

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Уроша М. Милованчевића,
маст. инж. маш., студента докторских студија

Одлуком бр. 2530/2 од 10.12.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед,
оцену и одбрану докторске дисертације под насловом

**„Утицај кондензације влаге на перформансе хладњака ваздуха са оребреним цевима“
“The effect of moisture condensation on the performances of the finned tube air cooler”**

кандидата Уроша М. Милованчевића, маст. инж. маш., студента докторских студија.

Након прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, као и разговора са
кандидатом, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

На докторске студије на Машинском факултету, кандидат Урош М. Милованчевић је
уписан 2010. године, по наставном плану који је Сенат Универзитета прихватио 2007. године
на основу Закона о високом образовању из 2005. године, а по којем докторске студије не
могу да трају дуже од шест година. По овим правилима, Урош М. Милованчевић има обавезу
да дисертацију одбрани до 30. септембра 2016. године.

По захтеву кандидата Уроша М. Милованчевића број 1112/1 од 08.06. 2015. године,
предлога проф. др Србислава Генића (ментора) и сагласности Катедре за термотехнику број
1112/2 од 17.06. 2015. године, да му се одобри пријава теме докторске дисертације и именује
Комисија за подношење извештаја о прихватању теме, Наставно-научно веће Машинског
факултета у Београду донело је Одлуку број 1112/2 од 25.06.2015. године којом се прихвата
тема докторске дисертације и именује ментор проф. др Србислав Генић и Комисија за
подношење реферата о теми докторске дисертације у саставу:

- проф. др Србислав Генић, ментор,

- проф. др Бранислав Јаћимовић,
- проф. др Франц Коси,
- проф. др Драган Туцаковић и
- проф. др Дорин Лелеа, са Универзитета Политехника из Темишвара.

Комисија за писање реферата о прихватању теме и оцену научне заснованости докторске дисертације поднела је Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду реферат број 1112/3 од 02.07.2015. године.

На основу Захтева за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације, Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду, под бројем 1112/4 од 09.07.2015. године, Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, донело је Одлуку на седници одржаној 15.09.2015. године да се кандидату Урошу М. Милованчевићу даје сагласност на предлог теме докторске дисертације под називом „Утицај кондензације влаге на перформансе хладњака ваздуха са оребреним цевима“.

На основу обавештења проф. др Србислава Генића, ментора, да је докторанд Урош М. Милованчевић, маг.инж.маш. завршио докторску дисертацију под називом „**Утицај кондензације влаге на перформансе хладњака ваздуха са оребреним цевима**“, предлога Катедре за термотехнику, Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду донело је Одлуку број 2530/2 од 10.12.2015. године о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- проф. др Србислав Генић, ментор,
- проф. др Бранислав Јаћимовић,
- проф. др Франц Коси,
- проф. др Драган Туцаковић и
- проф. др Дорин Лелеа, са Универзитета Политехника из Темишвара.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Уроша М. Милованчевића, под насловом „**Утицај кондензације влаге на перформансе хладњака ваздуха са оребреним цевима**“, припада области техничких наука – машинство, ужа научна област термотехника, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

Ментор проф. др Србислав Генић је шеф Катедре за процесну технику Машинског факултета Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор, публиковао је 22F рада у часописима са SCI листе (13 у категорији M21, 3 у категорији M22 и 6 у категорији M23) из области процесне технике и термотехнике.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат Урош М. Милованчевић рођен је 07.04.1986. у Београду. Основну школу и Трећу београдску гимназију природно-математичког смера завршио је са одличним успехом. Машински факултет Универзитета у Београду уписао је 2005. године. На истом факултету дипломирао је у јулу 2010. године на смеру Термотехника. Докторске студије је уписао школске 2010/11. године, такође на Машинском факултету Универзитета у Београду.

Од марта 2011. године запослен је на Машинском факултету Универзитета у Београду као асистент на Катедри за термотехнику, где активно учествује у настави на више предмета на Основним и Мастер академским студијама. Наставни и педагошки рад кандидата високо је вреднован у анонимним анкетама спроведеним међу студентима.

