

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Машински факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Милоша З. Михаиловића

Одлуком 1323/3 од 11.07.2019 године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милоша З. Михаиловића под насловом

ТОПЛОТНЕ ПЕРФОРМАНСЕ И ПАД ПРИТИСКА КОД ЦЕВНОГ РАЗМЕЊИВАЧА ТОПЛОТЕ СА ЗАВОЈНИМ РЕБРИМА И ТРОУГЛАСТИМ РАСПОРЕДОМ ЦЕВИ

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Милош Михаиловић, дипл. инж. маш. уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2013/2014. године. Кандидат је поднео захтев за одобрење теме докторске дисертације број 2783/3 од 30.10.2016 године на Катедри за Процесну технику Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидат је за ментора предложио др Србислава Генића, редовног професора Машинског факултета у Београду.

Одлуком Наставно-научног већа број 2783/2 од 10.11.2016 године прихваћена је тема докторске дисертације под насловом: „**Топлотне перформансе и пад притиска код цевног размењивача топлоте са завојним ребрима и троугластим распоредом цеви**“ кандидата Милоша Михаиловића, и за ментора је именован др Србислав Генић, редовни професор Машинског факултета у Београду. На основу обавештења проф. др Србислава Генића да је кандидат Милош Михаиловић завршио докторску дисертацију под насловом: „**Топлотне перформансе и пад притиска код цевног размењивача топлоте са завојним ребрима и троугластим распоредом цеви**“, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је 11.07.2019 године Одлуку број 1323/3 о именовању Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

- др Србислав Генић, редовни професор (ментор), Машински факултет, Универзитет у Београду

- др Александар Петровић, редовни професор, Машински факултет, Универзитет у Београду
- др Мирјана Стаменић, ванредни професор, Машински факултет, Универзитет у Београду
- др Урош Милованчевић, доцент, Машински факултет, Универзитет у Београду
- др Милан Миливојевић, ванредни професор, Технолошко-металуршки факултет, Универзитет у Београду

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом „**Топлотне перформансе и пад притиска код цевног размењивача топлоте са завојним ребрима и троугластим распоредом цеви**“ припада области техничких наука – Процесна техника, ужој научној области – процесни апарати, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан. Ментор др Србислав Генић је редовни професор на Машинском факултету Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор до сада је публикувао 40 радова на SCI листи.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Милош Михаиловић је рођен 30.12.1980. у Београду где је завршио основну школу и Пету београдску гимназију на природно-математичком смеру.

Машински факултет Универзитета у Београду уписао је 1999. године. Дипломски рад са темом „Експериментално одређивање брзине гаса у тачки инверзије фаза у колони DN 300 са испуном за систем ваздух - вода“ одбранио је 2008. године на смеру Процесна техника.

Након дипломирања запошљава се у предузећу за пројектовање и извођење термотехничких система „Славија пројект“ у којем током следећих пет година, као пројектант термотехничких система, учествује у изради бројне пројектне документације. У истом периоду у Инжењерској комори Србије полаже стручни испит за машинску струку – област термотехника, термоенергетика, процесна и гасна техника, и завршава курс за хидрауличко балансирање цевовода.

На Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписује се шолске 2013/14. године након запослења на Високој инжењерској школи струковних студија „Техникум Таурунум“ у Земуну.

Као пројектант сарадник на катедри за Процесну технику учествовао је у изради пројектне документације на неколико пројеката.

До сада као аутор и коаутор има више објављених радова и техничких решења.

Милош Михаиловић се служи програмским пакетом Microsoft Office (Word, Excel, Power Point), AutoCAD, MathCAD, Microsoft Visual Studio, Carrier's Hourly Analysis Program (HAP), TRANE Duct designer.

Одлично се користи енглеским језиком.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Милоша Михаиловића, дипл. инж. маш. под насловом „**Топлотне перформансе и пад притиска код цевног размењивача топлоте са завојним ребрима и троугластим распоредом цеви**“ је документ формата А4, штампан двострано, написан на српском језику, ћириличним писмом. Илустрована је са 31 сликом, садржи 259 нумерисаних израза и 16 табела, а садржи и Литературу са 54 референце.

