

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Презиме, име једног родитеља и име	Стојановић Душан Андријана	
Датум и место рођења	22.07.1981.год., Врање, Србија	
Основне студије		
Универзитет	Универзитет у Нишу	
Факултет	Машински факултет	
Студијски програм	Енергетика	
Звање	Дипломирани машински инжењер	
Година уписа	2000.	
Година завршетка	2006.	
Просечна оцена	8,76	

Мајстер студије, магистарске студије

Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Машински факултет
Студијски програм	Енергетика
Звање	Дипломирани инжењер машинства
Година уписа	2000.
Година завршетка	2006.
Просечна оцена	8,76
Научна област	Машинско инжењерство Ужа научна област: Термотехника, термоенергетика и процесна техника
Наслов завршног рада	Утицај промене положаја мерних места на процену потенцијала ветра на подручју Власине

Докторске студије

Универзитет	Универзитет у Нишу
Факултет	Машински факултет
Студијски програм	Енергетика и процесна техника
Година уписа	2007.
Остварен број ЕСПБ бодова	120
Просечна оцена	9,67

НАСЛОВ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Наслов теме докторске дисертације	"Истраживање термичких и хидрауличких услова на грејној површини при кључању и кризи размене топлоте"
Име и презиме ментора, звање	др Драгољуб Живковић, редовни професор Машинског факултета у Нишу др Владимир Стевановић, редовни професор Машинског факултета у Београду
Број и датум добијања сагласности за тему докторске дисертације	8/20-01-003/14-020, у Нишу, 31.03.2014. године

ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Број страна	148
Број поглавља	5
Број слика (шема, графикона)	65
Број табела	1
Број прилога	3

**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>Stojanović, A., Stevanović, V., Petrović, M., Živković, D., <i>Numerical Investigation of Nucleate Pool Boiling Heat Transfer</i>, Thermal Science, 2016, Thermal Science, Vol.20., Suppl. 5. pp. S1301-S1312, DOI: 10.2298/TSCI160404276S</p> <p><i>Сprovedена је тродимензионална нумеричка симулација атмосферског кључања у великој запремини на притиску и температури сатурације. Примењени нумерички и математички модел омогућава потпуну презентацију понашања двофазне мешавине вода-пара на загрејаној површини, са предвиђањем слободног нивоа двофазне мешавине и температурског поља у грејном зиду. Микроуслови генерације паре на грејној површини су моделирани преко густине нуклеације, угла квашења и времена раста мехура. Узет је у обзир сложени процес преноса топлоте са грејног зида на двофазну мешавину на оквашеној површини у околини места генерације мехурова. Симулирана је крива кључања која показује зависност топлотног флукса од прегрејања зида за услове кључања у великој запремини из литературе, и добијено је добро слагање са експерименталним подацима. Такође је показан утицај интензитета топлотног флукса на просторне ефекте генерације паре и двофазног тока, као што су повећање висине слободног нивоа и редуковано квашење грејног зида са повећањем топлотног флукса.</i></p>	M23
2	<p>Stojanović, A., Stevanović, V., Petrović, M., Živković, D., Stanković, B., <i>Numerical Study of Heat Transfer during Nucleate Pool Boiling</i>, Advanced Technology, 2016, Vol. 5, No. 1, pp. 84-90, ISSN 2406-2979.</p> <p><i>Нумеричким путем је истраживан утицај интензитета топлотног флукса и храпавости грејне површине на процес преноса топлоте при мехурастом кључању у великој запремини. Примењен је модел два флуида који омогућава праћење процеса размене енергије и масе на разделној површини двеју фаза. Извршена је нумеричка симулација за две вредности топлотног флукса, и добијени резултати расподеле запреминског удела паре и температурског поља на грејном зиду показују тачност примењеног модела да обухвати комплексне феномене генерације паре и микроуслове на грејној површини. Показано је да неуниформност температурског поља у хоризонталним равнима грејног зида настаје услед различитих локација места нуклеације мехурова. Изведени су и нумерички тестови са гушћом мрежом, који су показали незнатну разлику температуре прегрејања зида</i></p>	M52
3	<p>Stojanović, A., Stevanović, V., Živković, D., Belošević, S., Stanković, B., Crnomarković, N., Tomanović, I., Milićević, A., <i>Review of Heat Transfer Mechanisms in Pool Boiling</i>, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-7877-024-1) International Conference Power Plants October 28-31, 2014., Zlatibor, Serbia, pp. 729-743.</p> <p><i>У овом раду је изложен преглед експерименталних и нумеричких метода изучавања механизма преноса топлоте при кључању у великој запремини: слободне конвекције, мехурастог кључања, нестационарног и филмског кључања, укључујући најновија достигнућа у изучавању овог облика кључања. Дискутовани су предности и недостаци сваког од приступа и дати су коментари са освртом на теоретска и експериментална истраживања која би требало извести у будућности у циљу даљег разумевања процеса кључања.</i></p>	M33
4	<p>Stojanović, A., Stevanović, V., Petrović, M., Živković, D., B. Stanković, <i>Istraživanje procesa prenosa toplote pri mehurastom ključanju u velikoj zapremini</i>, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-6055-076-9) 17th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, Sokobanja, Serbia, October 20-23, 2015.</p> <p><i>У овом раду је изложен развијени модел појаве и раста мехура на грејној површини у зависности од храпавости површине, угла квашења течности на грејној површини, термодинамских карактеристика флуида, итд. Параметарски су анализирани утицаји обрађености зида грејне површине, топлотног флукса и процеса размене на међуфазним површинама на појаву мехурастог кључања. Применом модела је могуће одређивање вредности коефицијента прелаза топлоте и критичног топлотног флукса за различите услове природне циркулације двофазног флуида и храпавости грејне површине.</i></p>	M33

	Stojanović, A., Stevanović, V., Živković, D., Tomanović, I., Pezo, M., <i>Review of Critical Heat Flux Predictions</i> , CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-6055-043-1) 16 th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, Sokobanja, Serbia, October 22-25, 2013.	
5	<i>У раду је приказан преглед доступних резултата нумеричких истраживања критичног топлотног флукса из литературе. Разумевање феномена критичног топлотног флукса, и посебно, прецизно предвиђање услова засушења који доводе до кризе размене топлоте су веома важни за сигуран и ефикасан рад термоенергетских постројења. Изложени су различити нумерички приступи предвиђања критичног топлотног флукса, њихове предности и недостаци.</i>	M33

НАПОМЕНА: уколико је кандидат објавио више од 3 рада, додати нове редове у овај део документа

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

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

Кандидаткиња је 22.08.2013. године поднела захтев Одсеку за наставна и студентска питања Машинског факултета у Нишу (број 612-541-1/2013) за одобрење теме докторске дисертације под радним насловом "Истраживање термичких и хидрауличких услова на грејној површини при кључању и кризи размене топлоте".

Наставно-научно веће Машинског факултета у Нишу је на седници одржаној 25.11.2013. године, одлуком број 612-786-9/2013, именovalo Комисију за оцену научне заснованости наведене теме у саставу: др Драгољуб Живковић, редовни професор Машинског факултета у Нишу, др Градимир Илић, редовни професор Машинског факултета у Нишу, др Братислав Благојевић, редовни професор Машинског факултета у Нишу, др Владимир Стевановић, редовни професор Машинског факултета у Београду и др Мића Вукић, редовни професор Машинског факултета у Нишу.

Наставно-научно веће Машинског факултета у Нишу је на седници одржаној 26.02.2014. године, на основу Извештаја (број 612-114/14) Комисије о заснованости теме докторске дисертације под насловом "Истраживање термичких и хидрауличких услова на грејној површини при кључању и кризи размене топлоте", одлуком број 612-174-6/2014., усвојило наведену тему докторске дисертације и предложило др Драгољуба Живковића, редовног професора Машинског факултета у Нишу, и др Владимира Стевановића, редовног професора Машинског факултета у Београду за менторе.

Научно-стручно Веће за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу је 31.03.2014.год., одлуком број 8/20-01-003/14-020, дало сагласност на Одлуку о усвајању теме докторске дисертације и предложене менторе.

Кандидаткиња Андријана Стојановић је 14.09.2016. године, Одсеку за наставна и студентска питања Машинског факултета у Нишу, предала докторску дисертацију и поднела захтев (број 612-554/2016) за одређивање Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације.

Наставно-научно веће Машинског факултета у Нишу је на седници одржаној 17.11.2016. године одлуком број 612-667-4/2016 именovalo Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Андријане Стојановић, под називом: "Истраживање термичких и хидрауличких услова на грејној површини при кључању и кризи размене топлоте", у саставу: др Драгољуб Живковић, редовни професор Машинског факултета у Нишу, др Владимир Стевановић, редовни професор Машинског факултета у Београду, др Градимир Илић, редовни професор Машинског факултета у Нишу у пензији, др Братислав Благојевић, редовни професор Машинског факултета у Нишу и др Мића Вукић, редовни професор Машинског факултета у Нишу.

