

**Универзитет у Нишу, Машински факултет у Нишу**  
**Катедра за термотехнику, термоенергетику и процесну технику**

***Наставно–научном већу Машинског факултета у Нишу***

**ИЗВОД**  
**из записника са седнице**  
**Већа Катедре за термотехнику, термоенергетику и процесну технику**

**Предмет: Предлог чланова Комисије за оцену научне заснованости**  
**теме докторске дисертације**

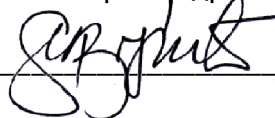
На седници Већа Катедре за Термотехнику, термоенергетику и процесну технику, одржаној 15.11.2013. године једногласно је усвојен следећи предлог чланова Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под насловом **“Истраживање термичких и хидрауличких услова на загрејачкој површини при кључању у кризи размене топлоте”** кандидата Андријане Стојановић, дипл. инж. маш.:

- **Др Драгољуб Живковић**, ред. проф. Машинског факултета у Нишу  
Ужа научна област: Термотехника, термоенергетика и процесна техника
- **Др Градимир Илић**, ред. проф. Машинског факултета у Нишу  
Ужа научна област: Термотехника, термоенергетика и процесна техника
- **Др Братислав Благојевић**, ред. проф. Машинског факултета у Нишу  
Ужа научна област: Термотехника, термоенергетика и процесна техника
- **Др Владимир Стевановић**, ред. проф. Машинског факултета у Београду  
Ужа научна област: Термоенергетика
- **Др Мића Вукић**, ванр. проф. Машинског факултета у Нишу  
Ужа научна област: Термотехника, термоенергетика и процесна техника

У Нишу,

15.11.2013.

Шеф Катедре



Др Мића Вукић, ванр. проф.

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ  
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ  
КАТЕДРА ЗА ТЕРМОЕНЕРГЕТИКУ И ТЕРМОТЕХНИКУ

Предмет:

## Захтев за одобрење теме докторске дисертације

Поштовани,

С обзиром да сам на Машинском факултету у Нишу уписала докторске студије 2007. године, положила све испите предвиђене Правилником о докторским студијама, при чему сам остварила више од 390 ЕСПБ (Правилник о докторским студијама члан 4.7) и више од 10 ЕСПД током научно-истраживачког рада, стекла сам право да упутим Захтев за одобрење теме докторске дисертације Одсеку за наставна и студентска питања, Машинског факултета у Нишу.

Молим Веће Катедре за термоенергетику и термотехнику да ми одобри израду докторске дисертације под радним насловом:

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

За ментора предлажем др Драгољуба Живковића, ред. проф. Машинског факултета у Нишу.

Уз захтев прилажем образложење предложене теме и оквирни садржај докторске дисертације, основне биографске податке, списак пројеката у чијој реализацији сам учествовала и списак објављених радова.

У Нишу, 22.08. 2013. год.

Подносилац захтева:

*Андрејана Стојановић*  
Андрејана Стојановић, дипл. маш. инж.

#### МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ

|                       |              |        |           |
|-----------------------|--------------|--------|-----------|
| Примљено: 22.08. 2013 |              |        |           |
| Орг.јед.              | Број         | Прилог | Вредности |
| 73                    | 612-541/2013 |        |           |

## 1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

### 1.1. Биографски подаци

Андријана Стојановић је рођена у Врању 22.07.1981. године. Гимназију „Бора Станковић“ у Врању, природно-математичког смера, је завршила 2000. године. Исте године је уписала Машински факултет у Нишу, а дипломирала је 2006. године са просечном оценом 8.76 на испитима и оценом 10 на дипломском раду. Докторске студије је уписала 2007. године на Групи за енергетику и процесну технику.

Андријана Стојановић ради у Лабораторији за термотехнику и енергетику Института за нуклеарне науке Винча од маја 2007. године као истраживач приправник, а од јула 2008. као истраживач сарадник. Од пријема у радни однос, је била ангажована у раду на пројектима Министарства науке:

„Истраживање техноекономских потенцијала производње електричне енергије ветрогенераторима на локацији ТЕ Костолац“ - ЕЕ-273013Б;

„Развој и примена комплементарних метода за процену енергетске ефикасности и индикатора квалитета унутрашњег простора стамбених објеката на подручју Београда“ – ТП 1804А;

„Развој технологије цигаретног сагоревања балиране пољопривредне биомасе са анализом могућности комбиноване производње топлотне и електричне енергије“ – ТП 18216 А.

