

Образац 2.

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)

1395/5

(Број захтева)

21.09.2017. године

(Датум)

З А Х Т Е В

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:

РУЖИЦА (ИЛИЈА) ТОДОРОВИЋ

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **РУЖИЦА (ИЛИЈА) ТОДОРОВИЋ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

ПОДЗЕМНИ ВОДОНОСНИ СЛОЈ КАО СЕЗОНСКИ ТЕРМИЧКИ РЕЗЕРВОАР ТОПЛОТНЕ ПУМПЕ

Универзитет је дана 18.11.2013. год. својим актом под бр. 61206-5286/2-13 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

ПОДЗЕМНИ ВОДОНОСНИ СЛОЈ КАО СЕЗОНСКИ ТЕРМИЧКИ РЕЗЕРВОАР ТОПЛОТНЕ ПУМПЕ

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **РУЖИЦЕ (ИЛИЈА) ТОДОРОВИЋ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 22.06.2017. године, одлуком факултета под бр. 1395/3, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. Др Милош Бањац	Ред. проф.	Термомеханика	Машински факултет Београд
2. Др Мирко Коматина	Ред. проф.	Термомеханика	Машински факултет Београд
3. Др Милан Гојак	Ванр. проф.	Термомеханика	Машински факултет Београд
4. Др Александар Ћоћић	Доцент	Механика флуида	Машински факултет Београд
5. Др Франц Коси	Ред. проф. М.Ф. у пензији	Термотехника	Машински факултет Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 21.09.2017. 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: 1395/5
Датум: 21.09.2017. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 128. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 32. Закона о изменама и допунама Закона о високом образовању („Службени гласник РС“ број 44/2010) и члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и реферата Комисије у саставу: др Милош Бањац, ред. проф., ментор, др Мирко Коматина, ред. проф., др Милан Гојак, ванр. проф., др Александар Ћоћић, доц. и др Франц Коси, ред. проф. М.Ф. у пензији, о оцени докторске дисертације „Подземни водоносни слој као сезонски термички резервоар топлотне пумпе“ докторанда мр Ружице Тодоровић, дипл. маш.инж., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 21.09.2017. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„ПОДЗЕМНИ ВОДОНОСНИ СЛОЈ КАО СЕЗОНСКИ ТЕРМИЧКИ РЕЗЕРВОАР ТОПЛОТНЕ ПУМПЕ“** докторанда **мр РУЖИЦЕ ТОДОРОВИЋ**, дипл. маш. инж.

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, докторанду, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Ружице И. Тодоровић,
дипл.маш.инж.

Одлуком 1395/3 од 22.06.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Ружице И. Тодоровић, дипл.маш.инж. под насловом

ПОДЗЕМНИ ВОДОНОСНИ СЛОЈ КАО СЕЗОНСКИ ТЕРМИЧКИ РЕЗЕРВОАР ТОПЛОТНЕ ПУМПЕ

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат мр Ружица И. Тодоровић, дипл.инж.маш. је 06.07.2009. године на Машинском факултету Универзитета у Београду, одбранила магистарску тезу „Прилог термодинамичкој анализи рада зидних грејно-расхладних панела“ и тиме стека звање магистра техничких наука – машинство, ужа научна област термомеханика. Ментор при изради магистарске тезе био јој је др Милош Бањац, тада ванредни професор Машинског факултета Универзитета у Београду

Кандидат мр Ружица И. Тодоровић, дипл.инж.маш. је 17.09.2013. године Већу за докторске студије Машинског факултета Универзитета у Београду поднела захтев за израду докторске дисертације са предлогом теме, захтев број 1699/1. По добијању сагласности Катедре за термомеханику Машинског факултета Универзитета у Београду, број 1699/2 од 02.10.2013. године, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је Одлуку број 2498/3 од 24.12.2015. године којом именује Комисију за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

- др Милош Бањац, ван. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Мирко Коматина, ред. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Милан Гојак, доцент, Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Милан Лечић, ван. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Радивој Топић, проф. Машинског факултета у пензији.

