

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Презиме, име једног родитеља и име	Рајић (Небојша) Милена
Датум и место рођења	22.01.1987. године, Ниш, Србија

Основне студије

Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Машински факултет
Студијски програм	Машинско инжењерство
Звање	Мастер инжењер машинства
Година уписа	2006. године
Година завршетка	2011. године
Просечна оцена	9,86

Мастер студије, магистарске студије

Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Машински факултет
Студијски програм	Машинско инжењерство
Звање	Мастер инжењер машинства
Година уписа	2006. године
Година завршетка	2011. године
Просечна оцена	9,86
Научна област	Машинско инжењерство, Ужа научна област - Термотехника, термоенергетика и процесна техника
Наслов завршног рада	"Модернизација система аутоматског управљања парног блока применом PLC контролера и система SKADA "

Докторске студије

Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Машински факултет
Студијски програм	Машинско инжењерство
Година уписа	2011. године
Остварен број ЕСПБ бодова	150
Просечна оцена	10,00

НАСЛОВ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Наслов теме докторске дисертације	"Нумеричко-експериментална анализа термомеханичког стања структуре пламено-димноцевних котлова при променљивим режимима рада"
Име и презиме ментора, звање	Др Драгољуб Живковић, редовни професор Машинског факултета у Нишу
Број и датум добијања сагласности за тему докторске дисертације	НСВ број 8/20-01-004/19-028 у Нишу, 20.05.2019. године

ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Број страна	238
Број поглавља	10
Број слика (шема, графикана)	146

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ			
Примљено: 19.5.2021.			
Орг јед.	Број	Принт	Идентификација
	612-80	51	12021

**ПРИКАЗ НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КАНДИДАТА
који садрже резултате истраживања у оквиру докторске дисертације**

Р. бр.	Аутор-и, наслов, часопис, година, број волумена, странице	Категорија
1	<p>Milena Rajić, Dragoljub Živković, Milan Banić, Marko Mančić, Miloš Milošević, Taško Maneski, Nenad Mitrović, Experimental and Numerical Analysis of Stress-Strain Field of the Modelled Boiler Element, Experimental and Computational Investigations in Engineering, Proceedings of the International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, CNNTech 2020, Part of the Lecture Notes in Networks and Systems book series, Experimental and Computational Investigations in Engineering, Vol. 153: 257 – 273, Springer, ISSN: 2367-3370, 2367-3389 (electronic), ISBN: 978-3-030-58361-3, 978-3-030-58362-0 (eBook) (https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-58362-0_15)</p> <p><i>У овом раду су представљени резултати експериментално-нумеричке анализе изведене на моделу вреловодног пламено-димноцевног котла. Валидација нумеричког модела извршена је на основу експерименталних резултата добијених методом DIC (Digital Image correlation), применом оптичких система "ARAMIS". Карактер промене параметара, као што су деформације и напони, који се јављају у критичним зонама елемената вреловодног котла, потврђени су експерименталним и нумеричким резултатима. У овом раду представљене су напредне методе експерименталне и нумеричке анализе. Примењене методе се могу користити за испитивање и других сложених конструкција и анализу различитих режима рада, у циљу побољшања сигурности и поузданости рада постројења.</i></p>	M14
2	<p>Milena Rajić, Milan Banić, Dragoljub Živković, Miša Tomić, Marko Mančić, Construction Optimization of Hot Water Fire-Tube Boiler Using Thermomechanical Finite Element Analysis, Thermal Science, Vol. 22, Suppl. 5, 2018, Society of Thermal Engineers of Serbia, ISSN: 2334-7163 (online edition), ISSN: 0354-9836 (printed edition), pp. S1511-S1523.</p> <p><i>У раду су приказане могућности модификације конструкције вреловодног котла са пламеном цеви у циљу постизања поузданог и сигурног рада котла. Применом софтверског пакета Ansys, идентификовани су критични елементи вреловодног котла у току експлоатације. Нумеричким експериментом испитан је утицај дебљине цевне плоче, као једног од најкритичнијих елемената котла, на промену напонско-деформационог стања котла. Утврђена је оптимална дебљина цевне плоче са најмањим утицајем на напонско стање конструкције.</i></p>	M22
3	<p>Milena Todorović, Dragoljub Živković, Marko Mančić, Gradimir Ilić, Application of energy and exergy analysis to increase efficiency of a hot water gas fired boiler, Chem. Ind. Chem. Eng. Q. CICEQ, Vol. 20 (4), 2014, ISSN: 1451-9372, pp. 511-521.</p> <p><i>У овом раду извршена је енергетска и ексергетска анализа вреловодног котла на природни гас. Извршена је декомпозиција вреловодног котла на контролне запремине, поштујући функционалност сваке од компонента понаособ. Изведена је енергетска и ексергетска анализа формираног физичког модела вреловодног котла са прорачуном деструкције ексергије и енергетских губитака у свакој од компонента. У овом раду описано је тренутно стање енергетског и ексергетског степена корисности вреловодног котла. Добијени резултати су анализирани и коришћени за испитивање могућности побољшања расположивости и поузданости котла. Представљено је поређење резултата између садашњег и предложеног поузданијег решења.</i></p>	M23
4	<p>Milena Todorović, Dragoljub Živković, Marko Mančić, Dragan Milčić, Dynamic behavior of hot water boilers during start up, FACTA UNIVERSITATIS, Series: Mechanical Engineering Vol. 12, No 1, 2014, pp. 85-94, UDC 621.181.1.</p> <p><i>У раду је приказан математичко-емпиријски модел вреловодног котла при пуштању котла у рад. Динамичко понашање објекта је разматрано у режиму пуштања у рад, зато што претставља један од најкритичнијих прелазних режима рада. У раду су презентовани резултати анализе и могућности за побољшање експлоатације вреловодног котла «Минел котлоградња», који је инсталиран у оквиру топлане „Технички факултет“ Машинског факултета у Нишу.</i></p>	M24
5.	<p>Milena Todorović, Dragoljub Živković, Gradimir Ilić, Marko Mančić, Energy and Exergy Analysis of a hot water gas fired boiler, Proceedings of the 2nd International Conference Mechanical Engineering in XXI Century, MASING 2013, Niš, Srbija, ISBN: 978-86-6065-039-4, pp. 193-198.</p> <p><i>Рад приказује енергетску и ексергетску анализу вреловодних котлова на мазут и природни гас, који су инсталирани у оквиру Градске топлане Ниш. Извршена је енергетска и ексергетска анализа формираног физичког модела вреловодног котла са прорачуном деструкције ексергије и</i></p>	M33

