

ВЕЋУ ДЕПАРТМАНА ЗА ПОСЛЕДИПЛОМСКЕ СТУДИЈЕ

Одлуком Већа Департмана за последипломске студије број 4 - 74/2025. од 10.04.2025., одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње **Анђеле Јовановић**, под називом: „**Унапређење прецизности предвиђања цена горива применом модела дугорочно-краткорочне меморије неуронских мрежа са више глава оптимизованих метакхеуристичком ројева честица**“ о чему подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Основни подаци о кандидату

Кандидаткиња Анђела Јовановић је рођена 09.06.1998. године у Неготину, Србија, где је завршила Основну школу "Вук Караџић". Након основне школе завршава „Неготинску гимназију“ природно-математички смер. Основну и средњу школу завршава као добитник Вукове дипломе за одличан успех и изузетно владање. Дипломира софтверско и информационо инжењерство на Техничком факултету Универзитета Сингидунум, 2021. год. Током студија, ради као помоћни сарадник асистентима на вежбама из различитих предмета и такође постаје један од сарадника/практиканата у Рачунарском центру Унвиерзитета Сингидунум.

Након основних студија, жељна даљег академског усавршавања завршава Мастер студије на истом факултету са просеком 10.0. Мастер рад на тему „Анализа сентимената рецензија производа заснована на алгоритмима машинског учења“ брани такође са оценом 10. Током мастер студија пише научно истраживачке радове и интересује се за докторске студије које уписује на Универзитету Сингидунум 2022. где полаже све испите у року са просеком 10.00.

Аутор је и коаутор више научних радова. Поред овога током основних и мастер студија је такође добитник стипендије Универзитета Сингидунум и учесник је на бројним скуповима, конференцијама и сајмовима где промовише Универзитет. Поред редовног посла, хонорарно ради и као предавач на курсевима везаним за програмирање.

1.1. Научни радови кандидата

Кандидаткиња Анђела Јовановић као први аутор има прихваћен научно-истраживачки рад у часопису *Journal of Network and Computer Applications* (M21 категорије) који је прошао строгу верификацију еминентних стручњака из ове области и тиме је кандидат испунио предуслов за одбрану докторске дисертације.

Референца рада:

Анђела Јовановић, Лука Јовановић, Миодраг Живковић, Небојша Бачанин, Владимир Симић, Драган Памучар, Милош Антонијевић, *Particle swarm optimization tuned multi-headed long short-term memory networks approach for fuel prices forecasting*, *Journal of Network and Computer Applications*, Volume 233, 2025, 104048, ISSN 1084-8045, <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2024.104048>

Додатне информације о научном часопису:

Часопис **Journal of Network and Computer Applications** (издавач: *Elsevier*) сврстава се у **Q1 категорију** у областима *Computer Networks and Communications*, *Computer Science Applications* и *Hardware & Architecture*, заузимајући веома високу позицију у оквиру ранг-листи часописа из ових научних области. Према подацима базе **SCImago Journal Rank (SJR)**, часопис се убраја међу водеће међународне часописе у својој дисциплини, што му у складу са Правилником о вредновању научних резултата обезбеђује категорију **M21**. Часопис је индексиран у релевантним међународним базама података као што су *Scopus*, *Web of Science (SCIE)*, *DBLP*, и *Google Scholar*, што потврђује његову научну релевантност, утицај и видљивост у глобалном академском простору.