Био је учесник „Training and dialogue program“ семинара у Јапану организованом од стране ЈСА у периоду од 19.09.2011. до 23.12.2011. године под називом „Energy Conservation Tehology and Machine Condition Diagnosis Techniques – for Productivity Enhancement and Cleaner Production“. Успешно је положио теоријски и практични део обуке за тренере, на тему о исправном поступању са супстанцијама које оштећују Озонски омотач, Министарства енергетике, развоја и заштите животне средине, августа 2012. године. Био је учесник „F-gas“ обуке у Лондону, у периоду од 28.10.2012. до 07.11.2012. Успешно је положио практични и теоријски испит и стекао међународни сертификат из ове области.

Урош Милованчевић се служи програмским пакетима Microsoft Office (Word, Excel, Power Point), AutoCAD, MathCAD, Catia, SolidWorks, као и Microsoft Visual Studio 2010. Завршио је са успехом лиценцирани курс „Pro/ENGINEER“.

Члан је Комитета за расхладну технику, топлотне пумпе и енергетску ефикасност, Друштва за КГХ у оквиру Савеза машинских и електро инжењера Србије. Одлично се користи енглеским језиком. Поседује и основна знања из француског језика.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Уроша М. Милованчевића, маг. инж. маш., под „Утицај кондензације влаге на перформансе хладњака ваздуха са оребреним цевима“ написана је на српском језику, садржи 178 страна формата А4, 42 слике и дијаграма, 23 табеле, као и 242 нумерисана израза.

Дисертација садржи следећа поглавља:

1. Уводна разматрања;
2. Теоријска разматрања;
3. Преглед литературе;
4. Експериментална инсталација и резултати мерења;
5. Математички модел и анализа резултата;
6. Закључна разматрања.

Осим наведеног, дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, садржај, као и биографију аутора и изјаву о ауторству, изјаву о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада, изјаву о коришћењу, као и прилог са резултатима мерења, резултатима обраде мерења, резултатима из доступне литературе и техничким карактеристикама коришћене опреме.

2.2. Кратки приказ појединих поглавља

У првом поглављу дат је критички осврт на релативно оскудну литературу из области размењивача топлоте са оребреним цевима који раде у режимима са кондензацијом влаге. Указано је на основне проблеме њиховог понашања и могућности коришћења доступних

података из литературе у пракси. Осим тога, дефинисани су предмет и циљеви истраживања и истакнута је научна оправданост докторске дисертације.

Опште геометријске, конструкционе и експлоатационе карактеристике размењивача топлоте са оребреним цевима су дате у другом поглављу. Наведене су основне намене и област примене овог типа РТ. Објашњена је теорија сличности, дефинисани критеријуми сличности и критеријумске једначине при транспорту количине кретања, размени топлоте, као и при размени супстанције. Такође су наведене и основне теореме аналогија између транспорта количине кретања и преноса топлоте и масе. У овом поглављу изведене су и објашњене билансне једначине РТ за потребе хлађења и сушења ваздуха. Приказана је теоријска основа, која је коришћена касније у наставку израде дисертације. Изведени су и дефинисани битни изрази и закључци (нпр. израз за одређивање средње температуре површине хладњака, издојена маса кондензата, привидни коефицијент прелаза топлоте, итд.), на основу којих је спроведена прорачунска процедура описана у четвртом поглављу. У трећем поглављу дат је опсежан преглед доступне литературе.

У четвртом поглављу приказан је детаљан опис експерименталне инсталације и објашњен сам приступ пројектовању и изради овог полуиндустријског постројења. Дефинисани су сви потребни параметри расхладне инсталације, као и ваздушног тунела (потребни протоци, снаге,...), као и геометријске карактеристике испитиваних размењивача топлоте. Детаљно су описани сви потребни услови за извођење експеримента. Након дефинисања свих неопходних величина, описана је процедура математичке обраде резултата експеримента, као и процена квалитета експерименталних резултата. Као поступак за апроксимацију експерименталних вредности, коришћен је статистички метод најмањих квадрата.