Кандидаткиња Андријана Стојановић је првопотписани аутор једног рада објављеног у часопису са СЦИ листе из уже области којој припада тема докторске дисертације, као и првопотписани аутор једног рада у часопису који издаје Технолошки факултет Универзитета у Нишу из уже области којој припада тема докторске дисертације.

На основу свега наведеног, кандидаткиња Андријана Стојановић 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

Докторска дисертација састоји се из 5 поглавља и одговарајућих прилога: коришћене литературе (81 цитираних библиографских јединица), списка ознака употребљених у раду као и кратке биографије аутора. По форми и садржају рад у потпуности испуњава постојеће стандарде за докторску дисертацију. Наслови поглавља у докторској дисертацији су следећи:

1. Увод
2. Преглед истраживања мехурастог кључања, остварених резултата и метода које се користе за предвиђање коефицијента прелаза топлоте;
3. Приказ нумеричке методе решавања модела
4. Спровођење нумеричких експеримената кључања двофазне мешавине у великој запремини
5. Закључак

ЛИТЕРАТУРА

Истраживања у оквиру докторске дисертације обухватају следеће:

У *Првом поглављу* је дат увод у предмет истраживања ове докторске дисертације. У овом поглављу описани су предмет, циљ и значај изучавања термичких и хидрауличких услова на грејној површини при кључању и кризи размене топлоте. Истакнуто је да су ова истраживања термохидрауличких процеса важна из угла сигурности, поузданости и расположивости погона, као и због добијања нових сазнања о процесима и појавама у генераторима паре. Један од ограничавајућих радних услова при размени топлоте мехурастим кључањем је криза кључања до које долази при високим топлотним флуксевима и интензивној генерацији мехурова.

У *Другом поглављу* је приказан преглед досадашњих резултата експерименталних истраживања, модела који описују мехурасто кључање у великој запремини и метода које се користе за предвиђање коефицијента прелаза топлоте. Истакнуте су предности и недостаци сваке од описаних метода и изложени су проблеми које би требало решити у будућности у циљу бољег разумевања процеса кључања. Иако у литератури постоји велики број модела и емпиријских корелација мехурастог кључања свака од њих је применљива на ограничени број експерименталних услова. Иако су, са механистичке тачке гледишта, утицајни параметри као што су геометрија грејне површине, храпавост површине и контактни угао, итд. екстензивно изучавани, још увек недостаје свеобухватан механистички опис. Описани су први модели мехурастог кључања у великој запремини као и савремена истраживања овог феномена. Приказани су и резултати нумеричких истраживања у овој области.

У *Трећем поглављу* представљен је развијени математички и физички модел којим је описано мехурасто кључање у великој запремини. Модел се заснива на једначинама одржања масе, количине кретања и енергије за сваку фазу посебно, као и на одговарајућим конститутивним корелацијама за одређивање размене билансних величина на разделним површинама течне и парне фазе. Приказана је примена методе контролних запремина и методе СИМПЛЕ за нумеричко решавање проблема кључања двофазне мешавине. Дефинисани су гранични услови на разделној површини двофазне мешавине. Моделирана су два различита региона: двофазни ток у базену и кондукција у грејном зиду са конвекцијом на граничној површини грејног зида и двофазне мешавине. Описани су развијени модели појаве и раста мехура на грејној површини у зависности од храпавости површине, угла квашења течности на грејној површини, термофизичких карактеристика флуида, итд. На тај начин је приказан нумерички метод за анализу сложеног процеса кључања узимајући у обзир микроскопске процесу генерације паре и макроскопске природне циркулације двофазне мешавине на грејној површини.

У *четвртом поглављу* приказани су резултати прорачуна добијени коришћењем развијеног модела који је примењен за анализу параметара двофазне мешавине при кључању у великој запремини. Прорачун је спроведен за двофазну мешавину воде и водене паре, при чему је приказана просторна расподела запреминског удела парне фазе, расподела температуре на грејној површини, расподела брзина течне и парне фазе, расподела поља притиска, као и промена нивоа двофазне мешавине у

симулираној запремини. Резултати прорачуна су упоређени са доступним експерименталним резултатима и констатовано је задовољавајуће слагање. На основу приказаних резултата нумеричких тестова се може пратити развој кључања двофазне мешавине на грејној површини у току времена и промена нивоа течне фазе за различите вредности интензитета топлотног флукса. Описан је изведени нумерички тест са гушћом мрежом који се примењује како би се побољшала тачност прорачуна коришћењем мањих димензија ћелија мреже и тако добијени резултати промене температуре по висини грејног зида су представљени и упоређени са резултатима прорачуна са финијом мрежом. Приказано је поређење зависности прегрејања зида од топлотног флукса (крива кључања) резултата добијених симулацијом и експерименталних резултата за храпаве и глатке загрејаче. Очитавањем података са криве кључања се може одредити коефицијент прелаза топлоте што је пресудно за конструисање и безбедан рад термоенергетских постројења као што су котлови, размењивачи топлоте, вертикални и хоризонтални генератори паре са кључањем око цеви у снопу и нуклеарни реактори. Описане су могућности примене развијене методе.