	<i>котлова.</i>	
	Milena Todorović , Dragoljub Živković, Marko Mančić, Dragan Milčić, <i>Analysis of Dynamic Behaviour of Hot Water Boilers During Start Up</i> , Proceedings of the 16th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, SIMTERM2013, Sokobanja, Srbija, ISBN: 978-86-6055-043-1, pp. 86-94.	
6.	<i>У раду је представљен математичко-емпиријски модел пуштања у рад вреловодног котла. Како би се на најбољи могући начин сагледао целокупан процес који се одвија у вреловодном котлу, неопходно је спровести математичко моделирање парцијално, да би се на бази тих резултата, касније динамичка анализа спровела на цео котлао. У раду је приказан математички модел вреловодног котла произвођача "Минел - Котлоградња".</i>	M33
	Milena Todorović , Dragoljub Živković, Marko Mančić, Peda Milosavljević, Dragan Pavlović, <i>Energy and exergy method applied on system of hot water boiler</i> , The Proceedings of the III Industrial Engineering and Environmental Protection (IIZS 2013), ISBN 978-86-7672-208-2, pp. 58-63.	
7.	<i>Рад представља примену ексергетске и енергетске анализе вреловодног котла у циљу повећања степена поузданости, сигурности и расположивости котловског постројења. Као пример узет је вреловодни котлао са пламеном цеви произвођача „Минел - котлоградња“ који је инсталиран у оквиру топлане „Технички факултети“ на Машинском факултету у Нишу. Добијени резултати су анализирани и коришћени за испитивање могућности побољшања расположивости и поузданости котла.</i>	M33
	Milena Todorović , Dragoljub Živković, Marko Mančić, <i>Starting up hot water fire-tubes boilers</i> , International Scientific Conference UNITECH, 21-22 November 2014, Gabrovo, Bulgaria, pp. 192-197.	
8.	<i>У раду су анализирани вреловодни котлови са пламеном цеви, као најзаступљенији и централни уређаји у системима даљинског грејања. У последњих неколико година представљају системе на којима треба фокусирати даља испитивања поузданости, сигурности и ефикасности. Велико експлоатационо искуство и досадашњи развој указали су на нове захтеве и могућности коришћења вреловодних котлова, како у градским топланам, тако и у процесној индустрији.</i>	M33
	Milena Todorović , Dragoljub Živković, Marko Mančić, <i>Measurement Analysis that Defines the Hot-Water Boiler Burner Operation</i> , XII International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements Niš, Serbia, November 12th-14th, 2014, pp. 73-76.	
9.	<i>У раду је извршена анализа резултата мерења основних параметара сагоревања вреловодних котлова. Поступак мерења је обухватао вреловодне котлове произвођача „Ђуро Ђаковић-Славонски Брод“ који су инсталирани у оквиру Градске топлане Ниш. Резултати анализе измерених концентрација продуката сагоревања CO₂, CO, O₂, NO_x су коришћени у смислу ефикасности искоришћења примарног горива, као и поузданог рада котлова.</i>	M33
	Milena Todorović , Dragoljub Živković, Marko Mančić, Gradimir Ilić, <i>Measurement Of Parameters That Defines Burners Operation Of Hot Water Boilers</i> , 46. Conference KGH, 2.12-04.12.2014, Beograd, ISBN: 978-86-81505-75-5, pp. 125-130.	
10.	<i>Рад анализира могућности оптимизације процеса сагоревања. Рад представља анализу измерених вредности продуката сагоревања вреловодних котлова, који користе мазут и природни гас, у зависности од оптерећења котла, односно ложичног простора. Мерења су вршена на вреловодним котловима инсталираних у Градској топлани у Нишу произвођача "Ђуро Ђаковић" типа Optimal 800 и Optimal 2500.</i>	M33