На основу извештаја Комисије бр. 1699/4 од 25.10.2013. године и одлуке ННВ бр. 1699/5 од 31.10.2013. године, поднет је захтев Машинског факултета Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, које је на седници одржаној 18.11.2013. године донело Одлуку бр. 61206-5286/2-13, да се мр Ружица И. Тодоровић, дипл.инж.маш., даје сагласност на предлог теме докторске дисертације „Подземни водоносни слој као сезонски термички резервоар топлотне пумпе“, а под менторством др Милоша Бањца, ван. професора.

На основу обавештења проф. др Милоша Бањца, ментора, да је мр Ружица И. Тодоровић завршила докторску дисертацију, као и предлога Катедре за термомеханику, Наставно-научно веће Машинског факултета донело је Одлуку број 1395/3 од 22.06.2017. године о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Милош Бањца, ред. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Мирко Коматина, ред. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Милан Гојак, ван. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Александар Тоћић, доцент, Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Франц Коси, проф. Машинског факултета у пензији.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација мр Ружице И. Тодоровић, под насловом „Подземни водоносни слој као сезонски термички резервоар топлотне пумпе“, припада области техничких наука – машинство, ужа научна област термомеханика, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

Израдом докторске дисертације руководио је др Милош Бањца, редовни професор групе предмета везаних за термомеханику и шеф Катедре за термомеханику Машинског факултета Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Ружица И. Тодоровић, рођена Стипић, дипл. инж. маш., рођена је 05.11.1974. године у Београду, где је завршила основну школу и IX београдску гимназију. Школске 1993/94. године уписала је Машински факултет Универзитета у Београду и 29.06.2000. године дипломирала на Одсеку за термотехнику, са просечном оценом у току студија 8,53 (осам и 53/100), положивши дипломски испит из предмета Парни котлови са оценом 10 (десет). Последипломске магистарске студије уписала је школске 2000/01. године, такође на Машинском факултету у Београду, на Одсеку за термотехнику. Магистарску тезу под насловом „Прилог термодинамичкој анализи рада зидних грејно-расхладних панела“ успешно је одбранила 06.07.2009. године и стекла академски назив магистра техничких наука у области машинства.

Године 2001. примљена је као истраживач-таленат на Катедри за термомеханику Машинског факултета у Београду - као стипендиста Министарства за науку и технологију Републике Србије. Радни однос је засновала на одређено време од годину дана, и то почев од 01.02.2001. године.

Решењем Декана Машинског факултета у Београду – бр. 925/1 од 15.07.2002. године, а на основу одлуке Наставно-научног већа – Изборног већа МФ – бр. 834/1 од 25.06.2002. године, кандидаткиња је почев од 15.07.2002. године била постављена на радно место

асистента-приправника на предметима Термодинамика и Преношење топлоте и супстанције на Катедри за термомеханику Машинског факултета у Београду, док је решењем Декана Машинског факултета у Београду – бр. 529/4 од 01.09.2006. године, а на основу одлуке Изборног већа МФ од 01.09.2006. године, поново изабрана у исто звање, и то почев од 01.09.2006. године. Од 06.11.2009. године, решењем Декана Машинског факултета у Београду – бр. 842/4 од 05.11.2009. године, са продужењима изборног периода на основу решења 1559/2 од 09.09.2012. године и решења 757/2 од 10.09.2013. године, а на основу одлуке Изборног већа МФ – бр. 842/3 од 05.11.2009. године, бива изабрана у звање асистента за ужу научну област ТЕРМОМЕХАНИКА на истој Катедри. Решењем Декана Машинског факултета у Београду – бр. 253/6 од 05.06.2014. године, а на основу одлуке Изборног већа МФ – бр. 253/5 од 05.06.2014. године, кандидаткиња, почев од 26.07.2014. године, бива поново изабрана у звање асистента на Катедри за термомеханику, где ради и данас.

У току свог рада на факултету одржавала је вежбе на основним студијама из наставних предмета Термодинамика и Појаве преношења. Од увођења новог наставног плана (шк. 2007/08. год.) била је ангажована на предмету Термодинамика Б, на основним академским студијама, као и на предметима на мастер академским студијама: Термодинамика М и Основи преношења количине топлоте.