Тренутно сам ангажована на два пројекта:

„Истраживање и развој енергетски и еколошки високоефективних система полигенерације заснованих на обновљивим изворима енергије“ – ИИИ 042006 и

„Повећање енергетске и еколошке ефикасности процеса у ложишту на угљени прах и оптимизија излазне грејне површине енергетског парног котла применом сопствених софтверских алата“ – ТП 33018.

### 1.2. Списак објављених радова

Списак објављених научних и стручних радова Андријане Стојановић, дипл. маш. инж.:

Andrijana Stojanović, **Utilization of geothermal energy for heating buildings**, Proceedings Euroacademy on ventilation and indoor climate, 8-13 May 2007, Pamporovo, Bulgaria, pp 130. **M32 = 1.5**

Andrijana Stojanović, **Types of industrial ventilation troubleshooting methods**, Proceedings Euroacademy on ventilation and indoor climate, 18-25 October 2007, Pamporovo, Bulgaria, pp 254 **M32 = 1.5**

Žana Stevanović, Žarko Stevanović, Andrijana Stojanović, **Analysis of standards for application EU energy performances of buildings directive in Republic of Serbia**, Zbornik radova : 13. Simpozijum termičara Srbije, 16-19 oktobar 2007, Sokobanja, Srbija, pp 24. **M63 = 0.5**

Žana Stevanović, Žarko Stevanović, Andrijana Stojanović, **Micro-siting for experimental determination of wind energy potential in region of Kostolac**, Zbornik radova: 13. Simpozijum termičara Srbije, 16-19 oktobar 2007, Sokobanja, Srbija, pp 1 **M63=0.5**

A. Erić, D. Dakić, S. Nemoda, M. Komatina, D. Đurović, A. Stojanović, **Eksperimentalno određivanje permeabilnosti baliranog sojinog ostatka**, Termorehnika, 2010, XXXVI, 1, pp. 143-151 **M52=1.5**

B. Repić, S. Nemoda, A. Radojević, A. Stojanović, **Modeliranje uticaja temperaturskih uslova sagorevanja na emisiju štetnih produkata sagorevanja biomase**, Dvadeset treći međunarodni kongres o procesnoj industriji PROCESING 2010, Tara 2-4 juni 2010, Srbija **M33=1**

D. Dakić, A. Erić, D.Đurović, M. Erić, G. Živković, B. Repić, M. Mladenović, S. Nemoda, N. Mirkov, A. Stojanović, **One approach of using the agricultural biomass for heating**, Proceedings of 18<sup>th</sup> European Biomass Conference, Lyon, 3-7 May, 2010, Republika Francuska, pp. 1944-1948 **M33=1**

B. Repić, D. Dakić, S. D. Đurović, A. Radojević, A. Stojanović, **Flue gas temperature influence on pollutant products emissions during the biomass combustion**, Proceedings of 3<sup>th</sup> International Symposium Energy Mining ER 2010: Energetsko rudarstvo, nove tehnologije, održivi razvoj, Banja Junaković, Apatin, 8-11 sept, Republika Srbija, pp. 272-281 **M33=1**

B. Repić, D. Dakić, A. Erić, D. Đurović, A. Radojević, A. Stojanović, **Istraživanje sagorevanja poljoprivredne biomase u industrijskom vrelovodnom blok kotlu**, Zbornik radova druge regionalne konferencije: Industrijaska energetika i zaštita životne sredine u zemljama jugoistočne Evrope, Zlatibor, 22-26 jun 2010, Republika Srbija **M63=0.5**

D. Dakić, B. Repić, A. Erić, M. Mladenović, D.Đurović, S. Nemoda, A. Stojanović, **Mogućnosti kombinovanog sagorevanja više formi biomase**, Naučno-stručni časopis – Revija agronomska saznanja, 2009, br 5, pp. 39-44 **M52=1.5**

D. Dakić, A. Erić, D.Đurović, M. Erić, G. Živković, B. Repić, M. Mladenović, S. Nemoda, N. Mirkov, A. Stojanović, **Jedan od načina korišćenja nus proizvoda iz poljoprivredne proizvodnje kao goriva**, PTEP Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi, 2009, vol 13, pp. 81-84 **M52=1.5**

Dakić D., Đurović D., Repić B., Erić A., Mladenović M., Živković G., Stojanović A., Mirkov N., Erić M., **Ispitivanje rada kotla snage 1,5 MW za grejanje plastenika u PKB-u korišćenjem balirane biomase**, Zbornik radova: 14. Simpozijum termičara Srbije, 13-16 oktobar 2009, Sokobanja, Srbija, pp 1. **M63=0.5**

A. Erić, D. Dakić, S. Nemoda, M. Komatina, D. Đurović, A. Stojanović, **Eksperimentalno određivanje permeabilnosti baliranog sojinog ostatka**, Zbornik radova: 14. Simpozijum termičara Srbije, 13-16 oktobar 2009, Sokobanja, Srbija, pp 1. **M63=0.5**

Repić B., Dakić D., Đurović D., Radojević A., Stojanović A., **Flue gas temperature influence on pollutant products emissions during the biomass combustion**,

Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Congress of Chemical Engineering ECCE-7: Symposium on thermodynamics and transport properties, 28. avg.- 1. sept 2010, Prag, Republika Češka **M33=1**

A. Stojanović, Nemoda S., Erić A., Repić B., Dakić D., Đurović D., **Estimating the char conversion efficiency in agricultural baled biomass combustion zone**, International Congress Power Plants 2010, Vrnjačka Banja, Serbia, 26 – 29. October, Republika Srbija **M33=1**

Ž. Stevanović, N. Mirkov, Ž. Stevanović, A. Stojanović, **Experimental Validation of Atmospheric Layer Turbulence Model**, Thermal Science, 2010. vol 14, pp. 199-207 **M23=3**

A. Stojanović, **Building Cooling by Wind Blowing From the Water**, Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Analysis of Building Envelope and Indoor Environment, Pamporovo, 6-11 May 2008, Republika Bugarska, pp. 130 **M32=1.5**

A. Stojanović, S. Belošević, B. Stanković, N. Crnomarković, I. Tomanović, V. Beljanski, **Suvi postupci odsumporavanja dimnih gasova kotlova na sprašeni ugallj – karakteristike i efikasnost**, Termotehnika, Scientific and Technical Journal of the Society of Thermal Engineeras of Serbia, ISSN 0350-218X, UDC 621, Vol XXXVIII, No 1, 2012, pp. 61-80 **M51=2**

A. Stojanović, S. Belošević, B. Stanković, N. Crnomarković, I. Tomanović, V. Beljanski, **Overview of dry flue gas desulfurization technologies for pulverized coal-fired boilers**, CD-ROM Proceedings, ISBN 978-86-7877-021-0, International Conference Power Plants 2012, Zlatibor, Serbia, October 30th - November 2nd, 2012, Paper No. E2012-096, pp. 1063-1073. **M33=1**

B. Stanković, S. Belošević, M. Sijerčić, N. Crnomarković, V. Beljanski, I. Tomanović, A. Stojanović, **Investigation of fully developed plane turbulent channel flow by means of Reynolds stress models**, *Proceedings* (Eds. Stevan Maksimović and Tomislav Igić), The 3<sup>rd</sup> International Congress of Serbian Society of Mechanics, IConSSM 2011, Vlasina Lake, Serbia, 5-8 July 2011, paper B-12, pp. 321-338. **M33=1**

V. B. Beljanski, I. D. Tomanović, S. V. Belošević, M. A. Sijerčić, B. D. Stanković, N. Đ. Crnomarković, A. D. Stojanović, **Numerical prediction of overfire air influence on FEGT and NO<sub>x</sub> emission in 350 MW<sub>e</sub> pulverized coal utility boiler**, *CD-ROM Proceedings* (ISBN 978-86-6055-018-9), *15th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia*, Sokobanja, Serbia, 18-21 October 2011, **M33=1**

V. B. Beljanski, I. D. Tomanović, S. V. Belošević, M. A. Sijerčić, B. D. Stanković, N. Đ. Crnomarković, A. D. Stojanović, **Numerical prediction of overfire air influence on FEGT and NO<sub>x</sub> emission in 350 MW<sub>e</sub> pulverized coal utility boiler**, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-6055-018-9), *15th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia*, Sokobanja, Serbia, 18-21 October 2011, **M33=1**

Velimir P. Stefanović, Saša R. Pavlović, Marko M. Mančić, Andrijana D. Stojanović, Milan Lj. Đorđević, **Mathematical model and numerical simulation of CPC-2V concentrating solar collector**, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-6055-018-9), *15th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia*, Sokobanja, Serbia, 18-21 October 2011, **M33=1**