ИСПУЊЕНОСТ УСЛОВА ЗА ОДБРАНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат испуњава услове за оцену и одбрану докторске дисертације који су предвиђени Законом о високом образовању, Статутом Универзитета и Статутом Факултета.

ДА

Кандидат Милена Рајић је положила све испите предвиђене наставним планом и програмом докторских студија на студијском програму Машинско инжењерство, објавила већи број научних радова и поднела радну верзију докторске дисертације одговарајуће садржине, обима и квалитета, у складу са одобреном темом докторске дисертације.

експериментална анализа термомеханичког стања структуре пламено-димноцевних котлова при променљивим режимима рада".

Наставно-научно веће Машинског факултета у Нишу је на седници одржаној 08.02.2019. године, одлуком број 612-125-8/2019, именовало Комисију за оцену научне заснованости наведене теме у саставу: др Драгољуб Живковић, редовни професор Машинског факултета у Нишу, др Ташко Манески, редовни професор Машинског факултета у Београду, др Мића Вукић, редовни професор Машинског факултета у Нишу, др Милан Банић, доцент Машинског факултета у Нишу и др Бранислав Стојановић, редовни професор Машинског факултета у Нишу. Научно-стручно веће за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу је на седници одржаној 25.02.2019. године, Одлуком број 8/20-01-002/19-028, дало сагласност на Одлуку Наставно-научног већа Машинског факултета у Нишу о именовању наведене комисије.

Наставно-научно веће Машинског факултета у Нишу је на седници одржаној 23.04.2019. године на основу Извештаја Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације Одлуком број 612-241-3/2019 усвојило наведену тему докторске дисертације и предложило др Драгољуба Живковића, редовног професора Машинског факултета у Нишу, за ментора.

Научно-стручно веће за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу је на седници одржаној 20.05.2019. године Одлуком број 8/20-01-004/19-028 дало сагласност на Одлуку о усвајању теме докторске дисертације и одлуком број 8/20-01-004/19-029 године именовало др Драгољуба Живковића, редовног професора Машинског факултета у Нишу, за ментора за израду докторске дисертације.

Кандидат Милена Рајић је 19.02.2021. године поднела захтев (број 612-80-21/2021) Одсеку за наставна и студентска питања Машинског факултета у Нишу за одређивање Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације.

Наставно-научно веће Машинског факултета у Нишу је на седници одржаној 12.03.2021. године, одлуком број 612-167-3/2021, именовало Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милене Рајић под називом "Нумеричко-експериментална анализа термомеханичког стања структуре пламено-димноцевних котлова при променљивим режимима рада", у саставу: др Драгољуб Живковић, редовни професор Машинског факултета у Нишу, др Мића Вукић, редовни професор Машинског факултета у Нишу, др Ненад Митровић, ванредни професор Машинског факултета у Београду, др Милан Банић, ванредни професор Машинског факултета у Нишу и др Дејан Митровић редовни професор Машинског факултета у Нишу.

Научно-стручно веће за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу је на седници одржаној 02.04.2021. године Одлуком број 8/20-01-002/21-028 дало сагласност на именовану Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације на Машинском факултету у Нишу кандидата Милене Рајић, под називом "Нумеричко-експериментална анализа термомеханичког стања структуре пламено-димноцевних котлова при променљивим режимима рада".

Кандидат Милена Рајић је првопотписани аутор више од једног рада објављеног у часопису са SCI листе из теме докторске дисертације, као и првопотписани аутор једног рада објављеног у часопису који издаје Универзитет у Нишу из уже научне области којој припада тема докторске дисертације.

На основу претходно наведеног, кандидат Милена Рајић испуњава све услове за оцену и одбрану докторске дисертације предвиђене Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Нишу и Статутом Машинског факултета у Нишу.

ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кратак опис појединих делова дисертације (до 500 речи)

Докторска дисертација се састоји из 10 поглавља, списка ознака и одговарајућих прилога. По форми и садржају рад у потпуности испуњава постојеће стандарде за докторску дисертацију. Наслови поглавља у докторској дисертацији су следећи:

- Ознаке
1. Увод
 2. Преглед досадашњих истраживања
 3. Променљиви режими рада вреловодних котлова
 4. Нумеричке методе анализе
 5. Експериментална испитивања модела вреловодног котла
 6. Експериментална испитивања реалног објекта
 7. Нумеричко-експериментална анализа напонског стања конструкције вреловодног котла при променљивим режимима рада
 8. Закључак
 9. Литература

результата при испитивању променљивих режима рада котлова. На самом почетку, дефинисан је предмет истраживања са циљевима докторске дисертације и примењеним методама.

У другом поглављу извршена је анализа резултата досадашњих истраживања променљивих режима рада котлова. На почетку је приказана анализа актуелних стандарда и норми из области посуда под притиском, нарочито оних који се односе на пламено-димноцевне котлове. На овај начин дефинисани су гранични параметри притиска и температуре који би требало да буду достигнути у свим анализираним стањима. Посебно су анализирани радови пољског истраживача L.Свупага, који је дао основе за анализу прелазних режима рада парних котлова, нарочито процеса пуштања у рад, као једног од најкритичнијих режима рада. Анализирани су и доступни публиковани радови из ове области, нарочито они који се односе на нумеричко-експерименталне студије променљивих режима рада вреловодних и парних котлова. Анализа је обухватала и методе утврђивања оптималних вредности параметара радног медијума, како би се смањио њихов негативан утицај на структуру котла а тиме и на дужину његовог радног века.

Анализирани су радови у којима су коришћене методе нумеричких симулација за потребе анализе у овој области. Како је већина аутора користила методу коначних елемената (МКЕ), извршен је детаљан преглед до сада публикованих радова у којима је ова метода коришћена за анализу рада пламено-димноцевних котлова. Ови радови су управо пружили основна сазнања о радним и граничним параметрима, утицају одређених елемената конструкције котла, као и сазнања о експлоатационим искуствима. Анализирани су класичне експерименталне методе, које су до сада коришћене за потребе верификације одговарајућих нумеричких модела, као и напредне експерименталне оптоелектронске методе у циљу развоја нове методологије експерименталног одређивања температурског поља конструкције вреловодног котла. Један од приступа експерименталног одређивања напонско-деформационог стања структуре јесте и бесконтактна оптичка метода мерења померања, односно деформација системом "ARAMIS". Како је методологија релативно нова, а применљива за испитивања различитих машинских конструкција, извршена је анализа радова који су укључили управо ову методологију за одређивање напона и деформација судова под притиском и осталих комплексних структура.

У трећем поглављу су дефинисане основе за анализу променљивих режима рада. Дефинисане су опште карактеристике процеса пуштања у рад котла, као једног од најкритичнијих режима рада. Представљени су критеријуми поузданости рада котла при променљивим режимима рада, одређени су делови конструкције који ограничавају брзину пуштања у рад. У овим процесима од посебне важности је било дефинисање поља температуре и термичких напрезања, што је представљено у овом поглављу. Експериментална искуства су указала на могућност да се, под одређеним условима, који зависе од успостављених градијената температуре, прелазни режими рада могу третирати као квазистатичка промена стања. У овом поглављу су дате и опште једначине термичких напрезања на унутрашњој и спољашњој површини зидова котловских елемената. Представљени су и специјални случајеви термичких напрезања, као што су термичка напрезања на ивицама отвора и претходна напрезања у елементима који раде у условима пузања. Дат је преглед допуштених напрезања дебелозидних елемената у зависности од типа материјала, као и утицај броја циклусних оптерећења на допуштено напрезање.

У четвртном поглављу приказане су основе нумеричке анализе и детаљно објашњена једна од најзаступљенијих метода - Метода коначних елемената. На самом почетку, неопходно је било дефинисати геометријски модел са материјалима који су коришћени за израду елемената конструкције котла. Модел вреловодног котла је израђен помоћу софтверског пакета "Solidworks", у складу са техничком документацијом произвођача котла. Приступило се избору адекватне анализе која је омогућила унос свих потребних оптерећења којима је у реалности изложен анализирани објекат - вреловодни пламено-димноцевни котло. Дефинисани су материјали котловских челика од којих су поједини елементи израђени, формирана је мрежа коначних елемената и дефинисана су структурална и термичка оптерећења. Резултати нумеричке анализе су презентовани у оквиру поглавља, при чему се може стећи комплетан увид у напонско-деформационо стање структуре котла при номиналном радном режиму. Нумерички модел је потом коришћен за оптимизацију дебљине цевне плоче у зависности од вредности напона. Анализа је урађена за номинални радни режим, као устаљени радни режим који је дефинисан радним параметрима и у складу са актуелним стандардима. Котао који је узет у разматрање има дебљину цевне плоче од 20 mm. Нумеричка анализа је показала да је оптимална дебљина цевне плоче у опсегу од 22,5 mm до 30 mm и да у том интервалу дебљина цевне плоче, еквивалентни напони имају мање вредности него при дебљини од 20 mm. Наиме, при дебљини цевне плоче од 22,5 mm

метода за прорачун напонског стања структуре, како би се избегли критични параметри који би могли да је угрозе.

У **петом поглављу** представљени су резултати експерименталних испитивања умањеног физичког модела вреловодног котла, применом система за оптичко мерење напона и деформација "ARAMIS". У овом поглављу детаљно је описан систем рада коришћеног система, приказане су процедуре мерења и поступци које је неопходно реализовати пре самог експеримента. За потребе овог испитивања израђен је умањени физички модел вреловодног котла, скалиран 10 пута, са упрошћеном геометријом. Упрошћени физички модел вреловодног котла није садржао скретне коморе, пошто је испитивање имало за циљ анализу стања напрезања у цевној плочи прве скретне коморе. Ради остварења овог циља било је неопходно да се омогући несметано снимање цевних плоча камером система "ARAMIS". Умањени модел котла је конструисан тако да има исту крутост као и реални објекат, при истим оптерећењима применом оптимizacionог алгоритма. Нумеричка анализа физичког модела вреловодног котла је урађена коришћењем софтверског пакета "ANSYS".

Експериментална испитивања на физичком моделу котла, применом мерног система "ARAMIS" вршена су најпре у хладном стању. Повећање притиска на страни воде вршено је применом ручне пумпе у интервалу 1-5 бара. Резултати које је дао систем "ARAMIS" упоређени су са резултатима постављених мерних трака и са резултатима нумеричке анализе. Извршена је верификација нумеричког модела у хладном стању. Након испитивања у хладном стању вршена су испитивања у топлом/загрејаном стању конструкције модела. Загревање пламене цеви физичког модела котла вршено је посебним грејачем, који је пројектован и израђен за потребе овог експеримента. Грејач је имао и потенциометар који је регулисао снагу грејача у току времена, како би се симулирало загревање котла при пуштању у рад. Резултати нумеричке анализе су потврђени експерименталним резултатима које је дао систем за бесконтактно мерење напона и деформација.

У **шестом поглављу** су приказани резултати експерименталних испитивања реалног објекта, вреловодног пламено-димноцевног котла "Минел-Котлоградња", инсталираног у топлани Машинског факултета. Коришћена је метода термовизије за снимање температурског поља на омотачу котла. Како је утврђено да не постоје поуздана сазнања о температурама конструкције вреловодних котлова, а нарочито познавање температурског поља при променљивим режимима рада, дат је предлог методологије за експериментално одређивање ових параметара. На основу сазнања о распореду и могућности инсталације потребне опреме, дефинисана су мерна места, као и потребни уређаји који су се користили у овој процедури. Потребно је било предвидети максималне параметре притиска и температуре, како би се усвојила адекватна опрема која се не би угрозила у току испитивања, а која би при том дала тачне резултате. Такође, потребно је било осмислити и начин да се температурске сонде изведу из котла, а да се не угрози њихова структура и да се обезбеди херметичко затварање котла, како не би дошло до промене радних карактеристика и радних параметара котла. Мерења су спроведена континуално у току рада постројења, али су посебно праћена стања пуштања котла у рад. У поглављу су приказани и резултати измерених температура у току пуштања у рад котла и дата је њихова промена не само у току времена, већ и у зависности од оптерећења котла.

У **седмом поглављу** приказани су резултати нумеричко-експерименталне анализе напонског стања конструкције вреловодног котла при променљивим режимима рада. Као један од променљивих режима рада, испитан је рад котла под утицајем наслага каменца, када долази до одступања режима рада у односу на пројектовани номинални режим. Резултати су показали да присуство каменца повећава напонско стање критичних елемената котла, што може изазвати пластичне деформације елемената конструкције и појаву акцидентних стања. У другом делу овог поглавља анализиран је режим рада котла означен као пуштање у рад. Експериментална испитивања су вршена у реалном времену и измерене су температуре структуре котла у току времена. На основу услова и претпоставки изнетих у трећем поглављу, пуштање у рад котла је третирано као низ променљивих режима рада у току којих долази до квазистатичке промене стања. Резултати експерименталног испитивања су показали да је у временском тренутку 100 секунди након пуштања котла у рад, деловао систем аутоматског управљања који је смањио снагу котла са 75% на 58% оптерећења. То је учињено из разлога безбедности котла, како би се променио карактер криве раста температуре структуре котла, односно његових критичних елемената. Резултати анализе су показали појаву високих напона али и даље у зони допуштених вредности, и то управо на цевној плочи прве скретне коморе, у зони првог реда димних цеви друге промаје. То је управо и локација где су се на више вреловодних котлова јављале хаварије као последица оштећења заварених спојева димних цеви и цевне плоче. Нумеричка симулација пуштања у рад котла је омогућила испитивање потенцијално могућег акцидента који би настао уколико се снага котла у 100.

критичних термичких напрезања, нарочито на цевним плочама прве и друге скретне коморе. Резултати нумеричког модела су верификовани са експерименталним вредностима у временском интервалу од старта котла до 100. секунде.

У осмом поглављу (Закључак) дати су закључци по појединим поглављима, набројани елементи научног доприноса и наведени могући правци даљих истраживања.

У деветом поглављу (Литература) наведено је 176 литературних референци.

У десетом поглављу су приказани:

Прилог 1 - Дијаграми (8) и табеле (1) у којима су приказане вредности физичких карактеристика котловских челика;

Прилог 2 - Технички цртежи елемената конструкције физичког модела вреловодног котла (16);

Прилог 3 - Сlike експерименталних резултата мерења, извршених применом оптоелектронског система "ARAMIS" (20).

ВРЕДНОВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ниво остваривања постављених циљева из пријаве докторске дисертације (до 200 речи)

Истраживањем у оквиру израде докторске дисертације, кандидат Милена Рајић, остварила је све циљеве постављене у пријави теме докторске дисертације. Остварени су следећи циљеви истраживања:

- На основу литературних података и података из досадашње експлоатације пламено-димноцевних котлова у топланама Србије, формирана је база података која садржи критична места, односно критичне елементе унутар структуре вреловодних котлова, код којих су хаваријска стања учестала.
- Дефинисана је методологија и алгоритам за прикупљање података за дијагностику чврстоће конструкције пламено-димноцевних котлова.
- Разрађена је методологија математичко-нумеричке анализе термомеханичког стања структуре пламено-димноцевних котлова.
- Разрађена је методологија експерименталне анализе пламено-димноцевних котлова на бази мерења на реалном објекту.
- Разрађена је методологија експерименталне анализе на моделу котла која је спроведена у лабораторијским условима.
- Разрађена је методологија за предикцију услова при којима могу настати акциденти.
- Препоручене су мере заштите од могућих акцидената: вредности пројектних параметара и утицај на нормативе, начин експлоатације, критичне тачке, итд.
- Дефинисани су погонски услови експлоатације ради избегавања акцидентних стања.
- Побољшана је методологија одржавања пламено-димноцевних котлова на основу утврђеног термомеханичког стања структуре котла. При одржавању котлова могућа су два приступа. Први приступ заснован је на емпирији која је преточена у унапред прописане процедуре које можемо сматрати нормама. Други приступ је одржавање засновано на анализи стања конструкције.
- Побољшана је методологија конструисања која узима у обзир термичка напрезања. При конструисању котлова, за димензионисање котловских конструкција постоје два приступа: конструисање засновано на нормама и конструисање засновано на анализи стања конструкције. Норме дају дозвољени напон на датој температури и експлицитне формуле за прорачун чврстоће кроз одређивање дебљине делова под притиском. Конструисање засновано на анализи стања конструкције омогућава модеран приступ заснован на примени савремених информационих технологија.
- Предложен је начин праћења и меморисања термомеханичког стања најоптерећенијих делова и елемената котла. Циљ праћења стања котла је чување и процесирање података добијених мерењем и нумеричком анализом, као што су градијенти температура и средње температуре зидова, напрезања структуре и ниво замора.
- Анализирани су кључни параметри који изазивају старење котла и његових елемената. Анализа старења је укључила два главна механизма оштећења: пузање и замор. Пузање је деградација материјала компоненте настала услед деловања дуготрајног константног оптерећења при повишеној температури, док је замор индукован цикличним или променљивим оптерећењем. Улазни подаци су унутрашњи притисак компоненте, температуре метала и геометријски подаци за компоненту. Анализа пузања и замора се спроводи за дебелозидне компоненте. Укупни напон, који је променљив у времену, састоји се од два дела: механичког напона, узрокованог унутрашњим притиском, и термичког напона, индукованог градијентом температуре. Непрекидно праћење градијента температуре и напона омогућава краће време стартовања и брже промене оптерећења, што заузврат доприноси повећању продукције топлоте. Праћење стања котла може упозорити оператере да спрече прекорачење дозвољене границе, што би могло да доведе до скраћења животног века котла. Процена преосталог животног века различитих компоненти може омогућити оптимално планирање одржавања. Пројектовање и израда котлова могу бити побољшани

Вредновање значаја и научног доприноса резултата дисертације (до 200 речи)

Научни допринос докторске дисертације се огледа у следећим елементима:

- Разрађена је методологија нумеричко-експерименталне анализе вреловодних котлова при променљивим режимима рада насталих као последица насталих депозита на пламеној и димним цевима и при пуштању котла у рад;
- На основу резултата теоријско-експерименталних резултата истраживања пуштања у рад котлова, објављених у најугледнијим светским часописима, развијена је методологија за испитивање пуштања у рад вреловодног котла као низа променљивих режима рада са квазистатичком променом стања;
- Формирана је база података која садржи критична места, односно критичне елементе унутар структуре пламено-димноцевних котлова, код којих су хаваријска стања учестала.
- Приказани су методологија и алгоритам за прикупљање података за дијагностику чврстоће конструкције пламено-димноцевних котлова.
- Разрађена је методологија математичко-нумеричке анализе термомеханичког стања структуре пламено-димноцевних котлова.
- Разрађена је методологија експерименталне анализе пламено-димноцевних котлова на бази мерења на реалном објекту.
- Разрађена је методологија експерименталне анализе на моделу котла која је спроведена у лабораторијским условима.
- Дефинисани су погонски услови експлоатације у циљу избегавања акцидентних стања.
- Приказана је методологија одржавања пламено-димноцевних котлова на основу утврђеног термомеханичког стања структуре котла.
- Предложена је методологија конструисања заснована на анализи термомеханичког стања конструкције у циљу побољшања постојећих метода прорачуна и унапређивања одговарајућих стандарда .
- Дефинисан је начин праћења и меморисања термомеханичког стања најоптерећенијих делова и елемената котла. Циљ праћења стања котла је чување и процесирање података добијених мерењем, као што су градијенти температуре појединих компоненти, средње температуре метала, напрезања и ниво старења.
- Дефинисани су кључни параметри који изазивају старење котла и његових елемената. Анализа старења укључује два главна механизма оштећења: пузање и замор материјала.

Примењене научне методе:

- У истраживањима која су спроведена у оквиру ове дисертације примењене су научне методе математичко-нумеричке анализе уз примену софтверског пакета „ANSYS“, као и експерименталне методе на реалном објекту и физичком моделу вреловодног котла.
- За прорачун деформација и напона у структури вреловодних пламено-димноцевних котлова примењена је Метода коначних елемената (МКЕ) и софтверски пакет „ANSYS“. Осим што се користи за конструисање нових котловских конструкција, које треба да задовоље и одговарајуће норме, МКЕ се може користити за истраживање могућих хаварија симулацијом услова у време отказа, као и за симулацију механизма хаварије изазваних замором материјала.
- Експерименталне методе су реализоване кроз две врсте активности. Прва врста активности су мерења на реалном објекту. Коришћене су следеће методе: термовизијска снимања, мерења температура у карактеристичним тачкама термопаровима, мерења напона и деформација мерним тракама. Ова мерења су извршена на реалном објекту, вреловодном пламено-димноцевном котлу који је инсталиран у Топлани Машинског факултета у Нишу.
- Друга врста активности су лабораторијска мерења реализована на умањеном физичком моделу котла, у Лабораторији за Отпорност конструкција на Машинском факултету у Београду. Експерименти су спроведени на физичком моделу котла уз помоћ мерних трака и система за оптичко мерење померања и деформација цевне плоче - „ARAMIS“.