У *петој поглављу* приказани су закључци о оствареним резултатима.

У поглављу Литература приказана је 81 референца.

ВРЕДНОВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ниво остваривања постављених циљева из пријаве докторске дисертације

Циљеви постављени у оквиру докторске дисертације су у потпуности остварени, као и предложени оквирни садржај дисертације.

Основни циљеви ове докторске дисертације били су: (а) развој физичког и математичког модела и одговарајућег нумеричког поступка решавања за спрегнуту симулацију конвективног кључања и кондукције топлоте у загрејачком зиду; (б) спровођење нумеричких симулација двофазног струјања течне и парне фазе преко грејних површина изложених високим вредностима топлотног флукса, као и прорачун просторног нестационарног провођења топлоте и температурског поља у зиду загрејачког канала, (ц) развој алгорита за одређивање коефицијента прелаза топлоте на основу срачунатог нестационарног температурског поља у загрејачком зиду и струјно-термичких параметара двофазног тока у симулираном струјном каналу. Крајњи циљ био је развој методе за поуздано предвиђање коефицијента прелаза топлоте и вредности критичног топлотног флукса.

С обзиром да развијени модели обухватају битне механистичке процесе који одређују услове на грејној површини при мехурастом кључању на микро и макро нивоу (микро ниво се односи на површину загрејачког зида и гранични слој двофазне мешавине, а макро ниво на глобалне параметре двофазног струјања у испаривачком каналу), очекује се да ће развијени нумерички приступ бити примењив у општем случају за различите геометријске, термичке и струјне услове (у опсегу масених флукса двофазног струјања од неколико стотина до неколико хиљада $\text{kg/m}^2\text{s}$ и масених удела паре који одговарају мехурастом и пенастом двофазном току), као и различите термофизичке карактеристике течне и парне фазе. Постављени циљ је од изузетног значаја за сигурност и поузданост рада различитих врста генератора паре.

Вредновање значаја и научног доприноса резултата дисертације

Развијен је и примењен оригинални аналитички модел, нумерички поступак решавања и компјутерски програм за симулације и анализе мехурастог кључања у великој запремини. На основу примењеног модела је симулирано понашање двофазне мешавине на грејној површини при чему је укључено предвиђање нивоа двофазне мешавине. Поступак је заснован на нумеричком решавању модела два флуида који се састоји од билансних једначина масе, количине кретања и енергије за сваку од фаза и од конститутивних корелација за одређивање размене билансних величина на разделним површинама течне и парне фазе. Развијени нумерички поступак представља допринос у развоју метода истраживања мехурастог кључања, с обзиром да су досадашњи методи рада били углавном експериментални, а развијени емпиријски модели су могли бити поуздано примењени само у ужем

опсегу струјних и термичких параметара од значаја за одвијање процеса. Развијени модел омогућава нумеричку симулацију процеса кључања, као и квантификацију утицаја густине нуклеације и услова загревања зида на настанак и одвијање мехурастог кључања.

Полазећи од констатације да термички и хидраулички услови на грејној површини при мехурастом кључању у великој запремини представљају веома сложене процесе, овај рад је обухватио њихово теоријско и аналитичко проучавање и одређивање закономерности генерисања паре на загрејаном зиду. При томе се избор математичког модела, граничних и почетних услова заснивао на идеји да се проблем разматра што ближе реалним условима, да се методологија проучавања нестационарних режима заснива на жељи да се региструје почетак и даљи развој процеса мехурастог кључања и да се развијеним поступком специфицирају услови у којима се ова појава може идентификовати.

Математичким моделирањем описаног процеса мехурастог кључања двофазне мешавине у великој запремини створена је основа за анализу струјних и термодинамичких параметара двофазне мешавине при кључању и кризи размене топлоте. На тај начин су добијени резултати којима је одређен низ карактеристичних једначина, којима је дефинисана узајамна спрега различитих фактора који прате процес мехурастог кључања у великој запремини. Упоређивањем претпоставки које омогућавају затварање система једначина конзервације, реализован је конзистентан математички модел који омогућује одређивање карактеристичних параметара који дефинишу почетак и интензитет мехурастог кључања. Анализом параметара помоћу математичког модела добијени су резултати који омогућавају оцену услова преноса топлоте при мехурастом кључању.

На основу приказаних резултата закључује се да развијени поступак прорачуна термохидрауличких услова на грејној површини генератора паре при кључању, омогућава потпуно сагледавање поља брзина течне и парне фазе, поља притиска, просторне расподеле запреминског удела паре, расподеле температура у грејаном зиду и на његовој површини, као и одређивање положаја нивоа двофазне мешавине и масе течности. Ови резултати су неопходна подлога за термохидрауличке анализе сигурности рада генератора паре, тј. за пројектовање и дефинисање оперативних процедура погона генератора паре у циљу остварења високе поузданости и ефикасности рада.

Оцена самосталности научног рада кандидата

Кандидаткиња је показала изузетно висок ниво самосталности, креативности и систематичности у истраживањима и испољила способност анализе научних знања из задате области уз оригиналност у осмишљавању и креирању одређених научних и стручних решења. Кандидаткиња је приказала детаљну, свеобухватну и квалитетну анализу постојеће научне литературе из области теме докторске дисертације. Кандидаткиња је показала да поседује потребна мултидисциплинарна знања и способност њихове синтезе при изради дисертације. Познавање литературе и стечена знања из више области искористила је да на креативан начин осмисли, формулише и примени научни приступ при математичком моделирању, нумеричкој симулацији и анализи термичких и хидрауличких услова на грејној површини при кључању и кризи размене топлоте.

ЗАКЉУЧАК

На основу прегледа поднете радне верзије докторске дисертације и увидом у публиковане научне радове кандидаткиње, чланови Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације закључују следеће:

- Поднети рад у потпуности одговара теми докторске дисертације прихваћеној од стране Наставно - научног већа Машинског факултета у Нишу и Научно-стручног већа за техничко - технолошке науке Универзитета у Нишу;
- Научни допринос и оригиналност дисертације показани су објављивањем већег броја радова у међународним часописима и на међународним конференцијама;
- Докторска дисертација је адекватно конципирана и технички изузетно квалитетно урађена;
- Кандидаткиња је показала висок ниво самосталности и систематичности у бављењу научно-истраживачким радом, као и креативан приступ формулацији и решавању разматраних проблема;






- Кандидаткиња је приказала потребну самосталност и инвентивност у научно-истраживачком раду и дошла је до оригиналних резултата;
- Добијени научни резултати су конкретни и апликативни и омогућавају истраживање, моделирање и даљи развој генератора паре у различитим областима термотехнике, термоенергетике и процесне технике.

Имајући у виду значај и актуелност обрађене теме и остварене научне резултате кандидаткиње, публиковане у часописима 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 са задовољством предлажу Наставно-научном већу Машинског факултета у Нишу и Научно-стручном већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу да рад Андријане Стојановић, дипл. маш. инжењера под називом:

"ИСТРАЖИВАЊЕ ТЕРМИЧКИХ И ХИДРАУЛИЧКИХ УСЛОВА НА ГРЕЈНОЈ ПОВРШИНИ ПРИ КЉУЧАЊУ И КРИЗИ РАЗМЕНЕ ТОПЛОТЕ"

прихвате као докторску дисертацију и да кандидаткињу позову на усмену јавну одбрану.

КОМИСИЈА

Број одлуке ННВ о именовану Комисије		612-667-4/2016
Датум именовања Комисије		17.11.2016. године
Р. бр.	Име и презиме, звање	Потпис
1.	Др Драгољуб Живковић, редовни професор Термотехника, термоенергетика и процесна техника (Научна област)	председник, ментор 
	Универзитет у Нишу, Машински факултет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
2.	Др Владимир Стевановић, редовни професор Термоенергетика (Научна област)	ментор 
	Универзитет у Београду, Машински факултет у Београду (Установа у којој је запослен)	
3.	Др Градимир Илић, редовни професор у пензији Термотехника, термоенергетика и процесна техника (Научна област)	члан 
	Универзитет у Нишу, Машински факултет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
4.	Др Братислав Благојевић, редовни професор Термотехника, термоенергетика и процесна техника (Научна област)	члан 
	Универзитет у Нишу, Машински факултет у Нишу (Установа у којој је запослен)	
5.	Др Мића Вукић, редовни професор Термотехника, термоенергетика и процесна техника (Научна област)	члан 
	Универзитет у Нишу, Машински факултет у Нишу (Установа у којој је запослен)	

Датум и место:

У Нишу и Београду

Јануара, 2017. год.