Кључни библиометријски показатељи:

- Impact Factor (IF): 8.0
- 5-годишњи Impact Factor: 7.9
- CiteScore: 20.3
- SCImago Journal Rank (SJR): 1.972
- SNIP: 2.709
- h-индекс: 155

Рангирање по научним областима (*CiteScore*, 2025):

- *Computer Networks and Communications*: Q1
- *Computer Science Applications*: Q1
- *Hardware & Architecture*: Q1

Часопис је индексиран у следећим међународним базама података:

- Web of Science (SCIE)
- Scopus
- Directory of Open Access Journals (DOAJ)

- Google Scholar

Додатне информације:

- Званична страница часописа (Springer / Elsevier): <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-network-and-computer-applications>
- SCImago: <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=27277>
- Scopus извор (Source ID за JNCA): <https://www.scopus.com/sourceid/27277>

Додатне информације о доприносу научног рада:

Научни рад представља приступ заснован на комбинацији:

- *Particle Swarm Optimization (PSO)*
- *Long Short-Term Memory (LSTM)* — конкретно неуронске мреже са више глава (*multi-headed*)

Циљ је прогнозирање кретања цена горива. PSO се користи да аутоматски подеси хиперпараметре LSTM мрежа (нпр. број јединица, *lookback*, *learning rate*, архитектуру итд.), што елиминира потребу за ручним “грубо-пробај и греша” (*trial-and-error*) подешавањем.

Овај хибридни модел (PSO + multi-headed LSTM) омогућава да се „науче“ комплексне зависности у подацима временске серије — што је посебно важно за променљиве, не-стационарне појаве као што су цене горива.

Кроз научне експерименте, доказано је да су добијени задовољавајући резултати — модел је био у стању да предвиди трендове цена горива са значајно бољом тачношћу него класични (не-оптимизовани) LSTM.

Научни допринос докторске дисертације се огледа у следећем:

- Предложена је интеграција дубоког учења са метахеуристиком, чиме се омогућава ефикасна хиперпараметарска оптимизација LSTM модела у медицинској неуродијагностици;
- Методологије које комбинују оптимизацију хиперпараметара (као PSO) и дубоке неуронске мреже (као LSTM) показале су се као робусне у прогностици сложених, нелинеарних временских серија — као што су цене, вредности акција, енергије, горива итд.
- Овај рад проширује такве приступе на области предикција цена горива — што има практичну важност за економију, тржиште енергената, планере цена, као и аналитичаре заинтересоване за динамику тржишта горива.

- Аутоматизација оптимизације (путем PSO) значајно умањује ручни рад и субјективност приликом подешавања модела — што је погодна стратегија у реалним, примењеним системима прогнозирања.
- Научни резултати истраживања објављени су у међународном часопису *Journal of Network and Computer Applications*, категорије M21.

На тај начин, кандидат је дао оригиналан допринос развоју напредних интелигентних система који се могу користити као подршка у пословном одлучивању, посебно у областима где је предикција и познавање променљивости цена енергената, у овом случају горива, од кључног значаја.

Преостали објављени радови:

Radovi u časopisima

1. Jovanovic, A., Bacanin, N., Jovanovic, L. et al. Performance evaluation of metaheuristics-tuned recurrent networks with VMD decomposition for Amazon sales prediction. *Int J Data Sci Anal* (2024). <https://doi.org/10.1007/s41060-024-00689-5>

Radovi na konferencijama

1. Metaheuristic optimized BiLSTM univariate time-series forecasting of gold prices Andjela Jovanovic, Tea Dogandzic, Luka Jovanovic, Katarina Kumf, Miodrag Zivkovic, Nebojsa Bacanin, 4th International Conference on Data Science and Applications (ICDSA 2023)
2. Gold prices forecasting using recurrent neural network with attention tuned by metaheuristics Andjela Jovanovic, Tea Dogandzic, Milos Dobrojevic, Marko Sarac, Nebojsa Bacanin, Miodrag Zivkovic, 2023 IEEE World Conference on Applied Intelligence and Computing (AIC 2023)
3. Modeling, Control and Simulation of Differential Drive Mobile Platform, Andjela Jovanovic, Vladimir Mitić, Vladimir Sibinović, Boban Veselić, XVII International Conference on Systems, Automatic Control and Measurements
4. Trajectory Following in Differential Drive Mobile Platform, Andjela Jovanovic, Vladimir Mitić, Vladimir Sibinović, Boban Veselić, 2024 11th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN)

Poglavlja u monografijama

1. Dogandzic, T., Petrovic, A., Jovanovic, L., Bacanin, N., Jovanovic, A., & Zivkovic, M. (2022, October). Speeding classification by a deep learning audio analysis system optimized by the reptile search algorithm. In *International Joint Conference on Advances in Computational Intelligence* (pp. 73-88). Singapore: Springer Nature Singapore.