Резултати приказани у докторској дисертацији указали су на могуће правце даљих истраживања:

- Развијена методологија може се, након додатних истраживања, проширити и на воденострујне котлове;
- Разрађену методологију математичко-нумеричке анализе термомеханичког стања структуре котла могуће је унапредити моделовањем заварених спојева на критичним елементима котла (цевна плоча котла);
- Разрађену методологију експерименталне анализе пламено-димноцевних котлова на бази мерења на реалном објекту могуће је допунити мерењима и на воденој страни котла, при чему би се стекла боља слика о наслагама депозита на воденој страни и прецизније одредио коефицијент прелаза топлоте;
- Разрађену методологију експерименталне анализе на бази мерења на физичком моделу котла, која се спроведе у лабораторијским условима, могуће је унапредити применом механике лома и проценом радног века на бази замора материјала.

Оцена самосталности научног рада кандидата (до 100 речи)

Кандидат је показао висок ниво самосталности, креативности и систематичности у истраживању и испољивању својих знања и стручних решења.

изради дисертације. Кандидат је показао висок ниво самосталности, систематичности и оригиналне вештине у решавању задатака. Спроведеним истраживањима у оквиру ове дисертације кандидат је показао да успешно користи знања из математичког моделирања и експерименталних метода истраживања сложених енергетских система, као и да поседује потребан ниво самосталности у реализацији експерименталних истраживања и нумеричких симулација енергетских процеса и постројења.

ЗАКЉУЧАК (до 100 речи)

Прегледом докторске дисертације и анализом приказаних резултата, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације доноси следеће закључке:

- Садржај поднете докторске дисертације у потпуности одговара теми коју је верификовала Комисија за оцену подобности и научне заснованости докторске дисертације и усвојило Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Нишу и Научно-стручно веће за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу;
- Кандидат је овладао знањима из области математичког моделирања, нумеричких симулација и методама експерименталне анализе понашања сложених енергетских система потребним за израду докторске дисертације;
- Кандидат је приказао потребну самосталност и инвентивност у научно-истраживачком раду и дошао до оригиналних резултата;
- Кандидат је у приказу истраживања користио уобичајену и стандардизовану стручну терминологију, а структура докторске дисертације и методологија излагања у складу су са универзитетским нормама;
- Добијени резултати су конкретни и апликативни и омогућавају моделирање и оптимизацију сложених енергетских система у фази планирања, изградње и експлоатације.

На основу наведених закључака и остварених научних резултата кандидата, публикованих у часописима и саопштених на тематским конференцијама из уже научне области којој припада тема докторске дисертације, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације сматра да поднета докторска дисертација представља оригиналан и вредан допринос развоју ове научне области и предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Нишу и Научно-стручном већу Универзитета у Нишу да рад Милене Рајић, дипл. маш. инжењера-Мастер, под називом:

"Нумеричко-експериментална анализа термомеханичког стања структуре пламено-димноцевних котлова при променљивим режимима рада" прихвати као докторску дисертацију и да кандидата позове на усмену јавну одбрану.

КОМИСИЈА

Број одлуке НСВ о именовану Комисије	8/20-01-002/21-028	
Датум именовања Комисије	02.04.2021.	
Р. бр.	Име и презиме, звање	Потпис
1.	Др Драгољуб Живковић, редовни професор	председник, ментор
	Термотехника, термоенергетика и процесна техника (Ужа научна област)	
2.	Др Мића Вукић, редовни професор	члан
	Термотехника, термоенергетика и процесна техника (Ужа научна област)	
3.	Др Ненад Митровић, ванредни професор	члан
	Процесна техника (Ужа научна област)	
4.	Др Милан Банић, ванредни професор	члан
	Машинске конструкције (Ужа научна област)	
5.	Др Дејан Митровић, редовни професор	члан
	Термотехника, термоенергетика и процесна техника (Ужа научна област)	

Датум и место: