

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)

751/4

(Број захтева)

08.07.2021. 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:

ДИМИТРИЈЕ (ЈЕЛЕНКО) МАНИЋ

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **ДИМИТРИЈЕ (ЈЕЛЕНКО) МАНИЋ** уписан на Докторске студије 2009. год.

(име, име једног од родитеља и презиме)

Поднео је захтев за израду докторске дисертације:

ТЕРМОДИНАМИЧКА АНАЛИЗА, МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА ДИНАМИЧКОГ ПОНАШАЊА СИСТЕМА ЗА КЛИМАТИЗАЦИЈУ, ГРЕЈАЊЕ И ХЛАЂЕЊЕ У ЈАВНИМ ОБЈЕКТИМА

Универзитет је дана 23.04.2018. год. својим актом под бр. 61206-1816/2-18 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

ТЕРМОДИНАМИЧКА АНАЛИЗА, МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА ДИНАМИЧКОГ ПОНАШАЊА СИСТЕМА ЗА КЛИМАТИЗАЦИЈУ, ГРЕЈАЊЕ И ХЛАЂЕЊЕ У ЈАВНИМ ОБЈЕКТИМАКомисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **ДИМИТРИЈА (ЈЕЛЕНКО) МАНИЋА**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 22.04.2021. године, одлуком факултета под бр. 751/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. Др Мирко Коматина	ред. проф.	Термомеханика	Машински факултет Београд
2. Др Милош Бађац	ред. проф.	Термомеханика	Машински факултет Београд
3. Др Бранислав Живковић	ред. проф. МФ у пензији	Термотехника	Машински факултет Београд
4. Др Неџад Рудоња	доцент	Термомеханика	Машински факултет Београд
5. Др Биљана Вучићевић	виши научни сарадник	Термомеханика и термоенергетика	ИНН Винча Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 08.07.2021. године.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф.др Радивоје Митровић

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: 751/4
Датум: 08.07.2021. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 64. Статута Машинског факултета – пречишћени текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета и реферата Комисије у саставу: др Мирко Коматина, ред. проф., ментор, др Милош Бањац, ред. проф., др Бранислав Живковић, ред. проф. МФ у пензији, др Неџад Рудоња, доц. и др Биљана Вучићевић, виши научни сарадник, ИНН Винча Београд о оцени докторске дисертације „Термодинамичка анализа, моделирање и оптимизација динамичког понашања система за климатизацију, грејање и хлађење у јавним објектима“ студента докторских студија **Димитрија Манића, дипл. инж. маш.**, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 08.07.2021. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„ТЕРМОДИНАМИЧКА АНАЛИЗА, МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА ДИНАМИЧКОГ ПОНАШАЊА СИСТЕМА ЗА КЛИМАТИЗАЦИЈУ, ГРЕЈАЊЕ И ХЛАЂЕЊЕ У ЈАВНИМ ОБЈЕКТИМА“** студента **ДИМИТРИЈА МАНИЋА, дипл. инж. маш.**

Докторску дисертацију и реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији доставити на давање сагласности Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, по истеку рока од 30 дана у коме су били на увиду јавности.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Димитрија Ј. Манића, дипл. маш. инж., студента докторских студија

Одлуком **Наставно-научног већа** бр. **751/2** од **22.04.2021.** године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Димитрија Ј. Манића**, дипл. маш. инж., студента Докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду, под насловом

„Термодинамичка анализа, моделирање и оптимизација динамичког понашања система за климатизацију, грејање и хлађење у јавним објектима“

Након прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Димитрије Ј. Манић, дипл. маш. инж., уписао је докторске студије на Машинском факултету 2009. године. Кандидату је одобрен продужетак статуса студирања на Докторским академским студијама: и то за школску годину 2017/2018, број молбе 9/13543 од 30.09.2017., школску годину 2018/2019, број молбе 9/13877 од 28.09.2018. и школску годину 2020/2021, број молбе 9/365 од 28.09.2020. Кандидату је одобрен статус мировања за школску годину 2013/2014, број молбе 9/9750 од 18.11.2014., за школску годину 2014/2015, број молбе 9/12023 од 24.11.2015. и за школску годину 2019/2020, број молбе 9/365 од 28.09.2020. Током докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду кандидат је положио све испите предвиђене планом и програмом докторских студија са средњом оценом 10,00. Списак положених предмета, предметних професора и оцена је дат у Табели 1.

Табела 1: Списак положених предмета, предметни професори и оцене

	Назив предмета	Предметни професор	Оцена
Обавезни предмети	<i>Виши курс математике</i>	Проф. др Слободан Радојевић	10
	<i>Нумеричке методе</i>	Проф. др Миодраг Спалевић	10
	<i>Одабрана поглавља из механике флуида</i>	Проф. др Светислав Чантрак	10
	<i>ОМНИР и комуникација</i>	Проф. др Милош Недељковић	10
Изборни предмети	<i>Мерења А – општи део</i>	проф. др Добрила Шкатарић	10
	<i>Рационализација потрошње енергије у домаћинствима и индустрији</i>	проф. др Мирко Коматина	10
	<i>Обновљиви извори енергије</i>	проф. др Мирко Коматина	10
	<i>Одабрана поглавља из простирања топлоте и супстанце</i>	проф. др Мирко Коматина	10
	<i>Одабрана поглавља из простирања топлоте и супстанције</i>	проф. др Александар Саљников	10
Лабораторијски предмети	<i>Лабораторија I</i>	проф. др Марко Милош	10
	<i>Лабораторија II</i>	проф. др Марко Милош	10
	<i>Лабораторија III</i>	проф. др Марко Милош	10
	<i>Лабораторија IV</i>	проф. др Мирко Коматина	10

Кандидат Димитрије Ј. Манић, дипл. маш. инж., поднео је захтев за одобрење теме докторске дисертације број 265/1 од 31.01.2018. године на Машинском факултету Универзитета у Београду. Кандидат је за ментора предложио др Мирка Коматину, редовног професора Машинског факултета у Београду.

Одлуком Наставно-научног већа број 265/3 од 15.03.2018. године прихваћена је тема докторске дисертације под насловом: „Термодинамичка анализа, моделирање и оптимизација динамичког понашања система за климатизацију, грејање и хлађење у јавним објектима“ кандидата Димитрија Ј. Манића, дипл. маш. инж. и за ментора је именован др Мирко Коматина, редовни професор Машинског факултета у Београду. Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Димитрија Ј. Манића, дипл. маш. инж., одлуком број 61206-1816/2-18 од 23.04.2018. године. На основу обавештења проф. др Мирка Коматине, да је кандидат Димитрије Ј. Манић, дипл. маш. инж. завршио докторску дисертацију под насловом: „Термодинамичка анализа, моделирање и оптимизација динамичког понашања система за климатизацију, грејање и хлађење“, и предлога Катедре за термомеханику, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је 22.04.2021. године Одлуку број 751/2 о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Мирко Коматина, редовни професор (**ментор**), Универзитет у Београду, Машински факултет,
- др Милош Баџац, редовни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет,
- др Бранислав Живковић, редовни професор у пензији, Машински факултет

- др Неџад Рудоња, доцент, Универзитет у Београду Машински факултет,
- др Биљана Вучићевић, виши научни сарадник, ИНН Винча Београд

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Димитрија Ј. Манића, дипл. маш. инж., под насловом „Термодинамичка анализа, моделирање и оптимизација динамичког понашања система за климатизацију, грејање и хлађење у јавним објектима“, припада области техничких наука - научној области Машинско инжењерство (ужа научна област Термомеханика) за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

Ментор др Мирко Коматина је редовни професор на Машинском факултету Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци

Димитрије Ј. Манић, дипл. маш. инж, рођен је 1983. године у Лазаревцу. Основну школу и гимназију природно-математичког смера завршио је у Лазаревцу са одличним успехом.

Школске 2002/03. године уписује Машински факултет Универзитета у Београду, где 2009. године стиче звање дипломираног машинског инжењера, са одбрањеним дипломским радом са оценом 10.

Докторат на Машинском факултету у Београду уписује 2009. године, а од 01.09.2009. је запослен у Иновационом центру Машинског факултета, где и даље ради. Упоредо са својим студијским обавезама, испитним активностима и експерименталним истраживањима, током докторских и мастер студија имао је прилику да учествује на студентским разменама и програмима.

За време докторских студија, 2012. године, преко организације ЈСА, четири месеца је боравио у Јапану на обуци и пракси везаној за менаџмент у производњи и заштиту животне средине. Такође, током периода докторских студија и рада у Иновационом центру машинског факултета био је на научно-истраживачким разменама у земљама ЕУ и више недеља учествовао у заједничком раду на пројектима и припремама пројектних пријава на Technische Universität Hamburg (Хамбург, Немачка, осам недеља), Technische Universität Wien (Беч, Аустрија, четири недеље), Universidade Nove de Lisboa (Лисабон, Португалија, шест недеља), KTH Royal Institute of Technology in Stockholm (Стокхолм, Шведска, две недеље) итд.

У току докторских студија био је ангажован и на настави. Школске године 2010/2011 држао је вежбе из предмета Термодинамика Б (код проф. др Мирка коматине) и Простирање топлоте и супстанце (код проф. др Александра Саљникова).

Течно говори енглески, а служи се и француским језиком. Поседује експертски ниво знања у многобројним инжењерским софтверским окружењима попут IESVE, TRNSYS, Revit, AutoCAD итд.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Димитрија Ј. Манића, дипл. маш. инж., под насловом „Термодинамичка анализа, моделирање и оптимизација система за климатизацију, грејање и хлађење у јавним објектима“, написана је на српском језику, садржи 205 страна формата А4, 75 слика, 54 табеле и списак коришћене литературе који садржи 95 референци.

Дисертација садржи следећа поглавља: Увод, Развој методологије за евалуацију и оптимизацију енергетског понашања зграде, Имплементација методологије на реалном објекту, Дефинисање и евалуација индивидуалних мера за уштеду енергије, Анализа резултата симулације динамичког модела, Развој и анализа оптималних пакета мера за уштеду енергије, Закључна разматрања, Литература и Прилози.

Поред наведеног, дисертација садржи захвалницу, резиме на српском и енглеском језику, садржај, биографију аутора и изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације и изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

2.2.1. Увод

Прво поглавље представља увод у тематику енергетске ефикасности у сектору зградарства. Објашњен је контекст докторске дисертације и значај развоја јединствене методологије за анализу енергетских перформанси и енергетских токова у зградама и оптимизацију енергетских перформанси зграда. Наведени су основни приступи проблематици у инжењерској пракси и научно-истраживачком раду укључујући њихове предности и недостатке.

2.2.2. Развој методологије за евалуацију и оптимизацију енергетског понашања зграде

У другом поглављу дат је детаљан приказ развоја нове јединствене методологије за анализу и оптимизацију енергетских перформанси зграда. Методологија обухвата следеће основне целине: опис објекта, утврђивање и анализу референтних услова коришћења објекта и референтне потрошње енергије, формирање физичко-математичког модела за калибрисану симулацију објекта, калибрисана симулација објекта и усклађивање референтне потрошње, идентификација и евалуација индивидуалних мера за уштеду енергије и развој сценарија тј. оптимизованих пакета мера за уштеду енергије. За сваки корак методологије пружен је преглед литературе, објашњени алтернативни приступи и образложено зашто је изабрано конкретно решење. Посебан акценат је на дефинисању критичног корака читаве

методологије - калибрисане симулације објекта. Пружен је приказ различитих приступа у формирању калибрисане симулације који се јављају у научним радовима и инжењерској пракси и објашњено зашто је одабран конкретан приступ калибрацији. Поглавље објашњава одабир и основне карактеристике софтверског алата за калибрисану симулацију – IESVE. Такође, дефинисана је и методологија анализе економских ефеката имплементације мера за уштеду енергије.

2.2.3. Имплементација методологије на реалном објекту

Ово поглавље представља увод у имплементацију развијене методологије на постојећем објекту. Основни кораци методологије који су у овом поглављу приказани кроз студију случаја су опис објекта, анализа референтних услова и референтне потрошње, израда физичко-математичког модела објекта, укључујући КГХ системе објекта, калибрација модела односно калибрисана симулација и усклађивање референтног модела.

Приказан је детаљан опис објекта укључујући архитектонске и грађевинске карактеристике, као и карактеристике енергетских система. Приказани су и објашњени резултати мерења потрошње енергије, као потрошње енергије објекта и параметара рада КГХ система као и услова угодности у објекту.

У поглављу и пратећим прилозима је детаљно описана израда физичко-математичког модела објекта у IESVE софтверском окружењу, затим процес израде калибрације референтног симулационог модела и усклађивање референтног модела.

2.2.4. Дефинисање и евалуација индивидуалних мера за уштеду енергије

Ово је најобимније поглавље у којем су детаљно дефинисане и симулиране мере за уштеду енергије на објекту, укључујући техничке карактеристике и захтеве имплементације као и енергетске, економске и еколошке последице имплементације.