Докторска дисертација садржи следећа Поглавља:

1. Увод;

2. Примена и основне карактеристике размењивача топлоте са оребреним цевима;
3. Размена топлоте и пад притиска код размењивача топлоте са оребреним цевима;
4. Преглед експерименталних података из отворене литературе;
5. Опис експерименталне инсталације;
6. Математичка обрада резултата експеримената;
7. Анализа резултата;
8. Закључна разматрања;
9. Литература;
10. Прилози.

Осим наведеног, докторска дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, садржај, биографију аутора, Изјаву о ауторству, Изјаву о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У *првом* поглављу дисертације приказане су опште карактеристике размењивача топлоте као и област њихове примене у индустрији. Описани су недостаци постојећих корелација којима се одређује вредност пада притиска и/или размењене топлоте, из којих произилази циљ дисертације. На самом крају представљена је структура рада кроз коју се дефинишу методе научно-истраживачког рада и циљеви истраживања.

У *другом* поглављу дисертације детаљано је описана област примене размењивача топлоте са оребреним цевима, при чему је извршена њихова подела на две велике групе:

- размењиваче топлоте хлађене ваздухом – ваздушни хладњаци;
- размењиваче топлоте смештене у канале.

Описани су саставни делови размењивача топлоте као што су цеви и цевни сноп, ребра, коморе за увођење, одвођење и скретање процесног флуида. Поред материјала и опсега геометријских параметара цеви, цевног снопа и оребрења који се најчешће користе у индустрији, дате су и карактеристике вентилатора који обезбеђују циркулацију преко снопа оребрених цеви. Поред њихових геометријских карактеристика, дате су и препоруке везане за број вентилатора, положај њиховог постављања у односу на размењивач топлоте (усисно или потисно струјање) као и везу вентилатора и електромотора.

На крају, с обзиром да површина размењивача топлоте са ваздушним хлађењем зависи од температуре околног ваздуха, дате су и једначине које се често користе за процену прорачунске температуре околног ваздуха.

У *трећем* поглављу дисертације дата су основна теоријска разматрања везана за размену топлоте и пад притиска код размењивача топлоте са оребреним цевима. Приказан је краћи опис теорије сличности као и основни постулат аналогije транспорта количине кретања и преноса топлоте. Такође, у овом поглављу су дате и геометријске карактеристике размењивача топлоте са завојним ребрима потребне за анализу топлотних перформанси и пада притиска за потребе ове дисертације.

У *четвртном* поглављу дисертације дат је преглед експерименталних података и постојећих корелација из отворене литературе. Преглед експерименталних података је дат хронолошки и обухвата 51 радни режим за пад притиска и 62 режима за прелаз топлоте на цевним размењивачима топлоте са завојним ребрима од 5 различитих група аутора. Преглед постојећих корелација је такође дат хронолошки од 4 различите групе аутора. Аутори су испитивали утицај различитих параметара (утицај подужног корака цеви, броја редова цеви и сл. на пад притиска и на коефицијент прелаза топлоте са ваздушне стране) при чему су користили различите физичке величине као карактеристичне величине за дефинисање Рејнолдсовог и Нуселтовог броја.

У *петом* поглављу дисертације детаљно је описана експериментална инсталација са свим геометријским карактеристикама. С обзиром да је испитивање параметара размењивача топлоте подељено у два дела, посебно су описане инсталације на којима је извршено испитивање интензитета размене топлоте и испитивање пада притиска.

У *шестом* поглављу дисертације приказана је процедура математичке обраде резултата експеримената која је заснована на статистичким методама које се користе за процену квалитета резултата мерења. Наведене су величине које су мерене приликом испитивања топлотних и струјних перформанси цевних размењивача топлоте са завојно оребреним цевима. Приказан је алгоритам који је коришћен за процену квалитета резултата мерења. Описане су методе статистичког корелисања помоћу метода најмањих квадрата као и линеарна и нелинеарна регресија као поступци одређивања апроксимативне линије којом се могу описати експериментални подаци.

У *седмом* поглављу дисертације приказана је анализа података за пад притиска и интензитет размене топлоте који су добијени на основу сопственог експерименталног рада, као и доступних података из отворене литературе. Поред тога приказана је и анализа доступних корелација за пад притиска и интензитет размене топлоте које су објавили други аутори.