Објавила је неколико радова који су публиковани у стручним часописима или су презентовани на међународним конференцијама.

Активно се служи рачунаром и познаје све програме из пакета MS OFFICE, AutoCAD, MathCAD, док говори, чита и пише енглески језик. Удата је и има три сина.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација мр Ружице И. Тодоровић, дип.инж.маш. под насловом „**Подземни водоносни слој као сезонски термички резервоар топлотне пумпе**“, написана је на српском језику, ћириличним писмом. Докторска дисертација има 143 стране формата А4, 65 слика, 5 табела, 66 нумерисана израза и списак литературе на 8 страна.

Дисертација се састоји од следећих поглавља:

1. Увод;
2. Теоријске основе простирања топлоте у подземном водоносном слоју као засићеној порозној средини
3. Експериментално одређивање температурног поља у подземном водоносном слоју при раду отвореног система геотермалне топлотне пумпе
4. Нумеричка анализа простирања топлоте кроз слојевити подземни водоносни слој при раду отвореног система геотермалне топлотне пумпе
5. Провера тачности предвиђања нумеричког модела
6. Закључна разматра

Литература

Осим наведеног, дисертација садржи проширени резиме на српском и енглеском језику, садржај, номенклатуру, биографију аутора, као и прилоге: изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Предмет рада ове докторске дисертације јесте анализа понашања подземног водоносног слоја (аквифера) и формирање нумеричко-математичког модела за предвиђање његовог понашања, током једногодишње експлоатације системом геотермалне топлотне пумпе за случај континуалног и цикличног рада.

У складу са предметом рада, а ради стицања општег увида у ову проблематику, у **првом поглављу** дисертације дат је опис отвореног система геотермалне топлотне пумпе и принципа његовог рада. Детаљно је анализиран утицај рада отвореног система геотермалне топлотне пумпе са два спрегнута бунара на стварање температурних зона у аквиферу. На крају поглавља је дат преглед досадашњих истраживања и радова из области праћења и предвиђања понашања температурних промена у аквиферима.

С обзиром да се струјање подземне воде кроз аквифер може поистоветити са струјањем једнофазног флуида кроз засићену, порозну и непокретну средину, у **другом поглављу** су дате теоријске основе ове врсте струјања флуида. Најпре су дефинисана основна својства порозне средине, а потом је дат преглед основних законитости из области струјања флуида и преношења топлоте. На крају поглавља је приказана графоаналитичка метода за анализу струјања воде у аквиферу током рада отвореног система геотермалне топлотне пумпе, а која је заснована на примени комплексних аналитичких функција и конструисању мреже флуидних струјница.

Треће поглавље посвећено је опису експерименталног одређивања динамичког температурног поља у аквиферу током његове једногодишње експлоатације системом геотермалне топлотне пумпе. У њему је најпре дат опис лабораторијске инсталације, мерне опреме, а затим и представљен лабораторијски модел аквифера и описан поступак мерења величина стања и радних параметара.

Како би промене ових мерених величина могле да се упоређују са променама величина стања и радних параметара унутар реалног аквифера, у овом поглављу приказана је одговарајућа теорија сличности и представљене одговарајуће корелације. Затим је описано да су сама мерења изведена у три серије експеримената, за четири различита растојања између црпног и повратног бунара, при чему су бележене две врсте величина. Прва врста мерених величина обухватала је независно променљиве експерименталне радне параметре: вредности температуре и запреминског протока термички непоремећеног тока воде, температуре и запреминског протока воде која се црпи, односно воде која се убацује у водоносни слој, као и својства порозне средине: порозност и коефицијент филтрације. Друга врста мерених величина обухватала је зависно променљиве величине: температуру воде у одређеним тачкама у аквиферу током симулације његове једногодишње експлоатације. Поред описа инсталације, поступка мерења и обраде добијених података, у овом поглављу дат је приказ и неких од репрезентативних резултата мерења.