Приказано је двадесет и осам (28) мера за уштеду енергије укључујући детаљан опис њихових техничких карактеристика, као и енергетских, економских и еколошких последица њихове имплементације. Мере за уштеду енергије су подељене у четири основне групе: мере на термичком омочачу објекта, мере на системима за климатизацију, грејање и хлађење, мере на електричним системима и мере примене обновљивих извора енергије. Ефекти имплементације мера за уштеду енергије процењени су нумеричком анализом кроз рачунарску симулацију физичко-математичког модела објекта, а у поглављу су приказане и основне претпоставке при моделовању за сваку од мера.

2.2.5. Анализа резултата симулације динамичког модела

У овом поглављу дат је упоредни приказ резултата симулације мера за уштеду енергије и процене њихових трошкова. Основни резултати који су приказани укључују промену потрошње електричне енергије и природног гаса као последице имплементације мера, као и процену трошкова пројекта имплементације мера изражене кроз нето садашњу вредност и трошкове животног циклуса пројекта.

Због обима истраживања детаљна параметарска анализа ефеката имплементације мера није показана за све анализиране мере, већ само за поједине, код којих резултати одступају од оних какви би се могли очекивати према резултатима неких претходних истраживања или од уштеда какве произвођачи опреме сугеришу. У том контексту посебна пажња је пружена мерама на омотачу објекта, јер су уштеде услед побољшања термичке изолације омотача објекта далеко мање у односу на уштеде какве су могуће на стамбеним објектима без система за механичку вентилацију, али и далеко мање у односу на уштеде какве би биле процењене применом квазистационарног прорачуна на бази степен дана. Такође, детаљно је анализирана и имплементација расхладних греда, чија примена не доноси уштеде електричне енергије какве произвођачи опреме сугеришу. Највеће уштеде енергије су могуће имплементацијом мера на системима за климатизацију грејање и хлађење, при чему мере на системима за централну вентилацију које укључују контролу количине свежег ваздуха и регенерацију отпадне топлоте, могу да обезбеде до 28% уштеде финалне енергије, док имплементација топлотних пумпи може да обезбеди 18% уштеде у случају аеротермалних, односно 28% уштеде у случају геотермалних топлотних пумпи.

2.2.6. Развој и анализа оптималних пакета мера за уштеду енергије

Крајњи циљ процеса планирања енергетске оптимизације није одабир једне „најбоље“ мере (без обзира шта је критеријум), већ дефинисање сценарија и стратегије енергетске оптимизације тј. оптималног пакета мера за уштеду енергије. Ово поглавље дефинише три основна пакета мера. Први пакет мера обезбеђује минималну жељену уштеду енергије и смањење емисије уз најмање могуће трошкове пројекта током анализираних периода (25 година). Дакле за први пакет услов који се мора задовољити је одређена уштеда енергије дефинисана према захтевима регулативе (или захтевима власника објекта, који могу бити још оштрији од регулативних), док се оптимизација врши према економском критеријуму тј. нето садашњој вредности пројекта. Овај пакет мера за конкретну студију случаја омогућио би смањење финалне потрошње енергије за око 31% уз процењену позитивну нето садашњу вредност након 25 година у износу од око 1,3 милиона долара.

За други пакет мера, услов који се мора задовољити је неутрална економија пројекта тј. нето садашња вредност пројекта након анализираних периода не сме да буде негативна, док је критеријум оптимизације пакета потрошња енергије. Другим речима, тражи се пакет који омогућује максималне могуће уштеде енергије уз поврат инвестиције након 25 година. Овај пакет мера за конкретну студију случаја омогућио би смањење финалне потрошње енергије за око 54% и смањење емисије гасова стаклене баште услед потрошње енергије за 96% уз благо позитивну нето садашњу вредност пројекта након 25 година.

Трећи пакет мера предвиђа максимално могуће смањење емисије гасова стаклене баште, без обзира на трошкове пројекта. Овај пакет обухвата мере које могу да доведу објекат на неутралан ниво емисије угљендиоксида и нуди увид у економске последице таквог приступа. Овај пакет мера за конкретну студију случаја омогућио би смањење финалне потрошње енергије за око 62% и смањење емисије гасова стаклене баште услед потрошње енергије за 99% уз изразито негативне економске параметре пројекта, што конкретно значи да је нето садашња вредност пројекта након 25 година негативна за 27 милиона долара.

2.2.7. Закључна разматрања

У шестом поглављу дати су закључци рада. Објашњен је значај истраживања, потенцијална примена развијене методологије и значај конкретних закључака везаних за мере за уштеду енергије које се односе на термички омотач и машинске системе. Поглавље даје и предлоге за даљи рад у овој области.

2.2.8. Литература

У седмом поглављу дат је списак литературе коришћене при писању дисертације.