Дефинисане су карактеристичне величине и бездимензиони бројеви коришћени за обраду сопствених експерименталних података, а затим је, с обзиром да су различити аутори приликом дефинисања бездимензионих бројева користили различите карактеристичне величине, извршено прерачунавање њихових карактеристичних величина и бездимензионих бројева. Прерачунавање је извршено са циљем да се омогући поређење и анализа експерименталних података свих аутора. Приказана је база података са 926 радних режима за пад притиска и 972 радна режима за прелаз топлоте.

У поглављима 7.3 и 7.4 приказане су корелације за интензитет прелаза топлоте и за коефицијент отпора при струјању ваздуха преко снопа завојно оребрених цеви, са статистичким показатељима (средње квадратно одступање и корелациони однос) помоћу којих се оцењује квалитет корелација.

У поглављу 7.5 приказана је аналогија преноса количине кретања и преноса топлоте која омогућава да се запажања добијена истраживањем брзинског поља могу директно искористити за предвиђање температурског поља и обратно.

На крају поглавља 7 дата је и дискусија о резултатима.

У *осмом* поглављу дисертације су представљени закључци изведени на основу целокупног истраживања, као и њихов допринос.

У *деветом* поглављу приказана је литература која је коришћена при писању дисертације.

У *десетом* поглављу дисертације дати су прилози који обухватају табеларни приказ резултата сопствених мерења топлотних и струјних перформанси размењивача са завојно оребреним цевима, као и табеле са геометријским карактеристикама и експерименталним подацима за пад притиска и интензитет прелаза топлоте доступних у отвореној литератури.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација под насловом „**Топлотне перформансе и пад притиска код цевног размењивача топлоте са завојним ребрима и троугластим распоредом цеви**“ кандидата Милоша Михаиловића, дипл. инж. маш. представља наставак истраживања проблема проналажења поуздане прорачунске процедуре за одређивање коефицијента прелаза топлоте и коефицијента трења за широк опсег Рејнолдсових бројева и за различите геометријске карактеристике цевних размењивача топлоте са завојним оребрењем.

У дисертацији је анализирана база са 926 радних режима за пад притиска и 972 радна режима за прелаз топлоте на коју су примењена савремена нумеричка израчунавања и оптимизационе методе, чиме се постиже савременост ове дисертације. Оригиналност у приступу проналажења поуздане прорачунске процедуре за одређивање коефицијента прелаза топлоте и коефицијента трења огледа се кроз ауторске и коауторске радове публиковане у међународним научним часописима изузетних вредности. С обзиром да је кандидат Милош Михаиловић дао одговоре на питања која су од изузетног значаја за процену пада притиска и интензитета прелаза топлоте код цевних размењивача топлоте са завојним оребрењем, предложена дисертација се може оценити као изузетно успешна.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији коришћена је обимна литература из различитих области, па су због комплексног карактера теме докторске дисертације референтне области обухватале термодинамику, механику флуида, теорију вероватноће и статистику. Ова литература је кандидату послужила као полазна основа за формирање

прегледа постојећих истраживања везаних за процену пада притиска и интензитета прелаза топлоте код цевних размењивача топлоте са завојним оребрењем, као и за припрему експеримената и модела. У четвртом поглављу докторске дисертације кандидат приказује хронолошки преглед релевантне научне литературе, чиме је дао критички осврт на најважније објављене резултате релевантних аутора. Све референце коришћене у раду приказане су на крају рада, а кандидат се позива на анализе, резултате и закључке објављене у научним часописима високог ранга и на конференцијама међународног значаја. Од наведених наслова коришћене литературе доминирају они из водећих међународних часописа.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Резултати приказани у овој докторској дисертацији добијени су применом следећих научних метода (теорија) добро познатих научној и стручној јавности:

- Механике флуида;
- Термодинамике
- Статистике;
- Вероватноће;
- Нумеричких метода;
- Математичког програмирања;
- Парцијалних диференцијалних једначина.