Velimir P. Stefanović, Saša R. Pavlović, Marko M. Mančić, Andrijana D. Stojanović, Milan Lj. Đorđević, **Experimental determination and review of heat performances of three flat collectors and a CPC-2V concentrating collector with a small concentration ratio**, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-6055-018-9), *15th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia*, Sokobanja, Serbia, 18-21 October 2011, **M33=1**

Predrag M. Živković, Mladen A. Tomić, Gradimir S. Ilić, Andrijana D. Stojanović, **Traffic and pollution in the city of Niš**, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-6055-018-9), *15th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia*, Sokobanja, Serbia, 18-21 October 2011, **M33=1**

Predrag M. Živković, Dušan Lj. Petković, Mladen A. Tomić, Gradimir S. Ilić, Žarko M. Stevanović, Andrijana D. Stojanović, **Wind energy potentials on Stara planina mountain**, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-6055-018-9), *15th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia*, Sokobanja, Serbia, 18-21 October 2011, **M33=1**

Velimir P. Stefanović, Andrijana D. Stojanović, Saša R. Pavlović, **Impact of the number and of the types of the covers on the top heat loss of flat plate solar collector**, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-6055-018-9), *15th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia*, Sokobanja, Serbia, 18-21 October 2011, **M33=1**

Velimir P. Stefanović, Andrijana D. Stojanović, Saša R. Pavlović, **Potential of biomass as renewable energy source in Serbia and the world**, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-6055-018-9), *15th Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia*, Sokobanja, Serbia, 18-21 October 2011, **M33=1**

Velimir P. Stefanović, Andrijana D. Stojanović, Saša R. Pavlović, **Advantages and disadvantages of innovative technologies for thermal treatment of municipal solid waste**, CD-ROM Proceedings (ISBN 978-86-6055-018-9), *15th Symposium on*

*Thermal Science and Engineering of Serbia*, Sokobanja, Serbia, 18-21 October 2011, **M33=1**

V. B. Beljanski, I. D. Tomanović, S. V. Belošević, M. A. Sijerčić, B. D. Stanković, N. Đ. Crnomarković, A. D. Stojanović **Sulfation Reaction Modeling of Ca-based Sorbent**, International Conference Power Plants 2012, October 30-November 02, 2012, Zlatibor, Serbia, Paper ID E2012/042, **M33=1**

V. B. Beljanski, I. D. Tomanović, S. V. Belošević, M. A. Sijerčić, B. D. Stanković, N. Đ. Crnomarković, A. D. Stojanović **Modelling and Optimisation of Desulphurisation Processes by Direct Sorbent Injection in Furnace of Pulverised Coal Utility Boiler**, International Conference Power Plants 2012, October 30-November 02, 2012, Zlatibor, Serbia, Paper ID E2012/041, **M33=1**

## **2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА**

### **2.1. Предмет истраживања и хипотетички ставови о проблему истраживања**

Предмет истраживања у оквиру докторске дисертације су термички и хидраулички услови на загрејачкој површини на којој долази до кључања једнокомпонентне двофазне мешавине течности и паре са могућношћу појаве кризе размене топлоте. При кључању мехурови настају и расту на танком, прегрејаном слоју течности који кваси грејани зид. Постојање разделних површина течне и парне фазе и различите термофизичке карактеристике фаза чине двофазни систем течности и гаса много сложенијим у односу на хомогене системе. У циљу утврђивања локалних услова који одређују интензитет прелаза топлоте са загрејаног зида на кључајућу двофазну мешавину од посебног је значаја истраживање микро услова на местима генерације парне фазе на загрејачкој површини, као што су нестационарно температурско поље у загрејачком зиду, кретање разделне површине течне и парне фазе, прегревање течности, брзина испаравања итд. Савремени развој нумеричких модела за симулацију двофазних струјања омогућава истраживање преноса топлоте и масе при мехурастом кључању и идентификацију физичких феномена при мехурастом кључању.

Мехурасто кључање код двофазних мешавина се примењује у многим гранама индустрије зато што представља један од најефикаснијих начина преноса топлоте, посебно у високо-енергетским системима као што су нуклеарни реактори и термоелектране на различите врсте горива. Разлог је у томе што мехурасто кључање може транспортовати велике количине енергије по јединици загрејачке површине у поређењу са оном количином енергије која се може транспортовати принудном конвекцијом или кондукцијом са једнофазним хладиоцем. То је резултат формирања мехурова паре на загрејачкој површини уз коришћење латентне топлоте испаравања. Зато је прецизно предвиђање коефицијента прелаза топлоте од пресудног значаја за оптималну и економичну конструкцију различитих

врста генератора паре. За разумевање фундаменталног механизма кључања двофазних мешавина и поуздано предвиђање коефицијента прелаза топлоте при мехурастом кључању треба развити одговарајуће математичке моделе и нумеричке поступке како би се достигла њихова шира примена у индустрији.

Један од ограничавајућих радних услова при размени топлоте мехурастим кључањем је криза кључања до које долази при високим топлотним флуксевима и интензивној генерацији мехура. При тим условима се формира слој двофазне мешавине са високим запреминским уделом паре који спречава продирање течне фазе до загрејане површине зида. Загрејачка површина се засушује и с обзором да је пара лошији хладилац од течности, значајно се смањује прелажење топлоте са загрејачке површине на флуид, што је праћено наглим порастом температуре зида. Стога је предвиђање термичких и хидрауличких услова на загрејачкој површини, при којима може доћи до кризе размене топлоте, нарочито значајно за сигурност различитих врста генератора паре.

Иако је овај проблем изучаван у претходном периоду, бројни утицајни чиниоци и сложеност струјних и термичких услова на загрејачкој површини још увек нису довољно испитани. Гранични услови зида испаривачког струјног канала и поља двофазне мешавине доводе до тога да је дефинисање, решавање, анализа и предвиђање феномена кризе кључања изузетно сложено.

Предвиђање механизма процеса кључања и услова при којима долази до прогоревања испаривачких канала захтева моделирање и нумеричку симулацију и на микро и на макро нивоу. Потребно је испитати микроскопски процес појаве и раста мехура, као и понашање двофазне мешавине на загрејачкој површини на макроскопском нивоу. Један од резултата који упућују на потребу изучавања појаве на микро нивоу је и сазнање да се са повећањем храпавости загрејачке површине повећава критични топлотни флукс, зато јер се са повећањем храпавости повећава густина клијалишта мехура.

У оквиру тезе ће се развити математички модел двофазног струјања у вертикалној испаривачкој цеви. Математички модел ће се састојати од једначина одржања масе, количине кретања и енергије за сваку од фаза – парну и течну. Међусобно дејство фаза ће бити узето у обзир применом одговарајућих конститутивних корелација. Модел ће се решити применом алгоритма за решавање модела два флуида заснованог на "SIMPLE - Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations" методу.

У циљу предвиђања термичких и хидрауличких услова на загрејачкој површини и одређивања коефицијента прелаза топлоте при мехурастом кључању, развиће се и одговарајући модели појаве и раста мехура на загрејаној површини у зависности од храпавости површине, угла квашења течности на загрејаној површини, термофизичких карактеристика флуида итд. Параметарски ће се анализирати утицаји обрађености зида загрејачке површине, топлотног флукса, геометрије испаривачих цеви и процеса размене на међуфазним површинама на појаву мехурастом кључања. Применом модела биће могуће одређивање вредности коефицијента прелаза топлоте и критичног топлотног флукса за различите услове струјања двофазног хладиоца и храпавости загрејачке површине.



## 2.2. Циљ истраживања

Циљеви истраживања 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 загрејачких површина изложених високим вредностима топлотног флуksа, као и прорачун просторног нестационарног провођења топлоте и температурског поља у зиду загрејачког канала, (ц) развој алгоритма за одређивање појаве коефицијента прелаза топлоте на основу срачунатог нестационарног температурског поља у загрејачком зиду и струјно-термичких параметара двофазног тока у симулираном струјном каналу. Крајњи циљ је развој методе за поуздано предвиђање коефицијента прелаза топлоте и вредности критичног топлотног флуksа. С обзиром да ће развијени модели обухватити битне механистичке процесе који одређују услове на загрејачкој 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 флуksева 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.

## 2.3. Ужа научна област

Термоенергетика

## 3. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ

Предложени модел двофазног струјања се састоји од једначина одржања масе, количине кретања и енергије за сваку од фаза. У случају просторног тродимензионог струјања формира се систем од осам парцијалних диференцијалних једначина елиптичког типа (по једна скаларна једначина одржања масе и енергије и три пројекције векторске једначине одржања количине кретања за сваку фазу). С обзиром на нелинеарност проблема, присуство конвективних и дифузионих чланова у једначинама одржања и сложеност конститутивних корелација, аналитичко испитивање стабилности решења није оствариво, тако да се полази од хипотезе да за физички реално дефинисане почетне и граничне услове развијени систем једначина конвергира ка јединственом партикуларном решењу. Такође, неопходно је правилно дефинисати интензитете процеса размене на разделним површинама фаза, што ће се постићи верификацијом предложених корелација за одговарајуће експерименталне услове.

Услови генерације паре на микро нивоу на загрејачком зиду ће се обухватити помоћу густине места нуклеације мехурова и времена раста мехура на зиду. Густина места нуклеације је важан параметар у процесу моделирања. Има значајан утицај на динамику кључања и услове под којима долази до кризе кључања. На основу досадашњих истраживања може се закључити да је густина нуклеације одређена храпавошћу површине на којој долази до кључања. У моделу ће се преко густине нуклеације узети у обзир храпавост површине. Места нуклеације мехурова ће се задати помоћу пробабилистичког модела, тако да ће она бити променљива у простору, али ће укупан број мехурова на одређеној површини одговарати густини нуклеације мехурова. Други параметар који је од значаја за локалне услове генерације мехурова је време раста мехура на зиду. Већи број параметара утиче на време раста мехура, као што су топлотни флуks, угао квашења итд. Њихов утицај ће се параметарски анализирати одговарајућим моделом.

#### **4. НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА**

За прорачун струјно-термичких процеса двофазног струјања користиће се тродимензиони модел два флуида. Двофазно струјање флуида ће се описати билансним једначинама масе, количине кретања и енергије у нестационарном облику за сваку од фаза. Размена билансних величина на разделним површинама течне и парне фазе ће се одредити применом одговарајућих полу-емпиријских конститутивних корелација.

За нумеричко решавање система једначина ће се користити метод коначних запремина. Сменом једначина одржања количине кретања у скаларном облику у једначину конзервације масе, добија се једначина за корекцију притиска у двофазном току, која ће се решити применом модификоване методе "SIMPLE - Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations".

Нумеричке симулације двофазног струјања са кључањем у испаривачкој цеви ће се спровести за експерименталне услове расположиве у литератури. Резултати нумеричких симулација ће бити упоређени са расположивим експерименталним резултатима. У оквиру тезе развијени и верификовани нумерички модел ће се применити за симулацију и анализу струјно-термичких услова на загрејачкој површини у испаривачком каналу реалног енергетског генератора паре. Описаће се поступак примене развијене методе у оквиру анализа сигурности генератора паре.

#### **5. ОЧЕКИВАНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

Очекивани научни резултати су: (а) развој нумеричког модела за симулацију и анализу услова на загрејачкој површини при мехурастом кључању у испаривачким каналима, (б) сагледавање струјних и термичких услова на микро и макро нивоу који опредељују интензитет размене топлоте при мехурастом кључању, и (ц) анализа утицаја појединих струјних и термичких параметара на услове настанка кризе кључања. Развијени нумерички поступак ће представљати значајан допринос у развоју метода истраживања мехурастом 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 метод ће омогућити директну нумеричку симулацију процеса кључања, као и квантификацију утицаја појединих параметара двофазног струјања и услова загревања зида на настанак и одвијање мехурастог кључања.

Са становишта инжењерске праксе, очекивани резултати су: (а) развој нумеричке методе за поуздано предвиђање коефицијента прелаза топлоте и критичног топлотног флукса, (б) примена методе за сагледавање услова при којима се може повећати коефицијент прелаза топлоте и критични топлотни флукс, што утиче на повећање термичке сигурности генератора паре и термичких апарата, и (ц) примена методе у оквиру анализа сигурности енергетских генератора паре.

## **6. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА РАДА**

### **6.1. План истраживања**

Истраживање ће се обавити у оквиру следећих задатака: (а) развој физичких и математичких модела двофазног струјања преко загрејачке површине, (б) развој модела нестационарног провођења топлоте у зиду испаривачког канала, (в) развој модела генерације мехура на загрејачкој површини, (г) примена нумеричког поступка решавања развијених модела и развој одговарајућег компјутерског програма, (д) спровођење нумеричких експеримената и верификација модела поређењем добијених резултата са доступним експерименталним подацима, (ђ) примена развијене методе за предвиђање размене топлоте при мехурастом кључању у испаривачком каналу генератора паре, и (е) публикавање добијених резултата.

### **6.2. Структура рада**

1. Феноменолошки приказ мехурастог кључања. Значај познавања феномена мехурастог кључања са становишта сигурности и поузданости рада генератора паре.
2. Преглед савремених истраживања мехурастог кључања, остварених резултата и метода које се користе за предвиђање коефицијента прелаза топлоте у овом облику двофазног струјања.
3. Развој физичких и математичких модела двофазног струјања, генерације паре на загрејаној површини и нестационарног провођења топлоте у загрејачком зиду.
4. Приказ нумеричке методе решавања модела.
5. Спровођење нумеричких експеримената двофазног струјања преко загрејачке површине са генерацијом мехура. Верификација модела.
6. Примена развијене нумеричке методе у оквиру анализа сигурности генератора паре.
7. Закључак о оствареном научном доприносу у оквиру докторске тезе.

**ТАБЕЛАРНИ ПРИКАЗ ОСТВАРЕНИХ РЕЗУЛТАТА – ПРЕМА ПРАВИЛНИКУ О ПОСТУПКУ И НАЧИНУ ВРЕДНОВАЊА, И КВАНТИТАТИВНОМ ИСКАЗИВАЊУ НАУЧНОИСТРАЖИВАЧКИХ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЧА**

| Назив групе резултата   | Ознака групе | Врста резултата  | М/Вредност резултата | Сума  |
|---|--------------|--|----------------------|---|
| Монографије, монографске студије, тематски зборници, лексикографске и картографске публикације међународног значаја | M10          | Истакнута монографија међународног значаја   | M11/15               | 0x15=0  |
|   |              | Монографија међународног значаја   | M12/10               | 0x10=0  |
|   |              | Монографска студија/поглавље у књизи M11 или рад у тематском зборнику водећег међународног значаја                         | M13/6                | 0x6=0   |
|   |              | Монографска студија/поглавље у књизи M12 или рад у тематском зборнику међународног значаја                                 | M14/4                | 0x4=0   |
|   |              | Лексикографска јединица или карта у научној публикацији водећег међународног значаја                                       | M15/3                | 0x3=0   |
|   |              | Лексикографска јединица или карта у научној публикацији међународног значаја   | M16/2                | 0x2=0   |
|   |              | Уређивање научне монографије или тематског зборника водећег међународног значаја   | M17/3                | 0x3=0   |
|   |              | Уређивање научне монографије, тематског зборника, лексикографске или картографске публикације водећег међународног значаја | M18/2                | 0x2=0   |
|   |              | Радови објављени у научним часописима међународног значаја   | M20                  | Рад у врхунском међународном часопису   |
| Рад у истакнутом међународном часопису  | M22/5        |  |                      | 0x5=0   |
| Рад у међународном часопису   | M23/3        |  |                      | 1x3=3   |
| Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком  | M24/3        |  |                      | 0x3=0   |
| Научна критика и полемика у истакнутом међународном часопису  | M25/1.5      |  |                      | 0x1.5=0   |
| Научна критика и полемика у међународном часопису   | M26/1        |  |                      | 0x1=0   |
| Уређивање истакнутог међународног научног часописа на год нивоу (гост уредник)                                      | M27/3        |  |                      | 0x3=0   |
| Уређивање међународног научног часописа   | M28/2        |  |                      | 0x2=0   |
| Зборници  |              |  |                      | Предавање по позиву са међународног скупа штампано у целини (неопходно позивно писмо) |
|   |              | Предавање по позиву са међународног скупа штампано у изводу  | M32/1.5              | 3x1.5=4.5   |

|   |     |  |         |           |
|---|-----|--|---------|-----------|
| међународних научних скупова  | M30 | Саопштење са међународног скупа штампано у целини  | M33/1   | 18x1=18   |
|   |     | Саопштење са међународног скупа штампано у изводу  | M34/0.5 | 0x0.5=0   |
|   |     | Ауторизована дискусија са међународног скупа   | M35/0.3 | 0x0.3=0   |
|   |     | Уређивање зборника саопштења међународног научног скупа  | M36/1   | 0x1=0     |
|   |     |  |         |           |
| Националне монографије, тематски зборници, лексикографске и картографске публикације националног значаја; научни преводи и критичка издања грађе, библиографске публикације | M40 | Истакнута монографија националног значаја  | M41/7   | 0x7=0     |
|   |     | Монографија националног значаја, монографско издање грађе, превод изворног текста у облику монографије (само за старе језике)  | M42/5   | 0x5=0     |
|   |     | Монографска библиографска публикација  | M43/3   | 0x3=0     |
|   |     | Поглавље у књизи M41 или рад у истакнутом тематском зборнику водећег националног значаја, превод изворног текста у облику студије, поглавља или чланка, превод или стручна редакција превода научне монографске књиге (само за старе језике) | M44/2   | 0x2=0     |
|   |     | Поглавље у књизи M42 или рад у тематском зборнику националног значаја  | M45/1.5 | 0x1.5=0   |
|   |     | Лексикографска јединица у научној публикацији националног значаја  | M46/1   | 0x1=0     |
|   |     | Уређивање научне монографије, тематског зборника, лексикографске или картографске публикације водећег националног значаја  | M47/0.5 | 0x0.5=0   |
|   |     | Уређивање научне монографије, тематског зборника, лексикографске или картографске публикације националног значаја  | M48/2   | 0x2=0     |
|   |     |  | M49/1   | 0x1=0     |
| Часописи националног значаја  | M50 | Рад у водећем часопису националног значаја   | M51/2   | 1x2=2     |
|   |     | Рад у часопису националног значаја   | M52/1.5 | 3x1.5=4.5 |
|   |     | Рад у научном часопису   | M53/1   | 0x1=0     |
|   |     | Уређивање водећег научног часописа националног значаја (на годишњем нивоу)   | M55/2   | 0x2=0     |
|   |     | Уређивање научног часописа националног значаја (на годишњем нивоу)   | M56/1   | 0x1=0     |
|   |     |  |         |           |
| Зборници скупова националног значаја  | M60 | Предавање по позиву са скупа националног значаја штампано у целини   | M61/1.5 | 0x1.5=0   |
|   |     | Предавање по позиву са скупа националног значаја штампано у изводу   | M62/1   | 0x1=0     |
|   |     | Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини   | M63/0.5 | 5x0.5=2.5 |
|   |     | Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу   | M64/0.2 | 0x0.2=0   |
|   |     | Ауторизована дискусија са националног скупа  | M65/0   | 0x0.2=0   |
|   |     | Уређивање зборника саопштења са скупа националног значаја  | M66/1   | 0x1=0     |
|   |     |  |         |           |

|                                    |     |  |        |             |
|------------------------------------|-----|--|--------|-------------|
|                                    |     |  |        |             |
| Магистарске и докторске тезе       | M70 | Одбрањена докторска дисертација  | M71/6  | 0x6=0       |
|                                    |     | Одбрањен магистарски рад   | M72/3  | 0x3=0       |
| Техничка и развојна решења         | M80 | Нови производ или технологија уведени у производњу, признат програмски систем, признате нове генетске пробе на међународном нивоу (уз доказ), ново прихваћено решење проблема у области макроекономског, социјалног и проблема одрживог просторног развоја рецензовано и прихваћено на међународном нивоу (уз доказ) | M81/8  | 0x8=0       |
|                                    |     | Нова производна линија, нови материјал, индустријски прототип, ново прихваћено решење проблема у области макроекономског, социјалног и проблема одрживог просторног развоја уведени у производњу (уз доказ)  | M82/6  | 0x6=0       |
|                                    |     | Ново лабораторијско постројење, ново експериментално постројење, нови технолошки поступак (уз доказ)   | M83/4  | 0x4=0       |
|                                    |     | Битно побољшан постојећи производ или технологија (уз доказ) ново решење проблема у области макроекономског, социјалног и проблема одрживог просторног развоја рецензовано и прихваћено на националном нивоу (уз доказ)  | M84/3  | 0x3=0       |
|                                    |     | Прототип, нова метода, софтвер, стандардизован или атестиран инструмент, нова генска проба, микроорганизми (уз доказ)  | M85/2  | 0x2=0       |
|                                    |     | Критичка евалуација података, база података, приказани детаљно као део међународних пројеката, публиковани као интерне публикације или приказани на Интернету  | M86/2  | 0x2=0       |
|                                    |     |  |        |             |
| Патенти, ауторске изложбе, тестови | M90 | Реализовани патент, сој, сорта, или раса, архитектонско, грађевинско или урбанистичко ауторско дело на међународном нивоу  | M91/10 | 0x10=0      |
|                                    |     | Реализовани патент, сој, сорта, или раса, архитектонско, грађевинско или урбанистичко ауторско дело  | M92/8  | 0x8=0       |
|                                    |     | Ауторска изложба са каталогом уз научну рецензију  | M93/3  | 0x3=0       |
|                                    |     |  |        |             |
|                                    |     | <b>Укупно</b>  |        | <b>34.5</b> |