2.2.9. Прилози

У овом поглављу дати су прилози који обухватају параметре софтверског модела објекта укључујући омотач објекта, постојеће чилерско постројење и систем воденог хлађења, постојећу котларницу и систем топловодног грејања, остале постојеће системе, као и низ мера за уштеду енергије.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Током израде докторске дисертације, кандидат је користио методе из следећих научних дисциплина: Термодинамика, Преношење количине топлоте и супстанције, Механика флуида, Елементи нумеричке анализе, Калибрисана динамичка симулација.

Процес анализе и оптимизације енергетских перформанси зграде представља компликован процес спрегнутих енергетских токова укључујући различите преношења количине топлоте и супстанције при чему значајан утицај имају врсте материјала, карактеристике и параметри рада различитих система, итд. Због тога су у овој дисертацији примењене методе описивања енергетских токова у зградама и процеса калибрисане симулације најновијим научним, теоријским и емпиријским анализама, које су заједно са одговарајућим математичким методама, као и коришћењем одговарајућих софтвера дале задовољавајуће резултате.

Фокус истраживања у докторској дисертацији односи се на питања која су данас веома заступљена у инжењерској пракси и бројним истраживањима у литератури, што указује на актуелност и савременост теме. У прилог томе говоре бројни радови у научним и стручним часописима који су високо реферисани на званичним листама, који су посвећени истраживању процеса енергетских перформанси зграда и имплементације мера за уштеду енергије. У прегледу истраживања приказани су најзначајнији радови који су имали највећи утицај на истраживања у докторској дисертацији.

Оригиналност истраживања у докторској дисертацији огледа се у иновативном приступу у дефинисању и унапређењу методологије и процеса анализе и оптимизације енергетског понашања зграда. Оригиналност истраживања верификована је публикавањем рада у часопису са „импакт“ фактором – Thermal Science.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији Димитрија Манића, дипл. маш. инж. наведено је 91 библиографску јединицу, од којих већи део чини референтна литература која се односи на методолошке и опште принципе у заступљеној научној области ове дисертације. С обзиром да је истраживање у предметној дисертацији иновативног карактера, Комисија констатује да је кандидат студиозно сублимирао резултате добијене на основу истраживања литературе и на тај начин обезбеђује подлогу за спровођење истраживања предметне докторске дисертације.

Релевантна литература из неколико области, укључујући енергетске перформансе зграда, калибрисану симулацију динамичког понашања зграда и мере за уштеде енергије углавном је коришћена из реферисаних часописа са SCI листе, а највећи број радова датира из периода 2010-2020. године што је у складу са актуелношћу теме.

С обзиром да је истраживање у предметној дисертацији креативног и иновативног карактера, Комисија констатује да је кандидат успешно анализирао резултате добијене на основу истраживања литературе и на тај начин обезбедио подлогу за спровођење истраживања предметне докторске дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Мерења везана за потрошњу енергије објекта и термичке услове угодности су спроведена на постојећем јавном објекту, конкретно Згради пореске управе у Винипегу (Канада), током 2018. и 2019. године. Инструментација којом су вршена мерења обухвата паметна електрична бројила, бројила за гас, водомера, мераче протока, температурске и друге сензоте повезане на систем за централни надзор и управљање.

Израда физико-математичког модела објекта и калибрисана симулација урађени су помоћу најнапреднијег и најробуснијег софтверског пакета који је тренутно доступан на тржишту. У дисертацији су приказани основи физичко-математичког симулационог модела о објашњени основни принципи симулације. Варирањем параметара модела процеса добијени су резултати који могу помоћи у решавању конкретних проблема, као што је, на пример, избор оптималних радних параметара, а све у циљу оптимизације рада енергетских система у објекту и потрошње енергије.

У току израде дисертације коришћене су научне и инжењерске методе из следећих научних дисциплина:

Термодинамика

Преношење топлоте и супстанције

Механика флуида

3.4. Примењивост остварених резултата

Кључни допринос ове дисертације је управо примењивост резултата. Изражени напори који се улажу са стране регулативе, истраживања и у инжењерској пракси, а са циљем да се смањи и оптимизује потрошња енергије у сектору зградарства довели су до тога да у литератури и на тржишту постоји велики број различитих метода за спровођење сваког корака у том процесу. То је довело до ситуације у којој је заинтересованим странама у процесу анализе и оптимизације енергетског понашања објекта, често веома тешко, да дефинишу оптималну методологију за спровођење читавог процес, као и да разумеју предности и мане одређеног приступа. Дисертација дефинише јединствену методологију примењиву и у инжењерској пракси и у научно-истраживачким оквирима, која је довољно робусна да би обезбедила могућност детаљне параметарске анализе сваког процеса и потенцијалне мере за уштеду енергије, укључујући енергетске, економске и еколошке ефекте, као и ефекте на услове угодности, а опет није превише захтевна у смислу потребних ресурса и времена за имплементацију, што је чини економски прихватљивом.

Осим саме методологије, дисертација нуди детаљан увид и анализу појединих мера за уштеду енергије код којих прави ефекти имплементације застављају закључке везане

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Чланови комисије сматрају да је кандидат показао способност да самостално и системски решава инжењерске и научне проблеме, да користи расположиву литературу и да успешно влада савременим истраживачким методама у области темомеханике. Поседује теоријско знање, које се може посматрати кроз објављене научне радове, а који му дају основу за успешан научно-истраживачки рад. Такође, поседује практично искуство, што је могуће видети на основу изведене студије случаја и израде калибрисаног симулационог модела реалног објекта, као и из његове биографије, у којој је наведено да је учествовао на радним праксама у Јапану, Немачкој, Аустрији, Португалији и Шведској. Кандидат Димитрије Манић спровео је успешно истраживања, као и селекцију метода и техника неопходних за анализу и разумевање енергетских токова и енергетских перформанси у зградама са сложеним КГХ системима. Такође, показао је способност и знање за самосталан научни и истраживачки рад, методолошки исправан приступ праћењу и истраживању постојеће литературе и информација из области истраживања, као и креативност при прикупљању, обради и анализи добијених података. Комисија сматра да кандидат има све потребне квалитете за истраживачки и научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси докторске дисертације су следећи:

- Дефинисана јединствена методологија за анализу и оптимизацију енергетског понашања у зградама са сложеним КГХ системима, укључујући опис и анализу постојећег стања објекта и енергетских перформанси, дефинисање референтних и нормализованих услова рада објекта, израду физичко-математичког модела за калибрисану симулацију, рашчлањивање потрошње енергије према потрошачима, идентификацију и евалуацију индивидуалних мера за уштеду енергије и креирање оптимизованих пакета мера за уштеду енергије.
- Развијен сопствени приступ за калибрацију симулационог модела зграде са енергетским системима, који укључује анализу потрошене енергије према енергентима на месечном нивоу, анализу часовне потрошње електричне енергије и анализу према степен данима, а као резултат даје детаљан калибрисани модел адекватан за параметарску анализу енергетских токова у објекту и евалуацију ефеката имплементације мера за уштеду енергије.
- Описан и анализиран велики број конкретних мера за уштеду енергије, укључујући мере које се односе на термички омотач објекта, системе за климатизацију грејање и хлађење, електричне системе и имплементацију обновљивих извора енергије. За све мере, квалитативно и квантитативно су дефинисани енергетски, еколошки и економски ефекти њихове имплементације кроз студију случаја на конкретном постојећем објекту.
- Дефинисани захтеви за креирање оптималних пакета мера за уштеду енергије, укључујући различите оптимизационе критеријуме.

Научни допринос кандидата – дефинисање методолошких и рачунских процедура за анализа и оптимизација енергетских перформанси зграда објављени су у радовима „Groundwater heat pump selection for high temperature heating retrofit“ (M21) доступан на адреси <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778812001065>, „Energy performance of single family houses in Serbia - analysis of calculation procedures“ (M22) доступан на адреси <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-9836/2019/0354-98361900073M.pdf> „Evaluation and optimization of office buildings energy performance in cold climate“ (M33). Наведени научни допринос кандидата посебно је истакнут је у поглављу 2, потпоглављу 2.3, и 2.4, касније у потпоглављима 3.2 и 4.14.

Теоријски допринос дисертације огледа се у развијању сопственог процеса анализе енергетског понашања објекта и калибрисане симулације, полазећи од критеријума калибрације прописаних према ASHRAE Guideline-14. Такође, резултати имплементације методологије на конкретном објекту нуде нове закључке у погледу конкретних мера за

уштеду енергије, од којих су неки апликабилни независно од локације објекта, а неки апликабилни само за климатско поднебље анализираног објекта.

Практични допринос истраживања огледа се у могућности да се на економичан и детаљан начин, имплементацијом дефинисане методологије, пружи исцрпна параметарска анализа енергетског понашања објекта и дефинисање оптималних мера за уштеду енергије.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У току реализације истраживања предметне докторске дисертације уочена су поједина ограничења развијене методологије за анализу и оптимизацију енергетског понашања објекта која могу бити смернице даље истраживањ у овој области.

- Иако су у дисертацији и представљеном симулационом моделу укључени феномени преноса топлоте и супстанце, укључујући природну и вештачку кондукцију, анализа ових феномена почива на предефинисаним вредностима инфилтрације која је дефинисана као улазни параметар модела. Вреди детаљније истражити предности и ограничења интеграције CFD метода за анализу притисног и струјног поља ваздуха у непосредној околини и унутар објекта, а које има утицај на инфилтрацију ваздуха, енергетске токове унутар објекта и услове угодности. То би омогућило да се инфилтрација ваздуха третира, не као полазна претпоставка дефинисана на основу стања грађевинског омотача, већ као резултат модела, а што би пружио додатну димензију методологији која је некада неопходна за анализу имплементације мера попут двоструких вентилисаних васада или природног проветравања.
- Дефинисање групе мера које чине пакет оптимизован према одређеном критеријуму је итеративни поступак. Недостатак таквог приступа огледа се у чињеници да је за адекватно спровођење итеративног поступка неопходно искуство у области и експертско знање као и да може да буде делимично субјективан и временски захтеван. Пожељно би било дефинисати оптимизациони алгоритам који омогућава аутоматизацију процеса дефинисања пакета мера према дефинисаним условима и оптимизационом критеријуму.

Осим наведених ограничења предложене методологије у докторској дисертацији, предлози за даља истраживања су:

- Анализа оптимизације енергетских перформанси контролисањем већег броја радних параметара постојећих енергетских система и променом секвенци рада централног система за надзор и аутоматско управљање.
- Дефинисање методологије и алгоритма за енергетски менаџмент и оптимизацију радних параметара енергетских система у реалном времену.

Као и код готово свих постојећих приступа који користе калибрисану симулацију за анализу енергетских перформанси објекта, главно ограничење методологије је то што захтева велики број улазних параметара модела, да би се обезбедила објективна и веродостојна анализа енергетских токова и потрошње енергије. Уколико већи број критичних карактеристика зграде и параметара рада енергетских система није познат, ова методологија није

препоручљива, већ треба користити неке мање робусне методе, које додуше не омогућавају параметарску анализу, нити рапчлањивање потрошње енергије према потрошачима.

4.3. Верификација научних доприноса

Публиковани радови Димитрија Манића који су проистекли као резултата истраживања у оквиру докторске дисертације:

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

1. Antonijevic, D., **Manic, D.**, Komatina, M., Rudonja., N., Groundwater heat pump selection for high temperature heating retrofit, *Energy and Buildings* 49 (2012) 294–299

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. **Manic, D.**, Komatina, M., Vučićević B., Jovanović M., *Energy performance of single family houses in Serbia - analysis of calculation procedures*, *Thermal Science* 2019 Online-First Issue 00, Pages: 73-73

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

2. **Manic, D.**, Komatina, M., Lalosevic, M., *Evaluation and optimization of office buildings energy performance in cold climate*, 3rd International Scientific Conference, *Alternative Energy Sources, Materials, and Technologies (AESMT'20)*, 2020.
3. Bajc, T., Komatina, M., Todorović, **M., Manić, D.**, *Energy Consumption Rationalization Using Energy Retrofit Measures On The Example Of Preschool Institution*, *KGH 2* (2012)
4. Komatina, M. Rudonja, N., **Manić, D.**, Antonijević, D., *Thermal and Thermochemical Energy Storages Coupled With Renewable Energy Systems*, in 6th Symposium, *Chemistry and Environmental Protection EnviroChem*, B.R. Ivan Gržetić, Vladimir Beškoski, Editor. 2013, Srpsko hemijsko drustvo: Vršac, Serbia
5. Zivkovic, M. Ivezic, D. Madzarevic, **A. Manic, D.** *Participatory Backcasting Approach in Energy Planning –An Experience from the City of Niš*, 7th International Scientific Conference on Energy and Climate Change, 2014

У оквиру истраживања током докторских студија, постигнути су и други резултати, који нису директно повезани са темом докторске дисертације :

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. Antonijević, D., Rudonja, N., Komatina, M., **Manić, D.**, Uzelac, S., Exergy Analysis of Two-Stage Water to Water Heat Pump, 15th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, Sokobanja, Serbia, October 18–21, 2011
2. Komatina, M., Jovanovic, M., Komatina, B., Antonijevic, **D., Manić, D.** Flash steam recovery from steam boiler in food processing industry, 40th Scientific Conference OMO, 2015
3. Zivkovic, M. Ivezic, D. Madzarevic, A. **Manić, D.** Integral Approach in Planning of Heating Systems Development – Case Study for the city of Niš, 45th Congress and Exhibition on HVAC&R, 2015