Математички модел и анализа свих резултата (из сопствених мерења и литературе) приказани су у поглављу пет. Дефинисане су све потребне геометријске карактеристике размењивача топлоте са ламеластим ребрима за анализу топлотних перформанси и пада притиска. Приказане су корелационе једначине за прорачун коефицијената трења и прелаза топлоте. Детаљно је објашњена прорачунска процедура за одређивање топлотних перформанси РТ при струјању ваздуха преко цевног снопа са ламеластим оребрењем уз појаву кондензације паре из ваздуха. Дијаграмски су дати резултати како прорачунских и корелираних, тако и експерименталних вредности.

У последњем, шестом поглављу дисертације изнети су детаљни закључци са критичком анализом остварених резултата истраживања. Истакнут је научни допринос дисертације као и могућност примене остварених резултата приликом решавања конкретних инжењерских проблема.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

У условима техничке примене хладњака ваздуха у расхладним и процесним технологијама, често долази до издвајања кондензата из влажног ваздуха на површини тих апарата што одлучујуће утиче на њихов рад. Појава издвајања влаге кључно мења топлотне и струјне перформансе оваквих апарата. Посебан проблем представља одређивање меродавних параметара процеса кондензације паре, имајући у виду и међусобну повезаност са феноменом преноса топлоте. Предвиђање понашања размењивача топлоте са оребреним цевима при реалним експлоатационим условима, заснива се на искуствима стеченим на

основу анализе понашања апарата геометријски сличних конструкција, као и на основу многобројних истраживања спроведених у последњих тридесетак, па и више година.

Постоји велики број радова, као и експерименталних и нумеричких података, доступних за најразличитије конструкције и услове рада размењивача топлоте са оребреним цевима којима се размењује само сензибилна (сува) топлота (размењивачи са разним типовима оребрења, различитим распоредима цеви, попречним и подужним „корацима“, бројем цевних редова,...). За хладњаке ваздуха са оребреним цевима данас се у литератури може наћи велики број корелација за израчунавање коефицијената отпора струјања ваздуха и прелаза топлоте, за дефинисане опсеге Рејнолдсових бројева у карактеристичним пресецима струјања.

Детаљнија анализа расположиве литературе показала је да радови у којима се истражује проблематика размене топлоте уз издвајање влаге на површини размењивача топлоте нису бројни, те се доводи у питање њихова могућност реалне примене. Зато су и увек актуелна питања шта се од података доступних у литератури може искористити за потребе инжењерских прорачуна размене влажне количине топлоте на површини размењивача, као и последично, коју методологију прорачуна коефицијената прелаза топлоте и влаге препоручити као релевантну у одређеним условима промене. Подстакнуто управо овим, у раду се експерименталним мерењима и теоријским анализама пажња усмерила на проблеме хлађења и сушења ваздуха, као и упоређивањима тако добијених резултата са вредностима објављеним у доступној научно-стручној литератури.

У раду на овој докторској дисертацији, испитивани су различити режими рада ваздушних хладњака са оребреним цевима (планом истраживања предвиђена су два РТ) при кондензацији паре из ваздуха. Експериментална истраживања су спроведена на самостално пројектованој инсталацији, која је направљена и монтирана у погону једног од произвођача ове опреме. Кондензација паре при хлађењу ваздуха, значајно утиче на размену топлоте код хладњака - размењивача са оребреним цевима, при чему латентна топлота може да има велики удео у укупном расхладном учинку. Обухваћени су и обрађени експериментални подаци доступни у литератури и урађен је њихов упоредни приказ са резултатима до којих је кандидат дошао сопственим мерењима. Истиче се да је основни научни метод у реализацији истраживања у оквиру ове докторске дисертације био експериментално испитивање. Развој физичког и прорачунског модела је битан за одређивање и прорачун релевантних параметара рада РТ. Применом теорије сличности, уз одговарајуће статистичке методе, одређене су меродавне критеријумске зависности пада притиска, као и коефицијената прелаза, дакле, израза погодних за инжењерску праксу.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

При изради ове дисертације, кандидат је користио доступну литературу чији је списак приложен у посебном поглављу рада. Прегледом листе коришћених радова закључује се да је кандидат имао на располагању и проучио доступну референтну литературу, које је била полазна основа за приказ постојећег стања у области истраживања. Такође, резултати експерименталних истраживања перформанси размењивача топлоте са оребреним цевима коришћени су у сврху индиректне валидације резултата добијених сопственим мерењима.

