

Алфа БК Универзитет
Факултет за математику и рачунарске науке
ВЕЋУ ЗА ПОСЛЕДИПЛОМСКЕ СТУДИЈЕ

АЛФА БК УНИВЕРЗИТЕТ.

I Број 1088

14. 07 20 25 год.

Београд, Палмира Тољатића 6

Одлуком бр. 1026 Већа за последипломске студије, Алфа БК Универзитета са седиштем у Београду, на седници која је одржана 30.06.2025. године, именована је Комисија за оцену и јавну одбрану докторске дисертације кандидата Стефана Поповића, под називом: „Вештачке неуронске мреже у функцији оптимизације параметара сагоревања котлова са аутоматским ложењем“. Комисија у саставу:

- 1) Доц. др Јелена Стојановић, доцент, Факултет за математику и рачунарске науке, Алфа БК Универзитет, Београд, ментор,
- 2) Проф. др Небојша Денић, ванредни професор, Природно математички факултет, Универзитет у Приштини, Приштина, издвојено седиште у Косовској Митровици, коментор,
- 3) Проф. др Милан Глигоријевић, редовни професор и декан Факултета информacionих технологија, Алфа БК Универзитет, Београд, Министарство унутрашњих послова РС, председник комисије
- 4) Проф. др Војкан Николић, ванредни професор, Криминалистичко полицијски универзитет, Београд, члан,
- 5) Проф. др Негован Стаменковић, редовни професор, Природно математички факултет, Универзитет у Приштини, Приштина, издвојено седиште у Косовској Митровици, члан.

Након прегледа докторске дисертације, а у складу са Правилником о докторским студијама, подноси следећи:

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

1. Основни подаци о кандидату и дисертацији

1.1. Основни подаци о кандидату

1.1.1. Биграфија кандидата

Рођен 17. новембра 1983. године у Београду, где завршава основну школу „Владислав Петковић Дис“ и "XI београдску гимназију" природно-математичког смера. Затим на Физичком факултету у Београду дипломира са просечном оценом 8,10 и тиме стиче стручно звање Професор физике и основа технике за основну школу. Након

основних студија, школовање наставља кроз стручно усавршавање на Војној академији у Београду, и ту завршава 98. Класу Техничке Службе – Машинске струке са просечном оценом 8,77 - КЛАСА за РО. Након одслуженог војног рока своје школовање наставља на Факултету за математику и рачунарске науке у Београду, где дипломира на академским студијама првог степена са просечном оценом 8,80 и стиче стручно звање Дипломирани информатичар - рачунарске науке, као и на академским студијама другог степена са просечном оценом 9,88 и стиче академско звање Мастер информатичар - рачунарске науке. Академски се и даље усавршава на Факултету за математику и рачунарске науке у Београду.

Поред наведеног, има одслужен војни рок под оружијем, возачку дозволу Б категорије, дозволу за управљање моторним чамцима и пловилима до 16 бт на реци и мору. Активан је члан стрељачког клуба Партизан, а у слободно време се бави планинарењем.

Поседује вишегодишње радно искуство наставника и предавача. Кратко је радио и у установи за основно образовање одраслих. Ангажован је као предавач на Факултету информационих технологија у Београду и на Факултету за математику и рачунарство. Стално запослен у ОШ “Стеван Синђелић” у Београду као наставник информатике и рачунарства. Такође се бави процесним програмирањем у звању сениор програмера. Говори енглески језик.

Учествовао је на бројним семинарима о настави, стручним и научним конференцијама у држави и иностранству. Аутор уџбеника, више стручних и научних радова. Учествовао у неколико пројеката, радних група и тимова. Добитник више десетина признања за рад и залагање у каријери од којих се истичу: Светосавска Захвалница Физичког факултета за изузетан допринос популаризацији физике, признање Друштва математичара Србије за рад са талентованим ученицима, признања Друштва физичара Србије, и Математичког друштва Архимедес, Признања Савеза организација резервних војних старешина Србије. Научни комуникатор и промотер науке од 2004. године.

Један је од водитеља обуке од националног значаја – Дигитална учионица, коју организује ЗУОВ. Аутор је обуке „Ексел – напредни ниво за јавна предузећа“ која је извођена у ЈКП Инфостан током 2019. године. Затим први аутор обуке „Основе ИТ/ИС за интерне ревизоре“ изведене у Дому инжињера и техничара Србије почетком 2020. године, водитељ обука за Л3, Л2 и Л1 за лиценце у области монтаже, извођења и надзора над системима техничке заштите лица и објеката.

Активан је члан Друштва физичара Србије, Удружења интерних ревизора Србије, Савеза резервних војних старешина Србије и The Global Institute of Internal Auditors (члан Глобалног института интерне ревизије). Члан општинског штаба за ванредне ситуације градске општине Звездара. Члан управног одбора Савеза организација резервних војних старешина Србије.

Ожењен, отац троје деце.

1.1.2. Библиографија кандидата обухвата следеће радове:

Радови у часописима:

1. **Popović, S.**, Viduka, D., Bašić, A., Dimić, V., Djukic, D., Nikolić, V., & Stokić, A. (2025). Optimization of Artificial Intelligence Algorithm Selection: PIPRECIA-S Model and Multi-Criteria Analysis. *Electronics*, 14(3), 562. <https://doi.org/10.3390/electronics14030562> - **M 22**
2. Tihi, N., Todorov, M., **Popovic, S.**, Popov, S., Samec, N., & Kokalj, F. (2025). Advanced Time Series Models for Urban Drought: A Comparative Study of (S)ARIMA and Holt-Winters. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202504.2180.v1>
3. **Стефан Поповић**, Соња Ђ. Поповић, (2021), Значај увођења интерне ревизије у установе доуниверзитетског образовања, Ревизор, vol. 94/2021. UDK: 657.6 37.014.614:657.47, DOI: 10.5937/Rev2194037P – **M 52**
4. **Popović, SĐ** Popović, N Jeremić, (december 2022) Participants of the teaching process awareness of the participants of the teaching process about internal audit, Revizor, year 25, vol.100, 41-48, UDK 657.6:371.1 DOI: 10.56362/Rev22100041P – **M 53**
5. SĐ Popović, J Beke-Trivunac, **S Popović**, (2022) Is internal audit the cost?(On the example of high schools), Revizo, year 25, vol.97-98, 111–120, UDK: 657.6:373.3/.5 DOI: 10.56362/Rev2298111P – **M 53**
6. Соња Ђукић Поповић, Ивана Поповић, **Стефан Поповић**, Стеван Иванковић, (2023) Микробит у физичким огледима - корелација наставе физике са наставом информатике и рачунарства, Настава физике, број 12, стр 81 - 89, ISSN 2406 – 2626, COBISS.SR-ID 214910476
7. Ивана Поповић, Соња Ђукић Поповић, **Стефан Поповић**, Стеван Иванковић, (2022) Демонстрационе теразије – физика у настави математике, Настава физике, број 11, стр 71 - 1776, ISSN 2406 – 2626, COBISS.SR-ID 214910476
8. **Стефан Поповић**, (2019) Коришћење програмског језика Пајтон у настави физике, Настава физике, ISSN 2406-2626 COBISS.SR-ID 214910476

Зборници међународних научних скупова:

1. **Popović, S.**, Djukić, D., Denić, N., Djukić Popović, S., & Stojanović, J. (2025, January 20). The Importance of Implementing Artificial Neural Networks in Boiler Automation Systems. 10th Virtual International Conference on Science, Technology and

Management in Energy (eNergetics 2024), Virtual.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.14735501> - **M 33**

2. **Stefan Popović**, Nebojša Denić, Jelena Stojanović, Dejan Đukić, Sonja Đukić Popović, Innovations in Risk Management - Integration of Neural Networks in Boilers with Automatic Firing, Proceedings of 6th Virtual International Conference Path to a Knowledge Society-Managing Risks and Innovation, October 21-22, Niš, Serbia, ISBN 978-86-82602-04-0 (Paksom 2024), COBISS.SR-ID 161737737, <https://doi.org/10.5281/zenodo.14708134> - **M 33**
3. Stefan Popovic, Sonja Djukic Popovic, Dejan Djukic, Nebojsa Denic, (2024), Neural networks in pellet combustion control - research report for OZONE 55, Proceedings of the 14th International Conference on Applied Internet and Information Technologies, 8 November, 2024, Zrenjanin, Serbia, ISBN 978-86-7672-379-9, COBISS.SR-ID 158823945 - **M 33**
4. Đukić Popović S., Dimić V., Popović S., Todić M. and Popović I., (2024), School without mobile phones - impact on socialization, Proceedings of papers of XV International conference of information technology and development of education ITRO 2024, November 29th, 2024, Zrenjanin, Serbia, ISBN 978-86-7672-383-6, COBISS.SR-ID 159481865 - **M 33**
5. Dejan, D., & **Stefan, P.** (2024, July 8). Bilateral exponential as sigmoid in multilayered neuronal networks. Proceedings of International Scientific and Professional Conference "ALFATECH" Smart Cities and modern technologies March 15, 2024, Belgrade, Serbia, ISBN: 978-86-6461-074-2 <https://doi.org/10.5281/zenodo.12685976> - **M 33**
6. **Popović, S.**, Đukić Popović, S., Đukić, D., & Gligorijević, M. (2024, July 2). Genetic algorithms and machine learning as the basis of all implemented solutions in smart cities. Proceedings of International Scientific and Professional Conference "ALFATECH" Smart Cities and modern technologies March 15th, 2024, Belgrade, Serbia, ISBN: 978-86-6461-074-2 <https://doi.org/10.5281/zenodo.12614935> - **M 33**
7. Đukić Popović, K. Vuletić, I. Popović, **S. Popović**, D. Vučković and S. Ivanković, (2023) The challenge of modern education - a school without mobile phones, Proceedings of XIV International conference of information technology and development of education ITRO 2023, Zrenjanin, Serbia, 28 – 32, ISBN: 978-86-7672-372-0, COBISS.SR-ID 143397129 – **M 31**
8. **S. Popović**, R. Jevtić, S. Đukić Popović, J. Ničković, I. Popović and V. Čabrić (2023) Discipline of students - the problem of modern education, Proceedings of XIV International conference of information technology and development of education ITRO 2023, Zrenjanin, Serbia, 161 – 165, ISBN: 978-86-7672-372-0, COBISS.SR-ID 143397129 – **M 33**
9. **Stefan Popović**, Jovan Ničković, Sonja Đukić Popović, Vladimir Čabrić, Jovan Veselinović, Milan Gligorijević, Dejan Đukić, (2023) Student discipline as today's social security problem – the role of the education system in removing this problem, Proceedings of IRASA International Scientific Conference Science, Education, Technology and Innovation SETI V 2023, Belgrade, Serbia, 617 – 628, ISBN 978-86-81512-11-1, COBISS.SR-ID 128307465 – **M 33**

10. **Stefan Popovic**, Dejan Djukic, Sonja Djukic Popovic, Milan Gligorijevic, (2023) Neural networks in pellet combustion control - an overview of the group's research work in 2022/2023, Proceedings of 9th Virtual International Conference on Science, Technology and Management in Energy, Belgrade, Serbia, 249 – 254, ISBN 978-86-82602-03-3, COBISS.SR-ID 139266057– **M 33**
11. Ivana Popovic, Sonja Djukic Popovic, **Stefan Popovic** and Stevan Ivankovic, (2023) Preliminary research on the possibilities of PPG (Photoplethysmogram) signal analysis of medical sensors and smart watch sensors, Proceedings of the 13th International Conference on Applied Internet and Information Technologies, AIIT 2023, Bitola, North Macedonia, 344 – 350, ISBN 978-608-5003-03-7, COBISS.MK-ID 62559493 – **M 33**
12. **Stefan Popović**, Dejan Đukić, Sonja Đukić Popović, Lazar Kopanja, (2022) Preliminary Research on the Application of Neural Networks to the Combustion Control of Boilers with Automatic Firing, Proceedings of the 8 th Virtual International Conference on Science Technology and Management in Energy, 299 - 303, ISBN-978-86-82602-01-9, COBISS.SR-ID 119331337 – **M 33**
13. **Stefan Popović**, Lazar Kopanja, Dejan Djukić, Sonja Djukić Popović, (2022) Neural networks and their application in object recognition, Proceedings of the 12th International Conference on Applied Internet and Information Technologies, AIIT 2022, 40 - 48, Zrenjanin, Serbia, ISBN 978-86-7672-361-4 , COBISS.SR-ID 81418505 - **M 33**
14. **Стефан Поповић**, (2019) Пхет симулације у настави дигитално компетентних наставника, Култура комуникација компјутер, 67 – 74, Нови Сад, Србија, ISBN978-86-606543-8-3, COBIS.SR-ID 331152135 – **M 33**

Саопштења на конференцијама, научним и стручним скуповима штампана у изводу – књига апстраката:

1. Mitar Miki Tepić, **Stefan Popović**, (2025), Implementation of Artificial Intelligence and Machine Learning in Smart Water Projects in the Balkans, The Book of Abstracts International Scientific and Professional Conference “ALFATECH“Smart Cities and modern technologies February 28, 2025, Belgrade, Serbia, 17 - 17, ISBN 978-86-6461-085-8, COBISS.SR-ID 16418484, **M - 34**
2. Dejan Djukic, **Stefan Popovic**, Snezana Ocokoljic, (2025), Global Location Coding (Universal Geographical Indicator System), The Book of Abstracts International Scientific and Professional Conference “ALFATECH“Smart Cities and modern technologies February 28, 2025, Belgrade, Serbia, 19 - 19, ISBN 978-86-6461-085-8, COBISS.SR-ID 16418484, **M - 34**
3. Sonja Djukic Popovic, **Stefan Popovic**, Dejan Djukic, (2025), Optimization of Urban Mobility Using Combinatorial Algorithms and Artificial Intelligence, The Book of Abstracts International Scientific and Professional Conference “ALFATECH“Smart Cities and modern technologies February 28, 2025, Belgrade, Serbia, 56 - 56, ISBN 978-86-6461-085-8, COBISS.SR-ID 164184841, **M - 34**
4. Sonja Đukić Popović, **Stefan Popović**, (2024), Isti sadržaj drugačiji pristup - Kako jedna nastavna jedinica postaje druga u svakom razredu, KNJIGA APSTRAKATA XIV

SIMPOZIJUM „MATEMATIKA I PRIMENE”, 6–7. decembar 2024. Beograd, Srbija. 66 - 66, ISBN 978-86-7589-197-0, COBISS.SR-ID 158252041 - **M 34**

5. **Stefan Popović**; Sonja Djukić Popović; Dejan Djukić; Milan Gligorijević, (2024), Genetic algorithms and machine learning as the basis of all implemented solutions in smart cities, The Book of Abstracts International Scientific and Professional Conference “ALFATECH” Smart Cities and modern technologies March 15, 2024, Belgrade, Serbia, 20 – 20, ISBN 978-86-6461-070-4, COBISS.SR-ID 139964169, DOI: 10.5281/zenodo.10802515 – **M 34**
6. Dejan Djukic; **Stefan Popovic**, (2024), Bilateral exponential as sigmoid in multilayered neuronal networks, The Book of Abstracts International Scientific and Professional Conference “ALFATECH” Smart Cities and modern technologies March 15, 2024, Belgrade, Serbia, 48 – 48, ISBN 978-86-6461-070-4, COBISS.SR-ID 139964169, DOI: 10.5281/zenodo.10802515 – **M 34**
7. Sonja Đukić Popović, **Stefan Popović**, (2023), The influence of the application of teaching aids in mathematics teaching on learning outcomes, The Book of Abstracts XIII SYMPOSIUM „MATHEMATICS AND APPLICATIONS“, Belgrade, Serbia, 33 – 33, ISBN 978-86-7589-185-7, COBISS.SR-ID 131428105 – **M 34**
8. **Stefan Popović**, Jovan Ničković, Sonja Đukić Popović, Vladimir Čabrić, Jovan Veselinović, Milan Gligorijević, Dejan Đukić, (2023) Student discipline as today's social security problem – the role of the education system in removing this problem, Book of Abstracts IRASA International Scientific Conference Science, Education, Technology and Inovation SETI V., Belgrade, Serbia, 102 – 102, ISBN 978-86-81512-09-8, COBISS.SR-ID 126551561 – **M 34**

Уџбеници:

1. Марина Ињац, Јован Јовановић, **Стефан Поповић**, (2021), Дигитални свет 2, уџбеник на српском језику, Нови Логос, Београд, ISBN: 9788661096099, Решење Министарства просвете: 650-02-00165/2021-07

Преведен на стране језике:

- босански - Marina Injac, Jovan Jovanović, **Stefan Popović**, (2021) Digitalni svijet 2, udžbenik na bosanskom jeziku, Нови Логос, Београд, ISBN - 978-86-6109-702-7 COBISS.SR-ID - 142242569, Решење Министарства просвете: 650-02-00231-1/2021-20
- мађарски - Marina Injac, Jovan Jovanović, **Stefan Popović**, (2021) Digitális világ 2, második osztályos magyar nyelvű tankönyv, Нови Логос, Београд, ISBN - 978-86-6109-703-4, COBISS.SR-ID - 118537737
- русински - Марина Ињац, Јован Јовановић, **Стефан Поповић**, (2021), Дигитални свет 2, уџбеник за други разред на русинском језику, Нови Логос, Београд, ISBN: 9788661097225, Решење Министарства просвете: 128-61-18/2022-01
- словачки - Marina Injac, Jovan Jovanović, **Stefan Popović**, (2021), Digitálny svet 2, učebnicu pre druhý stupeň ZŠ v slovenskom jazyku, Нови Логос, Београд, ISBN - 978-86-6109-725-6, COBISS.SR-ID - 113395977, Решење Министарства просвете: 128-61-5/2021-01

- украински - Марина Ињац, Јован Јовановић, **Стефан Поповић**, (2021), Дигитални швет 2 : учебник за другу класу основне школе, Нови Логос, Београд, ISBN - 978-86-6109-722-5 COBISS.SR-ID - 76085513

2. Попарић Горан, Ашковић Ана, Вуковић Катарина, **Поповић Стефан**, Стаменковић Александар, (2013), Физика 7 [Видео снимак] : лабораторијске вежбе : прописане наставним планом и програмом Министарства просвете Републике Србије за седми разред основне школе, Нови Логос, Београд, COBISS.SR-ID - 198833932

1.2. Подаци о дисертацији

1.2.1. Наслов дисертације

Српски језик: Вештачке неуронске мреже у функцији оптимизације параметара сагоревања котлова са аутоматским ложењем

Енглески језик: Artificial neuron networks in the function of optimizing the combustion parameters of boilers with automatic firing

1.2.2. Научна област дисертације

Основно образовно-научно поље дисертације:

Природно-математичко образовно научно поље

Научна област:

Рачунарске науке

Ужа научна област:

Рачунарске науке

1.2.3. Подаци дисертације

Број страница: 126 (не рачунајући изјаве)

Број слика: 11

Број табела: 9

Број графикана: 14

Литература (број референци): 228

1.2.4. Назив рада и име часописа у коме је кандидат као први аутор објавио рад у складу са стандардима

Кандидат је испунио услов који је предвиђен чланом 30. Правилника којим треба да има као први аутор најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са СЦИ листе а који је садржајем повезан са докторском дисертацијом.