Формирање математичког модела простирања топлоте у аквиферу, током његове једногодишње експлоатације системом геотермалне топлотне пумпе, и поступак његовог нумеричког решавања, приказан је у **четвртном поглављу**. Сврха формирања овог тзв. нумеричког модела понашања водоносног слоја била је да се омогући поуздано израчунавање брзинског и температурног поља које се у њему формира при различитим условима експлоатације. У ту сврху, најпре је дат приказ модела – система моделираних једначина који дефинишу неустаљено струјање нестишљивог флуида кроз хомогену и изотропну засићену порозну средину. Затим су приказани сви неопходни просторни и

временски гранични услови, који су дефинисани тако да буду истоветни са реалном ситуацијом оствареном при извођењу експеримената. За разлику од постојећих модела, једначинама овог модела и граничним условима обухваћен је утицај и тродимензионалног развоја температурног поља, брзине струјања подземних вода, као и утицај хетерогености водоносног слоја.

На крају је описан итеративни поступак којим је решаван система једначина нумеричког модела, а који је интегрисан у код отвореног програмског пакета OpenFOAM, који је послужио за нумеричко решавање овог комплексног система једначина.

Пето поглавље посвећено је провери поузданости нумеричког модела, тј. његове способности тачног предвиђања промена брзинског и температурног поља воде у аквиферу. Провера је спроведена поређењем резултата добијених нумеричким симулацијама са сопственим експерименталним резултатима, као и са доступним експерименталним резултатима других аутора. У случају поређења са сопственим експерименталним резултатима, поређење је извршено за све три групе спроведених експеримената, тј. за случајеве сва три анализирана режима рада отвореног система геотермалне топлотне пумпе. У случају поређења са експерименталним резултатима других аутора, уз задржавање непромењеног система моделираних једначина који дефинишу неустаљено струјање нестишљивог флуида кроз хомогену и изотропну засићену порозну средину, нумерички модел је коригован у делу граничних услова, тако да буде усклађен за симулацију рада система геотермалне топлотне пумпе са 2 црпна и 3 повратна бунара, као и за случај одређивања дводимензионалног устаљеног температурног поља при принудном хоризонталном струјању воде у засићеној порозној средини са вертикалном температурском разликом. Из упоредног приказа и анализе експерименталних и резултата добијених нумеричком симулацијом, уочен је висок степен њиховог слагања, чиме је потврђена поузданост и применљивост нумеричког модела.

У **шестом поглављу** дисертације дата су закључна разматрања са критичким освртом на остварене резултате спроведених истраживања. Дате су перспективе и смернице за даља истраживања из области понашања аквифера као сезонског термички резервоара топлотне пумпе, са посебним освртом на могућности даљег побољшања нумеричког модела, узимањем у обзир додатних утицајних чиниоца. Истакнут је научни допринос дисертације и примењивост резултата истраживања у реалним условима.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација „Подземни водоносни слој као сезонски термички резервоар топлотне пумпе“, даје савремен и оригиналан приступ методологији анализе процеса преношења топлоте и супстанце, тј. струјања воде у аквиферу током његове једногодишње експлоатације системом геотермалне топлотне пумпе.

Будући да се докторска дисертација бави начинима одрживог и ефикасног коришћења геотермалне енергије, као једног од обновљивих извора енергије, као и да је и од стране Уједињених нација и од стране Европске уније један од декларисаних начина борбе против климатских промена и глобалог загревања управо повећање и рационално коришћење обновљивих извора енергије, као и да борба против климатских промена представља један од најзначајнијих проблема око чијег решавања су се удружиле готово све земље света, јасно је да се тема ове докторске дисертације налази у самом врху савремених и у свету актуелних тема.

Истовремено, у последњих 20 година у свету се инсталисана снага постојења геотермалних топлотних пумпи повећала за чак 20 пута. Овако интензивно повећање коришћења овог извора енергије, намеће додатне захтеве за убрзаним развојем нових метода које ће оптимизирати, односно омогућити да се ови системи пројектују и да раде на одржив начин, што управо и представља тему ове дисертације.

Поред ове савремености теме на глобалном нивоу, њена савременост се огледа и на националном нивоу, јер је Србија преузела обавезе према међународној заједници да повећа учешће обновљивих извора на 27% до 2020. године, и смањи емисије угљен диоксида за 8,9% до 2030. године.

Оригиналност приступа ове дисертације, огледа се не само у оригиналном предлогу унапређења математичког модела, него и формирању оригиналне лабораторијске инсталације за симулацију рада геотермалне топлотне пумпе и аквифера, као и добијеним оригиналним експерименталним резултатима, који пружају могућност наставка истраживања ових процеса и даљег унапређења рада ових система.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Списак литературе која је коришћена приликом израде дисертације дат је у посебном одељку рада. Литература обухвата укупно 83 референце, које су највећим делом научни и стручни радове објављени у водећим међународним часописима или фундаментални радови, затим следе докторске дисертације и књиге које се односе на термодинамику и феномене преношења топлоте, механике флуида, нумеричку механику флуида, својства порозних, подземних и водоносних слојева, итд. Прегледом листе коришћених радова закључује се да је кандидат имао на располагању и проучио доступну референтну литературу. Она је послужила као полазна основа за формирање прегледа досадашњих истраживања и релевантан приказ тренутног стања у области.

Кандидат је коректно проучио и цитирао наведене изворе.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

При изради дисертације примењене су научне методе неопходне при нумеричко-аналитичком моделирању и експерименталној верификацији добијених резултата, а обухватиле су следеће методе:

- Анализа резултата публикованих научних и стручних радова из области процеса преношења топлоте и супстанце, тј. струјања воде у аквиферу током његове експлоатације системом геотермалне топлотне пумпе
- Методе теорије сличности и аналогича, како би се успоставиле одговарајуће корелације и могле да се упоређују експериментално одређене величине стања и параметара на лабораторијском моделу аквифера са променама величина стања и радних параметара у реалном аквиферу,
- Експерименталне методе, које заузимају изузетно значајно место у овој дисертацији јер су оне коришћене да би се одредила:
 - својства порозне средине: порозност и коефицијент филтрације,
 - радни параметри процеса: вредности температуре и запреминског протока термички непо ремећеног тока подземне воде, као и температуре и запреминског протока воде која се црпи, односно воде која се убацује у водоносни слој,

- кинетика промене температуре воде у лабораторијском моделу аквифера: температуре воде у одређеним тачкама аквифера током симулације његове једногодишње експлоатације, а за различите радне и геометријске режиме,
- и да би била извршена провера квалитета развијеног математичко-нумеричког модела.
- Избор и унапређење математичког модела процеса простирања топлоте и супстанце у порозном слоју. При изради математичког модела усвојено је да се изједначавање температуре подземне воде и чврстих честица аквифера врши тренутно, што значи да влада локална термичка равнотежа између фаза, као и да се утицај ефеката дисперзије и утицај кондуктивних топлотних губитака кроз слојеве изнад и испод подземног водоносног слоја могу занемарити,
- Метод коначних запремина, као метода неопходна за спровођење нумеричких симулација. При томе је за повезивање и итеративно решавање поља брзине и притиска из спрегнутог система једначина коришћен ПИСО (енг. Pressure Implicit with Splitting of Operators) алгоритам.
- Методе статистичке анализе и обраде при поређењу добијених нумеричких и експерименталних података.

На основу приказаног, може се закључити да су у изради докторске дисертације коришћене адекватне аналитичке, лабораторијске и нумеричке методе за испитивање процеса преношења топлоте и супстанце, тј. струјања воде у аквиферу током његове експлоатације системом геотермалне топлотне пумпе.

3.4. Применљивост остварених резултата

Кандидат мр Ружица И. Тодоровић, дип.инж.маш. је радом на докторској дисертацији остварила значајне научно-истраживачке резултате са трајном научном вредношћу и практичном применљивошћу у области преношења топлоте и супстанце, тј. струјања воде у аквиферу и стварању могућности за предвиђање термичког понашања и одрживости коришћења аквифера као сезонског извора топлоте у грејно-расхладним системима помоћу геотермалне топлотне пумпе.