У оквиру дисертације кандидат се позива на анализе, резултате и закључке објављене у референтним докторским дисертацијама, стручним уџбеницима, радовима у међународним

часописима и релевантним стандардима из области процене рада РТ са оребреним цевима. Кандидат је коректно проучио и цитирао наведене изворе.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Током реализације циљева истраживања и провере полазних хипотеза коришћене су следеће методе и технике истраживања:

- Метода систематизације и класификације захваљујући којој су, на основу прегледа литературе и анализе у њој приказаних резултата, утврђени правци истраживања у докторској дисертацији.
- Метода развоја математичких модела за одређивање термофизичких и транспортних карактеристика бинарних смеша (некондензибилног гаса и реалне материје) и феномена преноса топлоте и супстанције у процесима охлађивања влажног ваздуха.
- Анализа термотехничких параметара размењивача топлоте са оребреним цевима, као и симулације рада РТ.
- Разрада алгоритама, као и израда математичких процедура за прорачун струјно-термичких перформанси РТ при одређеним експлоатационим условима.
- Метода прорачуна струјно-термичких перформанси и припрема техничке документације за израду физичког модела (пројектовање и израда експерименталне инсталације).
- Развој метода мерења релевантних величина.
- Метода експерименталног испитивања при мерењу и одређивању меродавних параметара рада размењивача топлоте - хладњака ваздуха, на полуиндустријској инсталацији.
- Метода анализе и статистичке обраде експерименталних резултата.
- Формирање метода за прорачун струјно - термичких перформанси апарата у реалним условима експлоатације, при кондензацији паре.

3.4. Применљивост остварених резултата

Остарени резултати у овој докторској дисертацији у најкраћем се огледају кроз направљену експерименталну инсталацију за испитивање струјно-термичких перформанси рада хладњака ваздуха - размењивача топлоте са оребреним цевима у условима издвајања влаге, као и кроз дефинисане меродавне параметре неопходне за добијање корелације пада притиска и коефицијената прелаза и одређене критеријумске зависности за израчунавање коефицијената трења и прелаза топлоте и супстанције.

Може се очекивати да резултати ових истраживања буду добра основа за унапређење тачности инжењерских прорачуна и да омогуће брзо и поуздано одређивање параметара оваквих размењивача топлоте.

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 и експерименталног 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

Ова дисертација несумњиво је проширила постојећа знања и представља научни допринос у области размењивача топлоте са оребреним цевима. Остварени научни допринос докторске дисертације под називом „Утицај кондензације влаге на перформансе хладњака ваздуха са оребреним цевима“ огледа се у следећим реализованим научно-стручним остварењима:

- експериментална инсталација за испитивање струјно-термичких перформанси рада хладњака ваздуха - размењивача топлоте са оребреним цевима у условима издвајања влаге;
- меродавни параметри неопходни за добијање корелације пада притиска и коефицијената прелаза;
- критеријумске зависности за израчунавање пада притиска и коефицијената прелаза;
- прорачунска процедура за израчунавање меродавних параметара прелаза топлоте и влаге.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Током развоја експерименталне инсталације, као и током мерења релевантних параметара рада, могуће су промене спољних утицаја који доминантно утичу на понашање система.

На основу развијеног математичког модела, израчунате су вредности пада притиска, топлотне снаге РТ са оребреним цевима, као и масеног протока кондензата, који су у јако доброј корелацији са резултатима сопствених мерења. Такође, извршена је обрада и доступних података из литературе који су показали мала одступања од експерименталних вредности. На тај начин потврђена је тачност прорачунске процедуре, као и одговарајућих корелационих једначина што представља значајан допринос када је реч о пројектовању и експлоатацији овог типа размењивача топлоте.

Резултати остварени током израде дисертације представљају драгоцену подлогу за конципирање и развој РТ са оребреним цевима, као и за реконструкцију и замену ових апарата у експлоатацији.

4.3. Верификација научних доприноса

Део доприноса докторске дисертације верификован је у радовима које је кандидат публиковао током свог научно-истраживачког рада.