2. Основни подаци о докторској дисертацији

Докторска дисертација кандидаткиње Анђеле Јовановић је урађена на укупно 139 страна, од чега 7 страна чини списак литературе. Списак литературе обухвата 86 референци које чине научни радови, зборници радова, књиге и извори са Интернета. Уз основни текст дисертација садржи и 32 слике, 11 табела, 38 формула, као и 11 псеудо-кода алгоритама.

Докторска дисертација кандидаткиње Анђеле Јовановић је била подвргнута провери софтвером за установљивање преклапања/плагијаризма (iThenticate Plagiarism Detection Software). Укупан процентуални износ запажених преклапања износи 9% дисертације. Већина уочених подударности односи се на уобичајене техничке изразе и референце на научне изворе у оквиру поглавља која садрже преглед литературе, као и стандардизоване формулације у вези са методологијом и експерименталним окружењем.

Докторска дисертација је израђена у складу са правилником Универзитета Сингидунум и представља оригинални научни допринос у области примене интелигентних софтверских система за медицинску дијагностику, са посебним фокусом на предикцију цена горива.

2.1. Предмет и циљ истраживања

Анализом постојеће литературе и проблема који су тренутно актуелни на глобалном нивоу, јавила се потреба за додатним експериментисањем и истраживањем у области примењене Вештачке интелигенције, нарочито у контексту предикција временских серија. Главни предмет овог истраживања представља развијање методологије за обуку и моделовање секвенцијалних архитектура, које су додатно оптимизоване користећи метахеуристичке технике, као и њихова примена над великом количином података, на чију природу и стабилност ефективно утиче доста екстерних фактора. Циљ самог истраживачког процеса је добијање једног информационог модела базираног на модерним архитектурама, а у циљу постизања што прецизнијих коначних резултата након његове примене на реалним подацима. Имајући ово у виду, сам истраживачки рад може поделити на две структуралне целине, теоријски и практични део.

Предмет теоријског дела истраживачког рада се своди на примену метода вишекритеријумске анализе постојећих модела и техника које се користе у решавању наведеног проблема, како би се одабрао адекватан почетни модел који ће касније послужити као основ за дефинисање хипотеза и његово даље унапређење. Поред тога, као што је раније напоменуто, уочени су и описани одређени недостаци у постојећим моделима и техникама, који су описани у доступној литератури, а које ово истраживање има за циљ да надомести.

Практични део истраживања је усмерен ка опису конкретних корака унапређења прецизности предикције цена горива као главног проблема. Акценат је стављен на развој и имплементацију унапређеног модела који комбинује архитектуру

неуронских мрежа са више глава и дугорочно-краткорочне меморије са метахеуристичком оптимизацијом заснованом на алгоритму ројева честица.

Имајући ово у виду, може се претпоставити да се истраживање фокусира на следеће кључне целине:

- Адаптација постојећих неуронских мрежа кроз моделовање МХ-ЛСТМ архитектуре, која може паралелно процесуирати више улазних информација, односно података кроз различите „главе“ (енг. heads), чиме се омогућава да модел боље екстрактује и разуме комплексне везе и обрасце у самим подацима.

- Примена метахеуристичког оптимизатора роја честица ради ефикасног проналажења оптималних вредности хиперпараметара, који могу значајно побољшати прецизност коначних резултата након извршених експеримената.

- Евалуација предложеног модела на реалним подацима са циљем да се докаже његова супериорност у односу на већ постојеће и примењене моделе у овој области.

- Систематска провера и анализа перформанси предложеног модела, као и његово поређење са осталим постојећим приступима, са основним циљем доказивања његове тачности, као и поузданости тако добијених резултата. **Научни циљеви:**

- Развој напредног LSTM модела прилагођеног карактеристикама ЕЕГ сигнала.
- Увођење и прилагођавање модификованог VNS-DS алгоритма у функцији оптимизације хиперпараметара LSTM неуронске мреже.
- Формална евалуација перформанси модела у поређењу са традиционалним методама и другим архитектурама (RNN, GRU).
- Визуелна интерпретација резултата уз помоћ SHAP анализа и анализа важности карактеристика.
- Објављивање научног рада у часопису категорије M21 (*Complex & Intelligent Systems*), што потврђује релевантност и научну вредност истраживања.

Циљеви истраживања су следећи:

- Идентификација и надомешћивање одређених недостатака у постојећим моделима који се конкретно примењују у сврху решавању проблема предвиђања цена горива

- Примена нове архитектуре неуронских мрежа која може паралелно обрађивати вишеструке временске обрасце кроз више меморијских глава (енг. heads)

- Формулисање проблема оптимизације хиперпараметара, као и његово решавање коришћењем метахеуристичког алгоритма оптимизације ројем честица (енг. Particle Warm Optimizer, PSO)

- Тестирање предложеног модела и његова експериментална евалуација на релеватним скуповима реалних података који су прикупљени из више различитих јавно доступних извора

- Поређење перформанси предложеног модела са стандардним приступима који су се користили за решавање истог проблема

- Интерпретација добијених резултата и генерисање значајних информација за стручњаке из домена тржишта енергената

- Коришћење тако добијених информација ради доношења што бољих бизнис одлука и идентификацији неефикасних делова постојећих система

У свим фазама је вршена анализа метрика као што су тачност (*accuracy*), осетљивост (*sensitivity*), специфичност (*specificity*), F1-скор и матрица конфузије.

Подаци су преузети из јавног извора као што је *YahooFinance.com*.

2.2. Хипотетички оквир истраживања

Анализом описаног проблема, предмета као и циља овог истраживања, могу се дефинисати следеће хипотезе:

Општа хипотеза:

Применом до сада недовољно коришћених и истражених модела рекурентних неуронских мрежа за мултиваријантно предвиђање цена горива могуће је генерисати боља решења, како у погледу брзине конвергенције, тако и у погледу самог квалитета решења, чиме ће се значајно побољшавају коначни ишоди, а у односу на друге методе оптимизације коришћене за исту инстанцу проблема.

Посебна хипотеза:

На основу опште хипотезе се може издвојити посебна хипотеза, која се односи на сам предмет истраживања, а која гласи:

X1: Могуће је довољно добро адаптирати и оптимизовати постојеће имплементације модела рекурентних неуронских мрежа за мултиваријантно предвиђање временских серија предвиђања цена горива.

Даљим прецизирањем наведене посебне хипотезе, формулишу се појединачне које се односе на елементарне чиниоце предмета истраживања:

X1a: Рекурентне неуронске мреже (енг. Recurrent Neural Networks, RNN) могу се додатно унапредити кроз специјализоване архитектуре и оптимизационе технике, како би боље обављале задатак предикције цена горива. Проучавањем различитих приступа оптимизације РНН модела, могуће је побољшати њихову способност генерализације и самим тиме тачност генерисаног излаза.

X1b. Могуће је довољно добро унапредити постојеће имплементације метахеуристичког алгоритма ројева честица (енг. Particle Swarm Optimization, PSO), које су раније већ биле примењене у овом домену, ради још боље оптимизације

предложеног модела рекурентних неуронских мрежа, а у циљу предвиђање цена горива.

X1ц: Употребом архитектуре дугорочно-краткорочних меморијских мрежа са вишеструким главама (енг. Multi-head LSTM) могуће је значајно побољшати прецизност предвиђања цена горива, с обзиром на то да ова метода омогућава паралелну обраду различитих аспеката улазних података, чиме се значајно побољшава квалитативна и структурна усклађеност генерисаног излаза са очекиваним резултатима.