3.4. Применљивост остварених резултата

Добијени резултати у оквиру докторске дисертације поред научне вредности имају и широку инжењерску примену. Добијене су оригиналне једначине за израчунавање отпора струјању и коефицијента прелаза топлоте при попречном струјању ваздуха и других гасова преко снопа оребрених цеви, које се могу са сигурношћу користити у инжењерској пракси.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације кандидат је показао способност за самостални научни рад, као и да решава научне проблеме, односно, да има изузетно знање у оквиру области процесне технике, термодинамике, механике флуида, математичког програмирања, вероватноће и статистике као и савремених метода коришћених у примењеној и нумеричкој математици потребних за даљи научно-истраживачки рад. То је потврђено како бројним испитима које је кандидат положио на докторским студијама, тако и бројним коауторским радовима.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

Научни допринос докторске дисертације кандидата Милоша Михаиловића под називом „**Топлотне перформансе и пад притиска код цевног размењивача топлоте са завојним ребрима и троугластим распоредом цеви**“ се огледа у следећем:

1. Представљен је преглед литературних податак који се односи на постојеће корелације за израчунавање отпора струјању и коефицијента прелаза топлоте

при попречном струјању ваздуха преко снопа оребрених цеви и, уз критички осврт на исте, уведени су нови технолошко-конструкциони параметри који описују дате појаве – допринос је представљен у радовима [1], [2] и [3];

2. Извршено је експериментално истраживање које је проширило и допунило постојеће податке о понашању предметних размењивача топлоте. На основу анализе сопствених експерименталних резултата и експерименталних резултата других аутора из различитих литературних извора потврђено је да постоји могућност коришћења општијих бездимензионих параметара у критеријалним једначинама, што је доказано статистичком анализом – допринос је представљен у радовима [2] и [3].

Поред тога, у дисертацији је остварен и инжењерски допринос – добијене су оригиналне једначине за израчунавање отпора струјању и коефицијента прелаза топлоте при попречном струјању ваздуха и других гасова преко снопа оребрених цеви, које се могу са сигурношћу користити у инжењерској пракси – допринос је представљен у радовима [1], [2] и [3].

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне научне литературе и сагледавања постојећих решења из области ове докторске дисертације, комисија констатује да су приказани резултати истраживања изузетно значајни и научно утемељени. Истовремено, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, констатујемо да су пружени одговори на сва релевантна питања и да су решени сви проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси кандидата Милоша Михаиловића, наведени у тачки 4.1 овог Реферата, верификовани су следећим чланцима:

- [1] M. Otović, **M. Mihailović**, S. Genić, B. Jaćimović, U. Milovančević and S. Marković, "Reconsideration of data and correlations for plate finned-tube", *Heat and Mass Transfer*, vol. 54, no. 10, pp. 2988-2994, 2018. (M22) [DOI 10.1007/s00231-018-2328-0](https://doi.org/10.1007/s00231-018-2328-0)
- [2] S. Marković, B. Jaćimović, S. Genić, **M. Mihailović**, U. Milovančević and M. Otović, "Air side pressure drop in plate finned tube heat exchangers", *International Journal of Refrigeration*, vol. 99, pp. 24-29, 2019. (M21) [DOI 10.1016/j.ijrefrig.2018.11.038](https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.11.038)
- [3] **M. Mihailović**, U. Milovančević, S. Genić, B. Jaćimović, M. Otović and P. Kolendić, "Air side heat transfer coefficient in plate finned tube heat exchangers", *Experimental Heat Transfer*, 2019. (M22) [DOI 10.1080/08916152.2019.1656298](https://doi.org/10.1080/08916152.2019.1656298)

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа докторске дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да докторска дисертација под називом „Топлотне перформансе и пад притиска код цевног размењивача топлоте са

завојним ребрима и троугластим распоредом цеви“ кандидата Милоша Михаиловића, дипл. инж. маш. треба да се прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду. На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, Комисија констатује да је кандидат Милош Михаиловић, дипл. инж. маш., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања, а да је докторска дисертација под називом **„Топлотне перформансе и пад притиска код цевног размењивача топлоте са завојним ребрима и троугластим распоредом цеви**“ представља оригиналан научни рад са научним доприносима у области процесне технике, ужа научна област процесни апарати.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Србислав Генић, редовни професор
Универзитет у Београду
Машински факултет

др Александар Петровић, редовни професор
Универзитет у Београду
Машински факултет

др Мирјана Стаменић, ванредни професор
Универзитет у Београду
Машински факултет

др Урош Милованчевић, доцент
Универзитет у Београду
Машински факултет

др Милан Миливојевић, ванредни професор
Универзитет у Београду
Технолошко-металуршки факултет