Категорија М22:

1. **Milovančević U.**, Kosi F., „Performance analysis of system heat pump – heat recuperator used for air treatment in process industry”, Thermal Science, 2016., OnLine-First (00):132-132
ISSN 2334-7163 (online edition), DOI:10.2298/TSCI160225132M, IF₂₀₁₄ = 1,222

Категорија М33:

1. Стојковић М., Коси Ф., **Милованчевић У.**, Стојићевић М., „The analysis and optimization of energy flows of small Serbian vine cellars“, Електронски зборник радова, 44. међународни конгрес о грејању, хлађењу и климатизацији, Београд 2013.,
2. **Милованчевић У.**, Коси Ф., Стојковић М., Стевановић М., „Параметарска анализа рада топлотне пумпе за припрему ваздуха за проветравање складишта шећера“, Електронски зборник радова, 44. међународни конгрес о грејању, хлађењу и климатизацији, Београд 2013.,
3. **Милованчевић У.**, Коси Ф., Стојковић М., „Прелаз топлоте и влаге са смрзнуте површине – инжењерски приступ“, Електронски зборник радова, 45. међународни конгрес о грејању, хлађењу и климатизацији, Београд 2014.,
4. Стојковић М., Коси Ф., **Милованчевић У.**, Гојак М., „Анализа рада апсорпционе расхладне машине погоњене сунчевом енергијом“, Електронски зборник радова, 45. међународни конгрес о грејању, хлађењу и климатизацији, Београд 2014.,
5. Стевановић С., Коси Ф., Марковић Д., **Милованчевић У.**, Стојковић М., Симоновић В., „The effect of freezing on the quality of berry fruits“, Електронски зборник радова, 45. међународни конгрес о грејању, хлађењу и климатизацији, Београд 2014.,

Категорије М51, М53:

1. Коси Ф., Стојковић М., **Милованчевић У.**, Отовић С., „Расхладни флуид HFO-1234yf: термодинамичка анализа циклуса топлотних пумпи малих снага“, часопис КГХ 1/2011, СМЕИТС, стр. 73-76, 2011.
2. Коси Ф., Буразер Ј., **Милованчевић У.**, Стојковић М., „Шта се може очекивати од апсорпционе расхладне машине“, часопис КГХ 3/2011, СМЕИТС, стр. 47-54, 2011.
3. **Милованчевић У.**, Стојковић М., Михаиловић М., „Мерење протока помоћу мерних бленди - поређење резултата прорачуна према стандардима ISO 5167:1989 и ISO 5167:2007“, часопис Процесна техника 2/2014, ISSN 2217-2319, стр. 28-31, 2014.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и детаљне анализе докторске дисертације под називом „Утицај кондензације влаге на перформансе хладњака ваздуха са оребреним цевима“ кандидата Уроша М. Милованчевића, маг. инж. маш., студента докторских студија, Комисија за оцену и одбрану 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 проблематика значајна и актуелна у стручној и научној јавности, констатује се да је кандидат Урош М. Милованчевић, маг. инж. маш., студент докторских студија, успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним

циљевима истраживања. Кандидат је остварио оригиналне резултате из области размењивача топлоте са оребреним цевима, користећи при том расположиву литературу и резултате експерименталног истраживања. Резултати истраживања су систематично обрађени и на основу њих изведени су вредни закључци о струјно-термичким перформансама хладњака ваздуха, који су већ примењени за решавање конкретних инжењерских проблема.

Комисија констатује да су испуњени и обавезни услови: кандидат има један, а ментор 22 рада, који су објављени у међународним часописима са SCI листе.

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 Термотехника) па сагласно томе предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да прихвати Реферат Комисије и упути га Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на усвајање, а дисертацију **„Утицај кондензације влаге на перформансе хладњака ваздуха са оребреним цевима“** кандидата Уроша М. Милованчевића, маг. инж. маш., студента докторских студија, стави на увид јавности.

У Београду, 25.05. 2016. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Р. проф. др Србислав Генић
Универзитет у Београду, Машински факултет

Р. проф. др Бранислав Јаћимовић
Универзитет у Београду, Машински факултет

Р. проф. др Франц Коси
Универзитет у Београду, Машински факултет

Р. проф. др Драган Туцаковић
Универзитет у Београду, Машински факултет

Р. проф. др Дорин Лелеа,
Универзитет Политехника из Темишвара (Румунија),
Машински факултет