Popović, S., Viduka, D., Bašić, A., Dimić, V., Djukić, D., Nikolić, V., & Stokić, A. (2025). Optimization of Artificial Intelligence Algorithm Selection: PIPRECIA-S Model and Multi-Criteria Analysis. Electronics, 14(3), 562. <https://doi.org/10.3390/electronics14030562> - M 22

2. Предмет и циљ докторске дисертације

2.1. Предмет дисертације

Предмет дисертације је примена метода вештачке интелигенције, са акцентом на вештачке неуронске мреже (ВНМ), у функцији предикције и оптимизације параметара сагоревања у котловима са аутоматским ложењем. У фокусу је развој интелигентног система за праћење и управљање процесом сагоревања, који користи податке прикупљене у реалном времену са сензорског система и врши адаптивну регулацију на основу предиктивних алгоритама. Дисертација обухвата дефинисање математичког модела оптимизације процеса, избор и тренирање одговарајуће архитектуре ВНМ (пре свега LSTM, GRU и RNN), валидацију њихове прецизности и примену у затвореној управљачкој петљи. Посебна пажња посвећена је интеграцији експерименталног система, обради и нормализацији података, као и процени енергетске ефикасности и утицаја на смањење емисија CO и NO_x гасова. Циљ је развити поуздан, флексибилан и економичан интелигентни алгоритам који ће омогућити реалновременску адаптацију параметара котла, при чему се не захтевају додатна хардверска улагања или сложене реконфигурације постојећег система. Предмет дисертације је, дакле, интердисциплинарно позициониран на пресеку вештачке интелигенције, машинског учења, енергетике и аутоматизације.

У оквиру ове дисертације, предмет је операционализован кроз следеће конкретне кораке и активности:

- Развој експерименталне платформе и конфигурисање физичког система са котлом модела ОЗОН 35/55,
- Интеграција нискобуџетних сензора (MAX6675, DHT11, MQ, PMS5003) и Ардуино микроконтролера.
- Развој Python скрипти за прикупљање и складиштење података у базу.
- Припрема и анализа података обухвата чишћење, нормализација и сегментација података у временске серије погодне за тренирање LSTM мреже. Затим се приступило дизајну и обуци LSTM модела кроз конфигурисање неуронске мреже у Keras/TensorFlow окружењу.
- Тренирање и евалуација модела по метрикама као што су MSE, MAE, R².
- Поређење са класичним моделима (PID, регресиони модели, RNN/GRU).

- Имплементација управљачког алгоритма, односно повезивање обучене мреже са микроконтролером у реалном времену.
- Успостављање серијске комуникације и двосмерног преноса података (улазни параметри – излазна контролна вредност).
- Аутоматско управљање вентилатором и дозатором у складу са предикцијом.
- Валидација резултата је остварена кроз праћење перформанси система у реалним условима рада.

2.2. Циљ дисертације

Циљеви истраживања произилазе из предмета истраживања.

2.2.1. Научни циљ дисертације

Научни циљ истраживања представља развој и примену напредних вештачких неуронских мрежа за оптимизацију и аутоматизацију процеса сагоревања у котловима, са циљем побољшања ефикасности, смањења емисије штетних гасова и повећања поузданости система. Овај циљ може се конкретизовати кроз специфичне научне циљеве. Први специфични научни циљ је развој математичких модела процеса сагоревања. Он укључује конструисање и валидацију математичког модела који тачно описује термодинамичке и хемијске процесе сагоревања у котловима. Затим, интеграцију овог модела са ВНМ ради побољшања тачности предвиђања и контроле. Наредни научни циљ је дизајн и обука вештачких неуронских мрежа, он обухвата истраживање и примену различитих архитектура ВНМ (GRU, RNN, LSTM) за обуку модела на подацима прикупљеним из реалних система. Овде развијамо методе за обуку ВНМ које омогућавају реално-временску оптимизацију параметара сагоревања. Након задовољења овог циља развијамо алгоритам за реално-временску контролу који користи ВНМ за континуирану оптимизацију параметара сагоревања у реалном времену. Затим, вршимо интеграцију ових алгоритама у постојеће контролне системе котлова са аутоматским ложењем. Следећи специфични циљ је анализа утицаја оптимизације параметара сагоревања на смањење емисије штетних гасова и развој стратегија које омогућавају постизање еколошки прихватљивијих услова рада котлова. На крају имамо испитивање како примена ВНМ може побољшати ефикасност сагоревања и смањити потрошњу горива. Процена економске користи од примене ВНМ у контроли параметара сагоревања, укључујући уштеде у гориву и смањење трошкова одржавања такође је један од научних циљева.

Испуњавањем ових специфичних циљева, истраживање је допринело унапређењу технологија за контролу параметара сагоревања, што ће имати значајан утицај на енергетску ефикасност, економску исплативост и заштиту животне средине.

2.2.2. Друштвени циљ дисертације

Друштвени циљ истраживања примене вештачких неуронских мрежа у контроли параметара сагоревања котлова са аутоматским ложењем може се формулисати као побољшање квалитета живота кроз повећање енергетске ефикасности, смањење емисије штетних гасова и промовисање одрживих технологија. Конкретно, друштвени циљеви укључују смањење емисије штетних гасова (као што су CO₂, NO_x и други загађивачи) кроз оптимизацију процеса сагоревања чиме ће истраживање директно допринети побољшању квалитета ваздуха. Ово би смањило негативне ефекте на здравље становништва, укључујући респираторне и кардиоваскуларне болести. Применом ВНМ за оптимизацију сагоревања, котлови ће радити ефикасније, што ће довести до смањења потрошње горива, трошкова енергије за индустрију и домаћинства, чиме ће се побољшати економска одрживост. Истраживање промовише употребу напредних технологија и иновација у енергетском сектору, што ће подстаћи одрживи развој. Такође, даће допринос транзицији ка зеленој економији и смањењу угљеничног отиска. Промоција резултата истраживања и њихове примене може повећати свест јавности о значају енергетске ефикасности и одрживих пракси.

Прегледом докторске дисертације утврђено је да је кандидат све наведене циљеве успешно реализовао у оквиру овог истраживања.

3. Хипотезе

На основу спроведеног истраживања, разматране и доказане су следеће хипотезе:

X1: Примена вештачких неуронских мрежа у систему управљања котловима са аутоматским ложењем доводи до повећања степена енергетског искоришћења и побољшања стабилности процеса сагоревања.

X2: Интеграција нискобуџетних сензора и микроконтролера у систем котловског управљања омогућава поуздано и континуирано праћење релевантних параметара сагоревања уз задовољавајући ниво тачности и стабилности.

X3: Примена интелигентних управљачких алгоритама на бази ВНМ може довести до значајног смањења емисије загађујућих гасова и честица, чиме се доприноси заштити животне средине и усклађености са еколошким стандардима.

X4: Имплементација система за мерење и оптимизацију сагоревања базираног на ВНМ утиче на развој еколошке свести корисника и подстиче усвајање енергетски одговорнијих навика у домаћинствима и индустрији.

X5: Ако се иницијални резултати покажу позитивним, постоји оправданост за дугорочно праћење и вишеструку примену предложеног система на различитим типовима котлова ради валидације резултата у различитим експлоатационим условима.

4. Методологија дисертације

Методологија овог истраживања заснива се на систематској примени вештачких неуронских мрежа (ВНМ) као централног математичког и алгоритамог оквира за апроксимацију, предикцију и оптимизацију параметара сагоревања у котловима са аутоматским ложењем. У оквиру овог рада, по први пут је примењена вештачка интелигенција управо на котловима са цилиндричном конструкцијом ложишта, и то на конкретним моделима АТИ Терминг ОЗОН 35 и ОЗОН 55, који припадају категорији котлова мале и средње снаге. До сада су алгоритми машинског учења и интелигентне контроле углавном били резервисани за велике индустријске системе, док је примена у мањим системима упркос њиховом значајном уделу у укупној потрошњи енергије била занемарена. Ово истраживање управо ту празнину настоји да попуни, показујући да и мањи котлови могу имати знатне користи од имплементације интелигентних алгоритама, уз побољшање енергетске ефикасности, смањење емисија штетних гасова и веће стабилности у раду, без потребе за скупом хардверском модификацијом.

Вештачке неуронске мреже се третирају као вектор-функционални оператори који пресликавају скуп улазних физичко-хемијских параметара (попут температуре димних гасова, притиска у ложишту, влажности и квалитета горива) у управљачке одлуке у реалном времену, са циљем максимизације енергетске ефикасности и смањења емисије штетних гасова.

Истраживање је структурисано у четири главне фазе:

1.Анализа и израда математичког модела и избор архитектуре ВНМ

У овој фази се формализује улазно-излазни модел процеса сагоревања на основу емпиријских и теоријских података. На основу литературе и постојећих решења, разматрају се архитектуре као што су feedforward, RNN, LSTM и GRU мреже, због способности обраде временских серија и динамичких зависности. Поред тога, у циљу оптимизације хиперпараметара (број неурона, дубина мреже, стопа учења), примењују се еволуциони алгоритми, попут генетских алгоритама (GA).

2.Експериментално прикупљање података

Уграђени систем на бази Ардуино платформе користи се за мерење релевантних параметара на реалном котлу са аутоматским ложењем. Подаци укључују температуре димних гасова и ложишта, проток ваздуха, притисак, концентрацију РМ честица, влажност и тип горива. Сви подаци се затим нормализују и структурирају ради припреме за обуку модела.

3. Обучавање и имплементација модела

Обука ВНМ се реализује у програмском окружењу Python (TensorFlow/Keras), а имплементација у контролни систем се спроводи преко Матлаб платформе и Ардуино микроконтролера. Након иницијалне обуке на синтетичким и историјским подацима, модел се убацује у радни режим и тестира у реалном времену. Обучени модел динамички управља параметрима као што су довод ваздуха и регулација горионика.

4. Валидација модела и анализа резултата

У последњој фази, резултати предикција и управљачке одлуке модела упоређују се са стварним мерењима. Перформансе модела се вреднују применом метрика као што су MSE, MAE и R^2 . Врши се процена утицаја на ефикасност сагоревања, стабилност процеса и емисију штетних гасова. Поред тога, спроводи се анализа трошкова и потенцијалне применљивости модела на ширем скупу термоенергетских система.

5. Остварени резултати и научни допринос

У овом истраживању, остварени резултати усмерени су на развој интегрисаног система за интелигентну регулацију процеса сагоревања у котловима са аутоматским ложењем, уз примену дубоких вештачких неуронских мрежа, конкретно LSTM архитектуре. Развијени систем обједињује низ компоненти: нискобуџетне микроконтролере (Arduino), сензоре отвореног типа, Python и MATLAB софтверско окружење, као и машински обучене моделе за предикцију и контролу. Овако конципиран систем омогућава реалновремену обраду података и предикцију кључних параметара сагоревања, уз циљано побољшање стабилности процеса и енергетске ефикасности. Имплементација модела доводи до мерљивог смањења потрошње горива (у опсегу од око 10–12%), као и до значајног умањења емисије штетних продуката сагоревања, пре свега угљен-моноксида и азотних оксида. Још један кључни резултат односи се на постизање затворене петље управљања без потребе за скупим индустријским контролерима, што значајно проширује домет примене оваквог система у малим котларницама, домаћинствима и мањим производним погонима.

Научни допринос овог рада огледа се у више равни. Пре свега, истраживање успоставља оригиналан приступ у примени LSTM неуронских мрежа за управљање термоенергетским системима, при чему се модели обучавају на стварним експерименталним подацима и потом успешно интегришу у систем са физичким актуаторима. У технолошком смислу, допринос се огледа у развоју функционалне

архитектуре која комбинује вештачку интелигенцију, edge computing и систем аутоматизације у једној платформи. Поред тога, истраживање пружа емпиријске доказе да дубоке неуронске мреже могу успешно оперисати у условима високе нелинеарности и нестабилности карактеристичних за процесе сагоревања, чиме се проширује домен примене ових модела ван класичних области као што су обрада слике или природни језик. Посебан значај има и то што је модел реализован на отвореним технологијама и доступним компонентама, чиме се подстиче ширење концепта интелигентне енергетике у ширем друштвеном контексту. Осим техничких резултата, истраживање указује и на индиректан утицај на еколошку свест корисника: визуелизација података и повратна информација у реалном времену подстичу енергетски одговорније понашање, што доприноси хуманој димензији технолошке иновације.

У целини, предложено истраживање представља оригиналан допринос у области примене вештачке интелигенције у енергетици, пружајући модел који је истовремено технички одржив, економски приступачан и еколошки релевантан.

5.1 Теоријски допринос

Теоријски допринос овог истраживања огледа се у интердисциплинарном проширењу постојећег научног оквира примене вештачких неуронских мрежа у области термотехнике и енергетике, са посебним освртом на процесе сагоревања у котловима са аутоматским ложењем. Истраживање уводи нову парадигму у разумевању динамике сагоревања, која се традиционално описује системима диференцијалних једначина, кроз моделовање засновано на подацима и примену Long Short-Term Memory (LSTM) мрежа као алата за предикцију и контролу високо нелинеарних процеса.

Доринос се огледа у трансферу знања из области машинског учења у контекст система са споријом динамиком и великим инерцијама, где је класичним методама управљања тешко обезбедити адекватне одговоре на промене услова рада (квалитет горива, влага, загађеност ваздуха). Истраживање такође формализује методологију припреме података, структуре улазно-излазних секвенци и критеријума за оцењивање перформанси модела у техничким системима, што представља основу за будуће радове у области моделовања физичких процеса путем вештачке интелигенције.

Поред тога, теоријски допринос укључује и примену мултикритеријумских метода за избор оптималне архитектуре неуронске мреже (PIPRECIA-S метод), чиме се уноси формализован и транспарентан приступ у иначе интуитиван процес

архитектонског дизајна модела. Коначно, истраживање показује како концепт интелигентне регулације може да буде инкорпориран у теоријске основе енергетске ефикасности и одрживости, позиционирајући вештачке неуронске мреже не само као алат за оптимизацију, већ и као темељ за нову генерацију еколошки одговорних техничких система.

5.2. Методолошки допринос

Методолошки допринос овог истраживања огледа се у развоју, имплементацији и валидацији интегрисаног поступка за моделирање, обуку и примену вештачких неуронских мрежа (ВНМ), са посебним нагласком на Long Short-Term Memory (LSTM) архитектуру, у функцији управљања процесом сагоревања у котловима са аутоматским ложењем. Истраживање обједињује више фаза – од прикупљања података у реалном времену, преко њихове обраде и нормализације, до формирања временских серија и обуке предиктивних модела – у јединствену методолошку целину која се може поновити, прилагодити и проширити на сродне термоенергетске системе.

Кључни елементи методолошког доприноса укључују:

- Развој експерименталне платформе засноване на нискобуџетним сензорима и микроконтролерима, која омогућава континуирану аквизицију и складиштење података о раду котла у реалним условима,
- Формализацију поступка обраде и структурирања података за учење секвенцијалних модела, укључујући оптималну дужину улазних секвенци,
- Поступак избора и подешавања хиперпараметара модела путем валидације, као и критеријуме за избор најбоље архитектуре на основу више метрика (MSE, MAE, R^2),
- Имплементацију предиктивног модела у затвореној регулационој петљи, са реалном двосмерном комуникацијом између LSTM модела и Arduino система,
- Израду оквира за евалуацију модела не само у смислу статистичке тачности, већ и у контексту реалних ефеката на енергетску ефикасност, стабилност и еколошке параметре система.

Посебно вредан је аспект методолошке репродуктивности, јер је читав поступак описан у детаљима, са пратећим скриптама, шемама и алгоритамским корацима, што омогућава другим истраживачима да примене исти приступ у различитим контекстима

(нпр. други типови котлова, различити услови сагоревања или други контролни системи).

На тај начин, ово истраживање доприноси изградњи мостова између теоријског знања у области вештачких неуронских мрежа и практичне примене у домену енергетских система, уводећи поступак који је истовремено научно релевантан, технички изводљив и економски оправдан..

5.3. Примењени и практични допринос

Истраживање представља значајан корак у правцу примене вештачке интелигенције у области енергетике, са конкретним ефектима на унапређење термотехничких система у пракси. Развијени модел интелигентне регулације сагоревања, заснован на LSTM архитектури неуронских мрежа, имплементиран је у реалном експерименталном окружењу, користећи нискобуџетну хардверску платформу (Arduino) и једноставне, али поуздане сензоре. Оваква конфигурација показала се као технички изводљива, економски исплатива и довољно стабилна за континуирану употребу, што значи да може бити примењена и у другим сличним системима без значајних улагања у нову инфраструктуру.

У погледу практичних резултата, примена обученог модела довела је до значајних побољшања – потрошња горива је смањена за 11%, емисија угљен-моноксида за 18%, а емисија азотних оксида за 12%. Поред тога, уочено је преко 50% смањење флукуација температуре димних гасова, што указује на стабилнији и мирнији процес сагоревања. Ови резултати имају директан утицај на смањење трошкова, побољшање енергетске ефикасности и смањење негативног утицаја на животну средину. Употреба отворених платформи, као што су Python и MATLAB, омогућила је брзу адаптацију, визуелизацију и надградњу система, што додатно повећава његову применљивост.

Осим техничких добитака, истраживање има и образовни и едукативни значај. Развијени систем може послужити као модел за наставу, демонстрацију и обуку у домену аутоматике, машинског учења и енергетике, што га чини погодним за даље ширење у образовне и индустријске кругове. У том смислу, примењени допринос овог истраживања није ограничен само на конкретан случај котлова са аутоматским ложењем, већ отвара простор за примену сличних интелигентних алгоритама у другим областима техничких система који захтевају оптимизацију, стабилност и енергетску одговорност.

5.4 Интердисциплинарни допринос

Ово истраживање остварује изразит интердисциплинарни допринос, обједињујући домене термотехнике, аутоматике, информационих технологија и вештачке интелигенције. Успешна интеграција вештачких неуронских мрежа у реално-временски систем управљања процесом сагоревања представља спој теоријских знања и инжењерских решења из више области – од машинског учења и дигиталне обраде сигнала, до регулационе технике и енергетске ефикасности.

Истовремено, истраживање доприноси развоју применљивих решења у области еколошки одговорне енергетике, чиме се прелази праг између чисто технолошког и еколошко-друштвеног поља. Систем развијен у овом раду обухвата софтверске компоненте за анализу и предикцију, хардверске компоненте за мерење и управљање, као и логичке структуре за доношење одлука, чиме се показује како вештачка интелигенција може бити оперативно корисна у контексту одрживог развоја и паметних енергетских решења.

Коначно, кроз едукацију корисника, визуелизацију еколошких и енергетских параметара и унапређење разумевања динамике сагоревања, ово истраживање доприноси и области техничке педагогије и промоцији еколошке свести показујући да интердисциплинарност није само у методама, већ и у крајњим ефектима на друштво.

6. Сажет опис садржаја дисертације

Дисертација је структурисана у складу са научним и методолошким принципима истраживања, кроз логичку целину која прати ток анализе, експеримента, имплементације и интерпретације резултата. У првом поглављу дефинишу се предмет и значај истраживања, формулишу се циљеви и задаци рада, постављају хипотезе, обрађује техника истраживања и даје преглед саме структуре дисертације. Друго поглавље обухвата теоријску позадину вештачке интелигенције и вештачких неуронских мрежа, са акцентом на њихове математичке основе, архитектуре и примену у савременој индустрији, посебно у процесима оптимизације сагоревања. Треће поглавље посвећено је ширем контексту примене вештачке интелигенције, са прегледом нових могућности које нуди у управљању технолошким системима и енергетским процесима. Четврто поглавље разматра физичко-хемијске аспекте процеса сагоревања у котловима, укључујући типологију котлова, механизме сагоревања и савремене приступе оптимизацији. Пето поглавље представља методологију истраживања, укључујући математичко-моделску анализу, избор архитектуре ВНМ и опис експерименталног система за прикупљање података у реалним условима рада. Шесто поглавље приказује

результате имплементације модела, укључујући развој и обуку LSTM мреже, валидацију модела, интеграцију у управљачки систем и анализу резултата у односу на постављене циљеве. Седмо поглавље доноси дискусију резултата у светлу постојећих истраживања, утицај на индустријску праксу, доказивање постављених хипотеза и идентификовање ограничења и могућности за будућа истраживања. Осмо поглавље садржи коначне закључке, истичући најзначајније резултате, њихов допринос научној заједници и применљивост у индустријској пракси. Посебан акценат у дисертацији стављен је на примену вештачких неуронских мрежа и техника вештачке интелигенције, са фокусом на LSTM архитектуру као кључну технологију за обраду временских серија у процесима сагоревања. Истраживање је усмерено ка развоју интелигентног система за предикцију и оптимизацију параметара рада котлова, уз циљано смањење емисија штетних гасова и повећање енергетске ефикасности. Девето и десето поглавље, односно литература и прилози на крају рада садрже релевантне изворе, као и изјаве о аутентичности.

7. Објављени и саопштени резултати повезани са дисертацијом

Током претходних година, кандидат је демонстрирао изузетну стручност, истрајност и висок степен посвећености у научноистраживачком раду. Његово ангажовање није било ограничено само на реализацију сопственог истраживачког пројекта, већ се огледало и у активној сарадњи са другим истраживачима, учешћу на научним конференцијама, објављивању стручних и научних радова, као и у континуираном усавршавању у области савремених технологија, посебно вештачке интелигенције, математичког моделирања и аутоматског управљања. Кроз систематичан и аналитички приступ, кандидат је показао способност да самостално формулише проблеме, дефинише хипотезе и примени напредне методолошке алате у циљу добијања релевантних научних резултата. Његов истраживачки рад одликује се високим нивоом оригиналности, актуелности и практичне применљивости.

Радови у часописима:

Popović, S., Viduka, D., Bašić, A., Dimić, V., Djukic, D., Nikolić, V., & Stokić, A. (2025). Optimization of Artificial Intelligence Algorithm Selection: PIPRECIA-S Model and Multi-Criteria Analysis. *Electronics*, 14(3), 562. <https://doi.org/10.3390/electronics14030562> - **M 22**

Tihi, N., Todorov, M., **Popovic, S.**, Popov, S., Samec, N., & Kokalj, F. (2025). Advanced Time Series Models for Urban Drought: A Comparative Study of (S)ARIMA and Holt-Winters. *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints202504.2180.v1>

Зборници међународних научних скупова:

- Popović, S., Djukić, D., Denić, N., Djukić Popović, S., & Stojanović, J.** (2025, January 20). The Importance of Implementing Artificial Neural Networks in Boiler Automation Systems. 10th Virtual International Conference on Science, Technology and Management in Energy (eNergetics 2024), Virtual. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14735501> - **M 33**
- Stefan Popović, Nebojša Denić, Jelena Stojanović, Dejan Đukić, Sonja Đukić Popović,** Innovations in Risk Management - Integration of Neural Networks in Boilers with Automatic Firing, Proceedings of 6th Virtual International Conference Path to a Knowledge Society-Managing Risks and Innovation, October 21-22, Niš, Serbia, ISBN 978-86-82602-04-0 (Paksom 2024), COBISS.SR-ID 161737737, <https://doi.org/10.5281/zenodo.14708134> - **M 33**
- Stefan Popovic, Sonja Djukic Popovic, Dejan Djukic, Nebojsa Denic,** (2024), Neural networks in pellet combustion control - research report for OZONE 55, Proceedings of the 14th International Conference on Applied Internet and Information Technologies, 8 November, 2024, Zrenjanin, Serbia, ISBN 978-86-7672-379-9, COBISS.SR-ID 158823945 - **M 33**
- Dejan, D., & **Stefan, P.** (2024, July 8). Bilateral exponential as sigmoid in multilayered neuronal networks. Proceedings of International Scientific and Professional Conference "ALFATECH" Smart Cities and modern technologies March 15, 2024, Belgrade, Serbia, ISBN: 978-86-6461-074-2 <https://doi.org/10.5281/zenodo.12685976> - **M 33**
- Popović, S., Đukić Popović, S., Đukić, D., & Gligorijević, M.** (2024, July 2). Genetic algorithms and machine learning as the basis of all implemented solutions in smart cities. Proceedings of International Scientific and Professional Conference "ALFATECH" Smart Cities and modern technologies March 15th, 2024, Belgrade, Serbia, ISBN: 978-86-6461-074-2 <https://doi.org/10.5281/zenodo.12614935> - **M 33**
- Stefan Popovic, Dejan Djukic, Sonja Djukic Popovic, Milan Gligorijevic,** (2023) Neural networks in pellet combustion control - an overview of the group's research work in 2022/2023, Proceedings of 9th Virtual International Conference on Science, Technology and Management in Energy, Belgrade, Serbia, 249 – 254, ISBN 978-86-82602-03-3, COBISS.SR-ID 139266057– **M 33**
- Ivana Popovic, Sonja Djukic Popovic, **Stefan Popovic** and Stevan Ivankovic, (2023) Preliminary research on the possibilities of PPG (Photoplethysmogram) signal analysis of medical sensors and smart watch sensors, Proceedings of the 13th International Conference on Applied Internet and Information Technologies, AIIT 2023, Bitola, North Macedonia, 344 – 350, ISBN 978-608-5003-03-7, COBISS.MK-ID 62559493 – **M 33**
- Stefan Popović, Dejan Đukić, Sonja Đukić Popović, Lazar Kopanja,** (2022) Preliminary Research on the Application of Neural Networks to the Combustion Control of Boilers with Automatic Firing, Proceedings of the 8 th Virtual International Conference on Science Technology and Management in Energy, 299 - 303, ISBN-978-86-82602-01-9, COBISS.SR-ID 119331337 – **M 33**
- Stefan Popović, Lazar Kopanja, Dejan Djukić, Sonja Djukić Popović,** (2022) Neural networks and their application in object recognition, Proceedings of the 12th International Conference on Applied Internet and Information Technologies, AIIT 2022, 40 - 48, Zrenjanin, Serbia, ISBN 978-86-7672-361-4 , COBISS.SR-ID 81418505 - **M 33**

Саопштења на конференцијама, научним и стручним скуповима штампана у изводу – књига апстраката:

Mitar Miki Tepić, **Stefan Popović**, (2025), Implementation of Artificial Intelligence and Machine Learning in Smart Water Projects in the Balkans, The Book of Abstracts International Scientific and Professional Conference "ALFATECH" Smart Cities and modern technologies February 28, 2025, Belgrade, Serbia, 17 - 17, ISBN 978-86-6461-085-8, COBISS.SR-ID 16418484, **M - 34**

Sonja Djukic Popovic, **Stefan Popovic**, Dejan Djukic, (2025), Optimization of Urban Mobility Using Combinatorial Algorithms and Artificial Intelligence, The Book of Abstracts International Scientific and Professional Conference "ALFATECH" Smart Cities and modern technologies February 28, 2025, Belgrade, Serbia, 56 - 56, ISBN 978-86-6461-085-8, COBISS.SR-ID 164184841, **M - 34**

Stefan Popović; Sonja Djukić Popović; Dejan Djukić; Milan Gligorijević, (2024), Genetic algorithms and machine learning as the basis of all implemented solutions in smart cities, The Book of Abstracts International Scientific and Professional Conference "ALFATECH" Smart Cities and modern technologies March 15, 2024, Belgrade, Serbia, 20 – 20, ISBN 978-86-6461-070-4, COBISS.SR-ID 139964169, DOI: 10.5281/zenodo.10802515 – **M 34**

Dejan Djukic; **Stefan Popovic**, (2024), Bilateral exponential as sigmoid in multilayered neuronal networks, The Book of Abstracts International Scientific and Professional Conference "ALFATECH" Smart Cities and modern technologies March 15, 2024, Belgrade, Serbia, 48 – 48, ISBN 978-86-6461-070-4, COBISS.SR-ID 139964169, DOI: 10.5281/zenodo.10802515 – **M 34**

8. Закључак са образложењем научног доприноса

Комисија је након пажљивог увида у докторску дисертацију кандидата Стефана Поповића под насловом „Вештачке неуронске мреже у функцији оптимизације параметара сагоревања котлова са аутоматским ложењем“ закључила да се ради о оригиналном, самосталном и научно заснованом истраживању, које у потпуности испуњава све академске и научне критеријуме за стицање звања доктора наука. У складу са извештајем о провери докторске дисертације на плагијаризам, спроведеном 23. јуна 2025. у систему iThenticate, утврђен је степен подударања мањи од 1%. Ова вредност указује на висок ниво академске коректности, при чему је идентификовано да се подударност односи искључиво на стандардизовану терминологију и техничке дефиниције које се користе у стручној литератури. Оригиналност рада потврђена је и у званичном Извештају о провери оригиналности докторске дисертације број 975 од 23. јуна 2025. године. Додатно, увидом у одобрени предлог теме, комисија је утврдила да је дисертација израђена у потпуности у складу са пријављеним и усвојеним истраживачким

оквиrom, што додатно потврђује валидност и научну доследност спроведеног истраживања.

Истраживање представља значајан научни допринос у области примене вештачке интелигенције у термотехничким системима, с фокусом на аутоматско управљање процесом сагоревања у котловима. Посебна вредност рада огледа се у успешној интеграцији Long Short-Term Memory (LSTM) неуронских мрежа у управљачке алгоритме, што омогућава интелигентну оптимизацију енергетских и еколошких параметара без потребе за скупом реконфигурацијом постојећег хардвера. Тиме је отворен нови приступ регулацији сложених динамичких система.

Структура дисертације је јасна, логички организована и примерено академском дискурсу. Сва поглавља су прегледно и доследно развијена, што олакшава праћење токова аргументације. Преглед литературе је свеобухватан и систематично обрађен, са нагласком на релевантне теоријске и технолошке изворе из области вештачких неуронских мрежа, аутоматике и термотехнике. Методолошки приступ је темељно осмишљен, а резултати истраживања су јасно приказани, графички и табеларно документовани и критички интерпретирани.

Научни допринос се огледа и у имплементацији комплетног система – од формализације математичког модела и развоја експерименталне платформе засноване на Ардуино микроконтролерима, до интеграције алгоритама дубоког учења у реалном времену. Добијени експериментални подаци потврђују валидност постављених хипотеза: забележено је смањење потрошње горива од 11%, смањење емисије угљеничних оксида за 18% и азотних оксида за 12%, као и пораст R^2 коефицијента до вредности 0.94, што указује на поуздану и стабилну контролу.

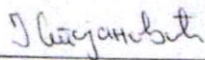
Истраживање се издваја по интердисциплинарности, повезујући домене машинског учења, регулације процеса и енергетике. Практична вредност рада огледа се у чињеници да је развијени систем тестиран у реалним условима рада котлова типа АТИ Терминг ОЗОН 35 и 55, чиме је потврђена не само теоријска изводљивост, већ и примењива одрживост решења. Показано је да интелигентна регулација заснована на ВММ може знатно унапредити енергетску ефикасност и смањити емисије штетних гасова, што је у потпуности у складу са савременим еколошким и технолошким захтевима.

Сходно свему наведеном, комисија закључује да дисертација кандидата Стефана Поповића представља значајан научни допринос и високо вредновано академско дело. Њени резултати представљају валидан темељ за даља истраживања у области интелигентних енергетских система и могу бити од велике користи и научној заједници и индустријској пракси. Стога, комисија предлаже да се кандидат упути на јавну одбрану докторске дисертације.

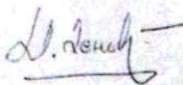
У Београду, 17.07.2025. године

Чланови комисије:

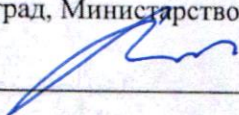
доц. др Јелена Стојановић – ментор
Доцент, Факултет за математику и рачунарске науке, Алфа БК Универзитет,



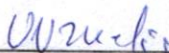
проф. др Небојша Денић – коментор
Ванредни професор, Природно математички факултет, Универзитет у Приштини,
Приштина, са привременим седиштем у Косовској Митровици



Проф. др Милан Глигоријевић – председник комисије
Редовни професор и декан Факултета информатичких технологија, Алфа БК
Универзитет, Београд, Министарство унутрашњих послова РС



Проф. др Војкан Николић – члан
Ванредни професор Криминалистичко полицијског универзитета, Београд



Проф. др Негован Стаменковић – члан
Редовни професор, Природно математички факултет, Универзитет у Приштини,
Приштина, са привременим седиштем у Косовској Митровици



У Београду, ----- године

Чланови комисије:

доц. др Јелена Стојановић – ментор
Доцент, Факултет за математику и рачунарске науке, Алфа БК Универзитет,

проф. др Небојша Денић – коментор
Ванредни професор, Природно математички факултет, Универзитет у Приштини,
Приштина, издвојено седиште у Косовској Митровици

Проф. др Милан Глигоријевић – председник комисије
Редовни професор и декан Факултета информacionих технологија, Алфа БК
Универзитет, Београд, Министарство унутрашњих послова РС

Проф. др Војкан Николић – члан
Ванредни професор Криминалистичко полицијског универзитета, Београд

Проф. др Негован Стаменковић – члан
Редовни професор, Природно математички факултет, Универзитет у Приштини,
Приштина, издвојено седиште у Косовској Митровици