Оригинални резултати остварених лабораторијских експерименталних истраживања примењени су за развој и верификацију предложеног нумеричког модела. Велики број експериментално испитиваних случајева при различитим радним параметрима - сталном или променљивом положају црпног и повратног бунара током времена, у зависности од тога да ли је предмет анализе континуалан или цикличан радни режим, односно при различитом положају повратног бунара, узводном или низводном за случај континуалног радног режима, као и при различитим геометријским параметрима - растојањима између бунара током све три наведене серије мерења створили су услове квалитетне провере тачности предвиђања предложеног математичко-нумеричког модела.

Изменом малог броја параметара и граничних услова, развијени математичко-нумерички модел могуће је користити за прорачуне температурног поља и одрживости рада аквифера као сезонског извора топлоте у грејно-расхладним системима помоћу геотермалне топлотне пумпе при свим произвољним геометријама и процесним радним условима.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Чланови Комисије сматрају да је кандидат показао да има смисао и знање неопходно да самостално препозна и систематски решава инжењерске и научне проблеме, примењујући савремене методе теоријског, експерименталног, нумеричког и статистичког карактера, да користи расположиву литературу и да успешно влада савременим истраживачким методама.

Резултати докторске дисертације доказ су способности кандидата за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни допринос ове дисертације је остварен у:

- Изради потпуно нове лабораторијске инсталације за симулацију и праћење кинетике температурног поља у аквиферу, а отуда и одрживости рада аквифера као сезонског извора топлоте у грејно-расхладним системима помоћу геотермалне топлотне пумпе при различитим процесним условима рада.
- Унапређењу нумеричко-аналитичког модела процеса преношења топлоте и супстанце, тј. модела за прорачун температурног поља у аквиферу током његове експлоатације системом грејно-расхладног системима геотермалне топлотне пумпе. Унапређење се огледа у узимању у обзир утицаја: тродимензионалности развоја температурног поља, затим брзине струјања подземних вода, као и утицаја слојевитости, односно хетерогености подземног водоносног слоја, на развој температурног поља, а што у до сада развијеним моделима најчешће није био случај.
- Добијању репрезентативни експерименталних података кинетике промене температуре воде у лабораторијском моделу аквифера: температуре воде у одређеним тачкама аквифера током симулације његове једногодишње експлоатације при различитим радним и геометријским режимима, а који су послужили за верификацију формираног нумеричко-математичког модела.
- Стварању јединствене научне базе експерименталних података кинетике промене температуре воде у лабораторијском моделу аквифера, који се могу користити како при развијању нових математичких модела, тако и при пројектовању нових постројења.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

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

Установљене чињенице истраживања су корак напред и воде ка унапређењу постојећих података о карактеристикама процеса преношења топлоте и супстанце у аквиферу током његове експлоатације грејно-расхладним системом геотермалне топлотне пумпе, као и нумеричко-аналитичког моделирања овог процеса, а самим тим и начинима за одређивање радних параметарата који обезбеђују трајно одрживи рад ових система.

И поред тога што је нумерички модел изведен под ограничавајућим претпоставкама, међу којима се могу издвојити: ламинарност подземног тока, претпоставка хомогене, изотропне и потпуно засићене порозне средине за слојеве који чине аквифер, тренутно уједначавање температуре подземних вода и чврстих честица, занемаривање утицаја ефеката дисперзије, као и кондуктивних топлотних губитака у слојевима изнад и испод водоносног слоја, поређење између нумеричких и сопствених експерименталних резултата, за сва три анализирана режима рада отвореног система геотермалне топлотне пумпе, показало је висок

степен усаглашености. Истовремено, у случају поређења са експерименталним резултатима других аутора, уз задржавање непромењеног система моделираних једначина које дефинишу неустаљено струјање нестишљивог флуида кроз хомогену и изотропну засићену порозну средину, где је нумерички модел коригован само у делу граничних услова, он је и у том случају показао висок степен поузданости предвиђања температурног поља.

На основу тога, може се констатовати да развијени нумеричко-аналитички модел поседује велику примењивост с обзиром да уз једноставне измене граничних и почетних услова, може да послужи и да са великом поузданошћу предвиди понашања аквифера током његове експлоатације грејно-расхладним системом геотермалне топлотне пумпе за различите геометрије и различите радне и процесне параметре ових система.

4.3. Верификација научних доприноса

Категорија M21 - Врхунски међународни часопис

1. **Todorović, R.**, Banjac, M., Gojak, M.: Theoretical and experimental study of heat transfer in wall heating panels, Energy and Buildings, ISSN: 0378-7788, Elsevier, Volume 98, 1, Pages 66–73, July 2015 (IF 2014: 2.884)

Категорија M22 - Истакнути међународни часопис

2. **Todorović, R.**, Banjac, M., Vasiljević, B.: Analitical and Experimental Determination of the Temperature Field on the Surface of the Wall Heating Panels, Thermal Science, ISSN 0354-9836, Vol. 19, No. 2, pp. 497-507, 2015. (IF2014=1.222)

Категорија M52 - Истакнути национални часопис

3. **Тодоровић Р.**, Бањац М., Козић Ђ., Термодинамичка и економска анализа рада геотермалне топлотне пумпе типа вода-вода, ТЕРМОТЕХНИКА, 2014, vol. 40, бр. 1-2, стр. 35-45, doi:10.5937/termoteh1402035T.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и детаљне анализе докторске дисертације под називом „Подземни водоносни слој као сезонски термички резервоар топлотне пумпе“, кандидата мр Ружице И. Тодоровић, дипл. инж. маш., Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације 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.

На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији и чињенице да је анализирана тематика значајна и актуелна у стручној и научној јавности, констатује се да је кандидат мр Ружица И. Тодоровић, дипл. инж. маш., успешно завршила докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања. Кандидат је остварио оригиналне резултате везане за анализу и моделирање понашања подземног водоносног слоја (аквифера), користећи при том расположиву литературу и резултате експерименталних, статистичких и нумеричких истраживања. Резултати истраживања су систематично обрађени и на основу њих изведени су вредни закључци о утицајима процесних параметара на понашања и одрживост коришћења подземног водоносног слоја као топлотног извора у грејно-расхладним системима помоћу геотермалне топлотне пумпе. Изведена анализа и развијене корелације представљају користан алат за решавање конкретних инжењерских проблема. Научна и стручна јавност је упозната са

результатима истраживања публикавањем два рада у међународним часописима (1 рад категорије M21 и 1 рад категорија M22) и једног рада у истакнутом националном часопису (1 рад категорија M52).

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључила је да дисертација представља оригинални научни рад са научним доприносом у области техничких наука, ужа научна област Термомеханика, па сагласно томе предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да прихвати Реферат Комисије, да дисертацију под називом **„Подземни водоносни слој као сезонски термички резервоар топлотне пумпе“** стави на увид јавности и да Реферат упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 17.09.2017. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

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

др Милан Гојак, ванредни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет

др Александар Тоћић, доцент,
Универзитет у Београду – Машински факултет

др Франц Коси, професор у пензији.
Универзитет у Београду – Машински факултет

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1395/5
Датум: 21.09.2017. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 128. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 32. Закона о изменама и допунама Закона о високом образовању („Службени гласник РС“ број 44/2010) и члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године), Наставно-научно веће на седници одржаној 21.09.2017. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„ПОДЗЕМНИ ВОДОНОСНИ СЛОЈ КАО СЕЗОНСКИ ТЕРМИЧКИ РЕЗЕРВОАР ТОПЛОТНЕ ПУМПЕ“** докторанда мр **РУЖИЦЕ ТОДОРОВИЋ**, дипл. маш. инж.

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

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-5286/2-13, од 18.11.2013. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

Категорија M21 - Врхунски међународни часопис

1. **Todorović, R.**, Banjac, M., Gojak, M.: Theoretical and experimental study of heat transfer in wall heating panels, Energy and Buildings, ISSN: 0378-7788, Elsevier, Volume 98, 1, Pages 66–73, July 2015 (IF 2014: 2.884)

Категорија M22 - Истакнути међународни часопис

2. **Todorović, R.**, Banjac, M., Vasiljević, B.: Analytical and Experimental Determination of the Temperature Field on the Surface of the Wall Heating Panels, Thermal Science, ISSN 0354-9836, Vol. 19, No. 2, pp. 497-507, 2015. (IF2014=1.222)

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић