноси

Научни допринос докторске дисертације је верификован радовима објављеним у часописима и саопштеним на конференцијама током вишегодишњег истраживања:

Домаћи часописи:

1. Црномарковић, Н., Сијерчић, М., Белошевић, С., Живановић, Т., Туцаковић, Д., **Поређење модела размене топлоте зрачењем који се користе за нумеричке симулације котловских ложишта**, Термотехника, Број XXXVI, стр. 153–161, 2010.

Часописи са SCI листе:

1. Crnomarković, N., Sijerčić, M., Belošević, S., Živanović, T., Tucaković, D., **Influence of Application of Hottel's Zonal Model and Six-Flux Model of Thermal Radiation on Numerical Simulations Results of Pulverized Coal Fired Furnace**, Thermal Science, In Press, doi: 10.2298/TSCI110627126C.
2. Crnomarkovic, N., Sijercic, M., Belosevic, S., Stankovic, B., Tucakovic, D., Zivanovic, T., **Influence of forward scattering on prediction of temperature and radiation fields inside the pulverized coal furnace**, Energy, In Press, doi: 10.1016/j.energy.2012.01.019.

Конференције са међународним учешћем и домаће конференције:

1. Crnomarkovic, N., Sijercic, M., Belosevic, S., **Modelling of Radiative Heat Transfer Inside the Pulverized Coal Fired Furnace of Power Plant**, International Symposium Power Plants 2008, CD Proceedings, October 2008, Brnjacka Banja, Serbia, 2008.
2. Crnomarkovic, N., Sijercic, M., Belosevic S., **Influence of Radiative Scatter on Temperature Field Inside the Pulverized Coal Fired Furnace**, International Symposium IEEP '08, CD Proceedings, June 2008, Zlatibor, Serbia, 2008.
3. Crnomarkovic, N., Sijercic, M., Belosevic, S., Stankovic, B., Tucakovic, D., Zivanovic, T., **Influence of the Radiation Models on Results of Numerical**

Simulations of Pulverized Coal Furnaces, International Symposium Power Plants 2010, CD Proceedings, October 2010, Brnjaska Banja, Serbia, 2010.

4. Crnomarkovic, N., Sijercic, M., Belosevic, S., Stankovic, B., Tucakovic, D., Zivanovic, T., **Influence of forward scattering on prediction of temperature and radiation fields inside the pulverized coal furnace**, 24th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems - ECOS2011, Book of Proceedings, pp. 692-703, Novi Sad, Serbia, July 4-7, 2011.

5. Црномарковић, Н., Сијерчић, М., Белошевић, С., **Моделирање размене топлоте у ложишту енергетског котла са Hottel-овим зоналним моделом преноса топлоте зрачењем**, Зборник радова на CD-ROM, 13. Симпозијум термичара Србије, Сокобања, 16-19. октобар 2007, ISBN 978-86-80-587-80-6, стр. 1-6.

6. Црномарковић, Н., Сијерчић, М., Белошевић, С., Живановић, Т., Туцаковић, Д., **Поређење модела размене топлоте зрачењем који се користе за нумеричке симулације котловских ложишта**, Зборник радова на CD-ROM, 14. Симпозијум термичара Србије, Сокобања, 13-16. октобар 2009, ISBN 978-86-80587-96-7, стр. 718-723.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација под називом "ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИБУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА" кандидата **мр Ненада Црномарковића**, дипл. маш. инж., представља савремен и оригиналан научни допринос кроз свеобухватно сагледавање процеса у ложишту котла коришћењем различитих математичких модела, као и иновационим приступу проблему усавршавањем поступка за моделирање размене топлоте зрачењем. Ценећи оно што је приказано у докторској дисертацији, као и чињеницу да је анализирана проблематика веома актуелна, са задовољством се констатује да је кандидат **мр Ненада Црномарковића**, дипл. маш. инж., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима докторске дисертације. Треба истаћи да је кандидат дошао до оригиналних и проверљивих резултата, и показао висок ниво способности и самосталности у доношењу и спровођењу одлука у току израде докторске дисертације.

На основу прегледа докторске дисертације од стране Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под називом "ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИБУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА" кандидата **мр Ненада Црномарковића**, дипл. маш. инж., Комисија за оцену и одбрану са задовољством 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, стандардима и Статутом Машинског факултета у Београду. Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да овај Извештај

прихвати, дисертацију стави на увид јавности, и упути Извештај на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а да се након тога кандидат позове на јавну одбрану.

У Београду, 07.05.2012. године

ПОТПИСНИЦИ ИЗВЕШТАЈА - КОМИСИЈА:

др Драган Туцаковић
ванредни професор Универзитета у Београду, Машински факултет, ментор

др Титослав Живановић
редовни професор Универзитета у Београду, Машински факултет

др Срђан Белошевић
виши научни сарадник, Лабораторија за термотехнику и енергетику,
Институт за нуклеарне науке Винча

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:732/6
Датум:10.05.2012. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 128. Закона о високом образовању и члана 12.2 Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 10.05.2012. године, донело је

ОДЛУКУ

I Прихвата се извештај о позитивној оцени урађене докторске дисертације коју је поднео мр НЕНАД ЦРНОМАРКОВИЋ и одобрава јавна одбрана дисертације по добијању сагласности од Универзитета, под насловом: „ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИБУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА“

II Универзитет је дана 10.04.2007. године, својим актом број 43/3 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата.

III Радови кандидата у часопису међународног значаја:

1. Crnomarković, N., Sijerčić, M., Belošević, S., Živanović, T., Tucaković, D., **Influence of Application of Hottel's Zonal Model and Six-Flux Model of Thermal Radiation on Numerical Simulations Results of Pulverized Coal Fired Furnace**, Thermal Science, In Press, doi: 10.2298/TSCI110627126C.

2. Crnomarkovic, N., Sijercic, M., Belosevic, S., Stankovic, B., Tucakovic, D., Zivanovic, T., **Influence of forward scattering on prediction of temperature and radiation fields inside the pulverized coal furnace**, Energy, In Press, doi: 10.1016/j.energy.2012.01.019.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 90/2
Датум: 26.01.2012. године
Београд: Краљице Марије 16

У вези захтева мр Ненада Црномарковића, дипл.инж.маш., уз сагласност ментора проф.др Драгана Туцаковића и Шефа Катедре за термотехнику, да му се продужи рок за израду докторске дисертације, Наставно-научно веће Машинског факултета сагласно чл. 128. Закона о високом образовању, на седници одржаној 26.01.2012. године донело је следећу

ОДЛУКУ

Одобрава се продужење рока за израду докторске дисертације **«ПРИЛОГ МОДЕЛИРАЊУ ПРОСТОРНЕ ДИСТРИБУЦИЈЕ ЗРАЧЕЊА У ЛОЖИШТУ КОТЛА ЗА САГОРЕВАЊЕ УГЉЕНОГ ПРАХА»** кандидата **мр НЕНАДА ЦРНОМАРКОВИЋА**, дипл.инж.маш. до 11.04.2013. године.

Одлуку доставити: ментору, Катедри, кандидату и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф. др Милорад Милованчевић