Ново техничко решење (метода) примењено на националном нивоу (M82)

1. Komatina, M., Antonijevic, **D., Manić, D.**, Jovanovic, M., Komatina, B. Razmenjivac toplote za iskoriscavanje otpadne toplote otparka u parno-kotlovskom postrojenjuima, Tehnicko resenje, Masinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2015

Пројектне активности

Пројекти финансирани од стране Министарства науке и технолошког развоја Републике Србије

1. TR 18008 Оптимизација енергетског искоришћавања субгеотермалних водних ресурса, 2008 – 2010
2. III 42011 Развој и унапређење технологија за енергетски ефикасно искоришћавање више форми пољопривредне и шумске биомасе на еколошки прихватљив начин уз могућност когенерације, 2011 – 2019
3. TR 33053 Истраживање и примена обновљивих субгеотермалних подземних водних ресурса у концепту повећања енергетске ефикасности у зградарству, 2011 – 2019
4. Иновациони пројекат: Развој размењивача топлоте за искоришћавање отпадне топлоте отпарка у парно-котловским постројењима.

Остали пројекти

1. COST: Action MP 1004, Hybrid Energy Storage Devices and Systems for Mobile and Stationary Applications, 2011 – 2015
2. SEE Transnational Cooperation Programme – 4th call: Innovative uses of low-temperature geothermal resources in South East Europe, 2012 – 2014

3. TEMPUS: Training Courses for Public Services in Sustainable Infrastructure Development in Western Balkans, 2012 – 2015
4. IPA HETIP project: Preparing plans for new RES and energy efficiency laboratory on the Faculty of Mechanical Engineering (hot box apparatus, blower door system, data acquisition system, thermal conductivity analyzer etc.), preparing tender documentation and commissioning of acquired equipment.
5. Interreg Danube Transnational Programme – 1st call: Smart Building – Smart Grid – Smart City (3 Smart); 2017-2019

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације и горе изнетог, имајући у виду квалитет и научни допринос дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану ове докторске дисертације закључује да је кандидат Димитрије Манић дипл. маш. инж., успешно завршио докторску дисертацију под називом: „Термодинамичка анализа, моделирање и оптимизација динамичког понашања система за климатизацију, грејање и хлађење у јавним објектима“. Комисија закључује да дисертација представља значајан и оригиналан научни рад са научним доприносом у научној области Машинско инжењерство, ужа научна област Термомеханика. Комисија закључује да је докторска дисертација урађена сходно стандардима научно истраживачког рада, да испуњава све услове и да је у складу је са Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду. Комисија предлаже Наставно научном већу Машинског факултета у Београду да овај реферат прихвати, да дисертацију стави на увид јавности, да реферат упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да се након завршених процедура, кандидат, Димитрије Манић дипл. маш. инж., позове на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом овом саставу.

Београд, 30.06.2021.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

др Милош Бањац, редовни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Бранислав Живковић, редовни професор у пензији,
Универзитет у Београду, Машински факултет,

др Неџад Рудоња, доцент,
Универзитет у Београду, Машински факултет,

др Биљана Вучићевић, виши научни сарадник,
Институт за нуклеарне науке Винча.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 751/4
Датум: 08.07.2021. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017 и 27/2018-др. закон), члана 48. Правилника о докторским студијама, члана 64. Статута Машинског факултета - пречишћен текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 08.07.2021. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији „**ТЕРМОДИНАМИЧКА АНАЛИЗА, МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА ДИНАМИЧКОГ ПОНАШАЊА СИСТЕМА ЗА КЛИМАТИЗАЦИЈУ, ГРЕЈАЊЕ И ХЛАЂЕЊЕ У ЈАВНИМ ОБЈЕКТИМА**“ студента **ДИМИТРИЈА МАНИЋА**, дипл. инж. маш.

Јавна одбрана докторске дисертације обавиће се по добијању сагласности Универзитета у Београду.

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-1816/2-18 од 23.04.2018. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. **Manic, D.**, Komatina, M., Vučićević B., Jovanović M., *Energy performance of single family houses in Serbia - analysis of calculation procedures*, Thermal Science 2019 Online-First Issue 00, Pages: 73-73

Одлуку доставити: студенту, ментору, Катедри за термомеханику и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић