

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

189/4
(Број захтева)
26.03.2026.
(Датум)

Веће научних области техничких наука
(Назив већа научне области коме се захтев упућује)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације и о одређивању ментора

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

Термохидраулика хоризонталног генератора паре за вреловодне нуклеарне реакторе мање снаге

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: Машинство (ужа научна област: Термоенергетика)

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата: МИЛОШ (Александар) ЛАЗАРЕВИЋ
2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):
Универзитет у Београду - Машински факултет, Краљице Марије 16, 11120 Београд 35
3. Година завршетка претходног нивоа студија: 2022.
4. Година уписа на докторске студије: 2022.
5. Назив студијског програма докторских студија: Машинско инжењерство

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Владимир Стевановић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Lazarevic, M.A., Stevanovic, V.D., Milivojevic, S., Petrovic, M.M., Nexus between geometry and thermal-hydraulic s horizontal steam generator, Nuclear Engineering and Design, 445 (2025) 114487, doi.org/10.1016/j.nucengdes.2025.114487 (катеорија M21)
2. Stevanovic, V.D., Nord, L.O., Lazarevic, M.A., Milivojevic, S., Petrovic, M.M., Stevanovic, N., Carnot battery with st accumulator and pebble bed thermal _ energy storage, Energy, 329 (2025) 136760, doi.org/10.1016/j.energy.2025.136760 (кате M21a+)
3. Ilic, M., Stevanovic, V.D., Petrovic, M.M., Milivojevic, S., Numerical investigations of steam accumulator dynamics: assessment of computational ___ models, Journal of Energy Storage, 96 (2024) 112633, doi.org/10.1016/j.est.2024.112633 (кат M21a)
4. Stevanovic, V.D., Milivojevic, S., Petrovic, M.M., Ilic, M., Increased hydraulic resistance in tubes of once-through boi fouling: A case study of 650 ___ MWe lignite fired unit, Case Studies in Thermal Engineering, 42 (2023) 102706, doi.org/10.1016/j.csite.2023.102706 (катеорија M21a)
5. Petrovic, M.M., Stevanovic, V.D., Pool boiling simulation with two-fluid and grid resolved wall boiling model, Internat Journal of Multiphase Flow, 144, 2021, article 103806, doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2021.103806 (катеорија M21)

Обавештавамо вас да је Наставно – научно веће на седници одржаној 26.03.2026. године размотрило предложену тему : закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Прилог:

1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

Напомена:

Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и једном писаном примерку за архиву Универзитета

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 189/4
Датум: 26.03.2026. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017, 73/2018, 27/2018 – др. закон 67/2019, 6/2020 – др. закони, 11/2021 – аутентично тумачење, 67/2021, 67/2021 – др. закон и 76/2023), члана 64. Статута Машинског факултета – пречишћени текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године), Одлуке о изменама и допунама Статута број 239/6 од 17.02.2023. године и члана 38. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду - Машинском факултету, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 26.03.2026. године донело је:

О Д Л У К У

о прихватању Извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације

Прихвата се Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **Милоша Лазаревића**, маг. инж. маш. под насловом „**Термохидраулика хоризонталног генератора паре за вреловодне нуклеарне реакторе мање снаге**“.

Извештај је поднела Комисија у саставу: др Сања Миливојевић, ред. проф., др Владимир Стевановић, ред. проф., ментор, др Дарко Раденковић, ванр. проф., др Милан Петровић, научни сарадник, МФ Београд и др Милица Илић, виши научни сарадник, ИНН Винча Београд.

За **ментора** докторске дисертације именује се **др Владимир Стевановић, ред. проф.**

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Оцена научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Милоша Лазаревића, маг. инж. маш.

Одлуком Наставно-научног већа бр. 189/2 од 24.02.2026. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Милоша Лазаревића, маг. инж. маш. под насловом „Термохидраулика хоризонталног генератора паре за вреловодне нуклеарне реакторе мање снаге“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Милош Лазаревић је рођен 21. јануара 1997. године у Београду. Основну школу и IX београдску гимназију „Михаило Петровић Алас“ завршио је у Београду. На Машински факултет Универзитета у Београду се уписао 2016. године. Основне академске студије је завршио 2019. године са просечном оценом 8,98 (осам и 98/100). Исте године уписује мастер академске студије на модулу за Термоенергетику, а завршава их 2022. године са просечном оценом 9,60 (девет и 60/100). Мастер рад на тему „Нумеричка симулација нестационарног хлађења вреловодног нуклеарног реактора“ одбранио је у јуну 2022. Докторске академске студије је уписао 2022. године такође на Машинском факултету Универзитета у Београду.

Током Основних академских студија био је стипендиста Министарства просвете Републике Србије, док је током Мастер академских студија био стипендиста компаније Енергопројект Ентел. Више пута је награђиван од стране факултета за изванредан успех остварен у току студија. Од октобра 2022. године је запослен као машински инжењер у компанији Енергопројект Ентел. На Машинском факултету Универзитета у Београду, на Катедри за термоенергетику, запослен је од маја 2023. год. до априла 2025. год. као истраживач приправник у оквиру програма „Зелена сарадња науке и привреде“ Фонда за науку Републике Србије на пројекту „TRP-RSU“. Након завршетка пројекта код Фонда за науку, запослен је на Машинском факултету Универзитета у Београду у периоду од маја 2025. до фебруара 2026. године као истраживач приправник, а од марта 2026. године као самостални стручно-технички сарадник у Лабораторији за генераторе паре и нуклеарне реакторе.

Кандидат Милош Лазаревић је аутор и коаутор 5 научних радова, од чега су три рада објављена у водећим међународним часописима са SCI листе (категорије M21a, M21 и M23) док су два рада штампана у целини у материјалима скупова међународног значаја (категорија M33). Учествовао је у раду „Међународне конференције о нуклеарном инжењерству“

(International Conference on Nuclear Engineering - ICONE) у организацији Америчког удружења машинских инжењера (ASME) у Прагу од 4. до 8. августа 2024. године и добио је награду за најбољи научни рад у категорији студентских радова из Европе. У периоду од 17. до 19. децембра 2024. године је био учесник „Радионице о избору, финансирању, сигурности и безбедности малих модуларних реактора у организацији Основне инфраструктуре за одговорно коришћење технологије малих модуларних реактора Сједињених Америчких Држава (US Foundational Infrastructure for Responsible Use of Small Modular Reactor Technology - FIRST), у оквиру које је изложио резултате сопствених истраживања. У периоду од 19. до 30. јануара 2026. године прошао је 72-часовну обуку о ВВЕР нуклеарним електранама снаге 1200 MWe у оквиру Техничке академије компаније Росатом. У периоду од 2. до 6. фебруара 2026. год. је био учесник Треће међународне зимске техничке школе „Знање и технологије будућности у нуклеарној индустрији“ и истоимене конференције, у Обнинску, у Руској Федерацији. У оквиру такмичарског дела конференције је освојио прву награду за пројекат идеје малих модуларних фузионих реактора.

1.2. Стечено научно-истраживачко искуство

1.2.1 Положени испити на Докторским студијама

Кандидат Милош Лазаревић је уписао Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2022/2023. године. Кандидат је положио све испите предвиђене планом и програмом докторских студија, са просечном оценом 9,88 (девет и 88/100) и остварио је укупно 120 ЕСПБ бодова, чиме је испунио основни услов да пријави докторску дисертацију. Списак положених испита, остварених ЕСП бодова и оцена приказани су у табели 1.

Табела 1 Списак положених испита кандидата Милоша Лазаревића на докторским академским студијама

Ред.бр.	Семестар	Предмет-испит	ЕСПБ	Оцена
1	1	Виши курс математике	5	8 (осам)
2	1	Нумеричке методе	5	10 (десет)
3	1	ОМНИР (организација и методе научно-истраживачког рада) и комуникација	5	10 (десет)
4	1	Моделирање прелазних процеса	5	10 (десет)
5	1	Истраживање и публикавање 1	10	10 (десет)
6	2	Одабрана поглавља из механике флуида	5	10 (десет)
7	2	Теорија преноса масе, импулса и енергије	5	10 (десет)
8	2	Виши курс из термодинамике	5	10 (десет)
9	2	Истраживање и публикавање 2	15	10 (десет)
10	3	Нумеричка механика вишефазних струјања	5	10 (десет)
11	3	Моделирање турбулентних струјања	5	9 (девет)
12	3	Истраживање и публикавање 3	20	10 (десет)
13	4	Пројекат идеје докторске дисертације	30	10 (десет)
Укупно ЕСПБ:			120	

1.2.2 Списак објављених радова

Категорија M20 - Радови објављени у научним часописима међународног значаја

Категорија M21a - Рад објављен у међународном часопису изузетних вредности

1. V.D. Stevanovic, L.O. Nord, **M.A. Lazarevic**, S. Milivojevic, M.M. Petrovic, N. Stevanovic, Carnot battery with steam accumulator and pebble bed thermal energy storage, Energy, Vol. 329, 2025, article 136760, pp. 1-21, doi.org/10.1016/j.energy.2025.136760

Категорија M21 - Рад објављен у врхунском међународном часопису

2. **M.A. Lazarevic**, V.D. Stevanovic, S. Milivojevic, M.M. Petrovic, Nexus between geometry and thermal-hydraulic scaling of horizontal steam generator, Nuclear Engineering and Design, Vol. 445, 2025, article 114487, pp. 1-15, doi.org/10.1016/j.nucengdes.2025.114487

Категорија M23 - Рад објављен у међународном часопису

3. S. Milivojevic, M.M. Petrovic, V.D. Stevanovic, J. Riznic, **M. Lazarevic**, Techno-Economic Comparison of a Large-Scale Nuclear Power Plant, Small Modular Reactors, and Wind and Solar Power Plant Deployment, Energies, Vol. 18, Issue 9, 2025, article 2355, pp. 1-18, doi.org/10.3390/en18092355

Зборници међународних научних скупова - **M30**

Категорија M33 - Саопштење са међународног скупа штампано у целини

4. **M. Lazarevic**, V. Stevanovic, M.M. Petrovic, S. Milivojevic, M. Ilic, Scaling of Horizontal Steam Generator Based on Three-Dimensional Thermal-Hydraulic Simulations, Proceedings of the 31st International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-31), Prague, Czech Republic, August 4-8, 2024, paper ICONE31-136502.
5. V.D. Stevanovic, S. Milivojevic, M.M. Petrovic, **M. Lazarevic**, Carnot Battery Based on Pumped Thermal Energy Storage with Regenerative Pebble Bed and Steam Accumulator, Proceedings of the 37th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS2024), Rhodes, Greece, June 30 - July 4, 2024, paper ID: 403.

Категорија M34 - Саопштење са међународног скупа штампано у изводу

6. V.D. Stevanovic, L.O. Nord, S. Milivojevic, M.M. Petrovic, **M. Lazarevic**, Carnot Battery with Steam Accumulator and Pebble Bed Thermal Energy Storage, Proceedings of the International Conference on Cleaner Energy Transition (ICCET 2024), Krakow, Poland, October 21-23, 2024.
7. **M. Lazarevic**, V. Stevanovic, S. Milivojevic, M.M. Petrovic, Modelling of Three-Dimensional Thermal-Hydraulics of Horizontal Steam Generator, Proceedings of the 2nd International Conference on Mathematical Modelling in Mechanics and Engineering, (ICME 2024), Belgrade, Serbia, September 12-14, 2024, pp. 83-84.
8. S. Milivojevic, M.M. Petrovic, V.D. Stevanovic, J. Riznic, **M. Lazarevic**, N. Stevanovic, The cost-effectiveness analysis of different power facilities construction projects with the aim of decarbonizing the energy sector, Proceedings of the IX International Congress "Engineering,

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат Милош Лазаревић, маг. инж. маш. је положио све испите и испунио све обавезе предвиђене наставним планом и програмом докторских академских студија, чиме је стекао 120 ЕСПБ и тиме остварио основни услов да му се одобри израда докторске дисертације. До сада је као први аутор објавио један рад из категорије М21 (рад [2] у потпоглављу 1.2.2 Списак објављених радова), био је коаутор по једног рада из категорије М21а [1] и М23 [3], први је аутор рада из категорије М33 [4] који је награђен на међународној конференцији из нуклеарног инжењерства ICONЕ као најбољи студентски рад из Европе, коаутор је једног рада из категорије М33 [5] и аутор је или коаутор три рада из категорије М34 [6,7,8]. Био је члан истраживачког тима пројекта под називом „Унапређење флексибилности рада декарбонизованих термоелектрана са складиштењем енергије у циљу повећаног коришћења обновљивих извора – TPP-RSU“, који је финансиран од стране Фонда за науку Републике Србије у оквиру „Зеленог програма сарадње науке и привреде“. У претходно наведеним радовима [2,4,7] кандидат је дао допринос у моделирању термохидрауличких процеса у генераторима паре нуклеарних електрана, што је у непосредној вези са темом докторске дисертације коју кандидат пријављује. Остали радови показују да кандидат влада савременим методама нумеричких симулација и анализа сложених термохидрауличких процеса у термоенергетским постројењима и методама планирања у енергетици.

На основу наведених остварених резултата и деловања, сматрамо да кандидат Милош Лазаревић, маг. инж. маш. испуњава све услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

У свету данас постоји више од 400 комерцијалних нуклеарних реактора у раду који обезбеђују око 10% производње електричне енергије. Док су велики нуклеарни блокови дуго представљали основу нуклеарне енергетике, мали модуларни реактори и нуклеарни реактори средње снаге добијају све већи значај због унапређених система пасивне безбедности, серијске производње, краћег времена градње и олакшане имплементације у удаљеним областима [1,2]. Један од кључних техничких изазова у њиховом развоју јесте правилно димензионисање круцијалних компоненти, попут генератора паре, уз очување термохидрауличких перформанси, поузданости и безбедности.

Код нуклеарних система са вреловодним реакторима, генератор паре представља спону између нуклеарног реактора и парног турбопостројења [3]. Примарни флуид (реакторски хладилац) је вода под притиском која се загрева топлотом насталом фисијом у нуклеарном гориву, струји унутар цеви генератора паре и предаје топлоту секундарном флуиду, такође води која струји око цеви у снопу. Вода на секундарној страни генератора паре се загрева, достиже температуру засићења и кључа, а тако настала водена пара даље струји ка парној турбини.

Произвођаче и испоручиоце нуклеарне опреме из Европе, Северне Америке, Јапана и Јужне Кореје карактеришу вертикалне конструкције генератора паре [3,4], док руска технологија примењује хоризонталне генераторе паре, чије су предности: (а) повољни услови за сепарацију влаге, што обезбеђује већу сувоћу паре на излазу генератора паре, (б) умерене брзине течне и парне фазе, што смањује ризик од вибрација цеви, (в) већи топлотни капацитет и стабилно одвијање природне циркулације, чак и при делимичном засушењу

снопова цеви [5,6]. Те карактеристике чине хоризонтални генератор паре погодним и за интеграцију у системе са нуклеарним реакторима мале и средње снаге.

Генератори паре смањених димензија и топлотних снага, који би се користили у нуклеарним електранама са малим модуларним реакторима или са реакторима средње снаге, конструишу се на основу досадашњег искуства сигурног и поузданог рада генератора паре великих димензија и снага у нуклеарним електранама које су у вишедеценијској експлоатацији. У ту сврху се развијају поступци за дефинисање геометрије и димензионисање (скалирање) опреме у односу на постојећа, у пракси потврђена референтна решења. Стандардни поступак скалирања је аналитички приступ заснован на теорији сличности. Међутим, овај приступ показује значајна ограничења при скалирању термохидрауличких уређаја и система, због тога што није могуће истовремено задовољити све услове геометријске, струјне и термичке сличности, поготову у случају двофазних струјања течне и парне фазе у генераторима паре. Стога се примена теорије сличности комбинује са резултатима експерименталних мерења и нумеричких симулација, што даје потпунији увид у сложене физичке процесе који настају у двофазним струјним пољима. До сада су истраживања скалирања, заснована на нумеричким симулацијама, углавном коришћена у оквиру постојећих специјализованих софтверских пакета који се користе у нуклеарној индустрији за анализу термохидраулике, понашања система и безбедности нуклеарних постројења који примењују једнодимензионалне моделе струјања (TRACE, RELAP, CATHARE итд.) [7,8]. Међутим, примена једнодимензионалних модела није погодна у случају хоризонталног генератора паре, који има велику водену запремину и код кога се одвија самоорганизована природна циркулација двофазне мешавине у тродимензионалном простору око и унутар снопова топлотно-размењивачких цеви. Скалирање хоризонталних генератора паре није до сада анализирано применом нумеричких симулација са вишефлуидним моделима који омогућавају тродимензионални приказ расподеле брзина, притисака и запреминског удела паре у двофазном току. Стога се у оквиру истраживања предложене докторске дисертације планира развој и примена сопственог компјутерског кода за симулацију тродимензионалног двофазног струјања са фазним прелазом као подршке термохидрауличном скалирању, а у циљу упоређивања перформанси хоризонталног генератора паре реактора ВВЕР-1000 велике снаге и верзије са умањеном геометријом.

У оквиру рада на докторској дисертацији најпре ће се развити детаљан модел хоризонталног генератора паре ВВЕР-1000 топлотне снаге 750 MW. Нумерички прорачун ће омогућити добијање тродимензионалних поља брзина течне и парне фазе, као и поље запреминског удела паре. Добијени резултати ће се упоредити са доступним експерименталним мерењима [9,10,11] у циљу валидације развијеног термохидрауличног модела. Након тога ће се умањити (скалирати) целокупна геометрија генератора паре, чиме се добија компактна верзија погодна за потребе нуклеарних електрана са реакторима мале и средње снаге. За новодобијену умањену геометрију спровешће се термохидраулички прорачуни струјања примарног и секундарног флуида при различитим топлотним оптерећењима. Анализа резултата термохидрауличких прорачуна треба да покаже при којим топлотним оптерећењима скалирани хоризонтални генератор паре обезбеђује услове у погледу брзина течне и парне фазе, расподеле запреминског удела паре, сувоће паре и безбедносних маргина од засушења цевних снопова, који су упоредиви са референтним генератором паре велике снаге ВВЕР-1000. Такође, одредиће се услови за сигуран и поуздан рад скалираног генератора паре и са мањим пречницима цеви, што онда омогућује компактнију конструкцију цевних снопова са већом запреминском густином снаге, а самим тим и већом генерацијом паре по јединици запремине генератора паре. До сада примењиване методе за димензионисање компоненти умањених димензија, које би задржале исту динамику одвијања термохидрауличких процеса и исти опсег промена термохидрауличких параметара као код референтног постројења великих димензија, засноване су на сличности геометријских, струјних и термичких параметара [7,8]. У овде предложеном истраживању, умањене

(скалиране) димензије генератора паре ће се одредити на основу резултата валидираних тродимензионалних нумеричких симулација термохидрауличких процеса у генератору паре, уз услов да термички и хидраулички параметри процеса обезбеђују сигуран и поуздан рад скалираног генератора паре.

На овај начин спроведено истраживање ће утврдити зависност између димензија скалираног хоризонталног генератора паре и његове максималне топлотне снаге, у циљу остваривања компатибилности скалираног хоризонталног генератора паре са захтевима малих модуларних реактора и нуклеарних реактора средње снаге, што је основ за даљи развој оптимизованих, компактних генератора паре намењених напредним нуклеарним технологијама.

- [1] Z. Liu, J. Fan, Technology readiness assessment of Small Modular Reactor (SMR) designs, *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 70, 2014, pp. 20-28, doi.org/10.1016/j.pnucene.2013.07.005
- [2] I.L. Pioro, R.B. Duffey, P.L. Kirillov, G.V. Tikhomirov, N. Dort-Goltz, A.D. Smirnov, Current status of SMRs and S&MRs development in the world, in *Handbook of Generation IV Nuclear Reactors (Second Edition)*, Edited by I.L. Pioro, Woodhead Publishing, Cambridge, USA, 2024, pp. 713-757, ISBN: 978-0-12-820588-4.
- [3] J.C. Smith, Nuclear Steam generator design, in *Steam Generators for Nuclear Power Plants*, Edited by J. Riznic, Woodhead Publishing, Cambridge, USA, 2025, pp. 29-41, ISBN: 978-0-443-29030-5
- [4] N.B. Trunov, B.I. Lukasevich, D.O. Veselov, Yu.G. Dragunov, Steam generators – horizontal or vertical (which type should be used in nuclear power plants with VVER?), *Atomic Energy*, Vol. 105, 2008, pp. 165–174, doi.org/10.1007/s10512-008-9090-1
- [5] V.I. Melikhov, O.I. Melikhov, Water-water energy reactor steam generators – modelling and simulations, in *Steam Generators for Nuclear Power Plants*, Edited by J. Riznic, Woodhead Publishing, Cambridge, USA, 2025, pp. 485-526, ISBN: 978-0-443-29030-5.
- [6] V.D. Stevanovic, Horizontal steam generator—safety studies, in *Steam Generators for Nuclear Power Plants*, Edited by J. Riznic, Woodhead Publishing, Cambridge, US, 2025, pp. 527-544, ISBN: 978-0-443-29030-5.
- [7] F. D’Auria, G.M. Galassi, Scaling in nuclear reactor system thermal-hydraulics, *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 240, 2010, pp. 3267–3293, doi.org/10.1016/j.nucengdes.2010.06.010
- [8] J. Hao, W. Chen, D. Zhang, S. Wang, Scaling modeling analysis of flow instability in U-tubes of steam generator under natural circulation, *Annals of Nuclear Energy*, Vol. 64, 2014, pp. 169-175, doi.org/10.1016/j.anucene.2013.10.001
- [9] V.D. Stevanovic, Z. Stosic, M. Kiera, U. Stoll, Horizontal Steam Generator Thermal-Hydraulics at Various Steady-State Power Levels, *Proceedings of the 10th International Conference on Nuclear Engineering, ICONE-10*, Washington, D.C, USA, April 14-18, 2002, doi.org/10.1115/ICONE10-22451
- [10] T.T. Le, V.I. Melikhov, O.I. Melikhov, Recommended set of interfacial drag correlations for the two-phase flow under thermal–hydraulic conditions of a horizontal steam generator, *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 379, 2021, article 111249, pp. 1-20, doi.org/10.1016/j.nucengdes.2021.111249
- [11] V. Ghazanfari, G.R. Ansarifard, M.H. Esteki, Drift flux modeling of the VVER-1000 horizontal nuclear steam generator, *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 76, 2014, pp. 36-43, doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.04.021

3. Полазне хипотезе

Основна хипотеза при предвиђању струјања флуида око цеви у снопу на секундарној страни генератора паре је да се применом модела струјања флуида кроз порозну средину и решавањем спрегнутог система билансних једначина масе, количине кретања и енергије појединачно за течну и гасну фазу, може поуздано одредити поље брзина воде и водене паре и запреминског удела паре у двофазној мешавини.

У оквиру истраживања термохидрауличких процеса генератора паре умањених димензија, хипотеза је да се са генератором паре смањених димензија и сходно томе смањеним димензијама цевних снопова, укључујући и мање пречнике цеви, може остварити већа запреминска густина снаге и већа генерација паре по јединици запремине у односу на генераторе паре већих димензија, који се примењују код стандардних нуклеарних електрана велике снаге, при чему је задовољена сигурност и поузданост у раду, која подразумева да не долази до засушења цевних снопова и да брзине паре остају у опсегу који обезбеђује гравитациону сепарацију влаге.

4. Научне методе истраживања

У оквиру рада на докторској дисертацији ће се применити методе математичког моделирања и нумеричких симулација, са валидацијом нумеричких резултата поређењем са расположивим резултатима експерименталних мерења на реалним постројењима, као и са анализом резултата и синтезом у виду аналитичких зависности. Термохидраулички процеси двофазног струјања и генерисања паре на секундарној страни генератора паре ће се описати тродимензионалним моделом „два флуида“, који подразумева решавање билансних једначина масе, количине кретања и енергије за сваку од фаза појединачно, при чему се међуфазни процеси на разделним површинама фаза описују одговарајућим моделима и корелацијама. Запреминска густина снаге у сноповима топлотно-размењивачких цеви у тродимензионалном простору генератора паре ће се одредити разликом температуре примарног флуида, то јест воде која је реакторски хладацац и која струји унутар цеви генератора паре, и температуре секундарног флуида, односно потхлађене воде у простору загревања и двофазне мешавине воде и водене паре у простору у коме вода испарава, као и одговарајућим корелацијама за конвективни прелаз топлоте при једнофазном и двофазном струјању. Температура примарног флуида ће се одредити симултаним решавањем система енергетских једначина једнодимензионалног струјања реакторског хладиоца унутар цеви, при чему је предаја топлоте секундарном флуиду одређена просторном расподелом запреминске густине снаге. Тако формиран систем парцијалних и обичних диференцијалних једначина ће се решити методом коначних запремина заснованом на SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations) алгоритму, који је модификован за решавање спрегнутих билансних једначина за сваку од фаза двофазног струјања. Развијени модел и примењени нумерички метод ће се валидирати поређењем са у литератури доступним процесним параметрима измереним на реалном генератору паре у нуклеарној електрани. Зависност између димензија генератора паре и пројектне снаге која обезбеђује сигуран и поуздан рад ће се одредити анализом резултата серије нумеричких симулација спроведених у оквиру параметарске промене топлотне снаге генератора паре.

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да истраживање у оквиру докторске дисертације доведе до следећих научних доприноса:

- формулисање аналитичких релација између димензија хоризонталног генератора паре, чије су димензије умањене (скалиране) у односу на конструктивне димензије у

практи потврђеног решења генератора паре велике снаге, и запреминске густине снаге у топлотно-размењивачком цевном снопу, као и укупне топлотне снаге;

- развој моделског приступа и компјутерског програма за симулације и анализе термохидрауличких процеса у хоризонталним генераторима паре у циљу одређивања максималне топлотне снаге, а која обезбеђује сигуран и поуздан рад са становишта термичке и хидрауличке сигурности и поузданости.

Примена формулисаних аналитичких релација и моделског приступа симулације и анализе термохидрауличких процеса ће омогућити одређивање максималне снаге генератора паре умањених димензија, при којој се обезбеђује сигуран и поуздан рад са становишта термичке сигурности, то јест без засушења цевног снопа на секундарној страни генератора паре, као и без повећаног одношења влаге са струјом паре из генератора паре.

6. План истраживања и структура рада

План истраживања обухвата: а) примену физичких и математичких модела једнофазног и двофазног струјања воде и водене паре у сложеној геометрији хоризонталног генератора паре, б) примену поступка нумеричког решавања парцијалних диференцијалних једначина којима се описују једнофазно и двофазно струјање течне и парне фазе и развој одговарајућег компјутерског програма, в) спровођење нумеричких експеримената и верификација модела поређењем добијених резултата са расположивим експерименталним резултатима из литературе, г) анализу резултата нумеричких симулација термохидрауличких процеса у генераторима паре, д) развој аналитичких релација између димензија генератора паре и параметара термохидрауличких процеса, и ђ) публикавање добијених резултата.

Структура рада се састоји од:

1. Приказ конструкције и термохидрауличких процеса хоризонталног генератора паре у нуклеарној електрани са вреловодним реактором типа ВВЕР;
2. Преглед савремених истраживања у циљу димензионисања и скалирања генератора паре који се користе у нуклеарним електранама;
3. Развој физичких и математичких модела термохидрауличких процеса у хоризонталном генератору паре;
4. Развој нумеричког поступка решавања модела;
5. Спровођење нумеричких експеримената;
6. Валидација резултата нумеричких симулација.
7. Скалирање хоризонталног генератора паре у односу на референтну геометрију генератора паре који се користи у нуклеарним електранама типа ВВЕР-1000;
8. Развој аналитичких зависности између димензија генератора паре и термичке снаге, односно густине снаге у снопу топлотно-размењивачких цеви;
9. Закључак о оствареном научном доприносу докторске тезе.

7. Закључак и предлог

Очекивани резултати предложене докторске дисертације су од научног значаја за развој метода за димензионисање хоризонталних генератора паре који су примењиви у нуклеарним електранама са малим модуларним реакторима и нуклеарним реакторима средње снаге. Кандидат, који је студент докторских академских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду, испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању и Статутом Машинског факултета Универзитета у Београду и има научноистраживачке способности за рад на предметној докторској дисертацији.

На основу изложеног Комисија сматра да поднета пријава испуњава све услове прописане законом и критеријумима овог Факултета, тако да предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату **Милошу Лазаревићу, маг. инж. маш.** одобри израду докторске дисертације под називом:

„Термохидраулика хоризонталног генератора паре за вреловодне нуклеарне реакторе мање снаге”.

Тема предложене докторске дисертације припада области техничких наука – машинство, а ужа научна област је термоенергетика. За ментора ове докторске дисертације предлаже се др Владимир Стевановић, редовни професор на Машинском факултету Универзитета у Београду.

У Београду,
16.03.2026. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Сања Миливојевић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Владимир Стевановић, редовни професор, ментор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Дарко Раденковић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Милан Петровић, научни сарадник
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Милица Илић, виши научни сарадник
Институт за нуклеарне науке Винча