2.3. Методологија истраживања

Да би се развиле хипотезе које су у складу са предметом и циљем истраживања, биће примењене методе истраживања које су уобичајене у пракси и научно потврђене: аналитичко–синтетичка метода, дедуктивно–индуктивна метода, компаративно-квантитативна анализа, емпиријска метода, статистичка анализа, моделирање и експериментални део за доказивање хипотеза.

Аналитичком методом ће се обавити детаљна анализа садржаја доступне релевантне научне и стручне литературе у наведеној области истраживања, као и свих релевантних чињеница публикованих путем електронских или других медија, како би се утврдили одређени недостаци као и простор за унапређење.

Синтетичком методом ће се интегрисати рашчлањени анализирани елементи појаве у јединствену целину, ради дефинисања одређених правила и законитости у понашању појаве која је предмет истраживања. Другим речима, сви прикупљени подаци биће груписани методом синтезе, како би се дошло до поузданих закључака.

Коришћење дедуктивно–индуктивне методе је у функцији усмеравања истраживања од општег ка појединачном, односно од појединачног ка општем у циљу доласка до адекватних закључака.

У оквиру компаративно-квантитативне анализе, а у корелацији са циљевима и проблемом истраживања, као најадекватнији приступ изабрана је метода анализе. Конкретно, за анализу прикупљених резултата након примене метода, техника и метахеуристика за решавање проблема мултиваријантног предвиђања временских серија цена горива, користиће се метода квантитативне анализе. Методом компаративне анализе упоредиће се добијени резултати оптимизације и извешће се закључак о стварном унапређењу решавања овог проблема применом метахеуристичких оптимизационих алгоритама.

Применом емпиријске методе прикупљени примарни подаци ће бити разматрани и у светлу дискутованих постојећих теоријских и емпиријских налаза, односно секундарних извора података, како би се тестирале полазне истраживачке хипотезе. Практичним експериментисањем (извршавањем предложеног алгоритма) долази се до примарних података који ће се користити у даљој анализи.

Статистичка анализа подразумева коришћење статистичких података и метода у обради добијених резултата, а у складу са постављеним истраживачким циљевима.

Моделирање подразумева конструкцију математичких модела који представљају валидну представу проблема који се проучава и решава. За решавање оптимизационих проблема такође се посматрају математички модели и формулације, као и функције циља проблема истраживања. У експерименталном делу имплементације, са додатним акцентом се сагледавају технике метахеуристика у решавању претходно поменутог оптимизационог проблема.

2.4. Постигнути резултати и научни допринос докторске дисертације

На основу претходно наведеног, могу се издвојити следећи очекивани научни доприноси:

Анализира различитих модела и алгорита машинског учења који се користе за мултиваријантно предвиђање временских серија, укључујући њихову класификацију и карактеристике.

Истраживање како се применом напредних модела рекурентних неуронских мрежа, уз коришћење метахеуристичких метода оптимизације, може побољшати тачност предвиђања претходно поменуте инстанце проблема, односно тачнија предикција цена горива.

Детаљно поређење перформанси различитих модела машинског учења у решавању овог типа проблема, као и анализа унапређених модела оптимизованих различитим метахеуристичким приступима који су заступљени у литератури.

Приступиће се интерпретацији најбољих модела и генерисања корисног знања за експерте из домена економије и енергетске анализе, а које се може употребити за доношење бољих управљачких одлука као и побољшање квалитета живота, и достизање стабилности на глобалном тржишту.

Користиће се технике објашњиве вештачке интелигенције (енг. Explainable AI, XAI) за стицање увида у факторе који утичу на цену нафте.

Такође, може се утврдити да ова дисертација доприноси више степена научног нивоа:

- Фундаментални (теоријски) ниво, који се односи на предлог и опис нове архитектуре неуронских мрежа и примена модификованог PSO алгорита у циљу предвиђања временских серија и добијања што прецизнијих резултата.

- Научна класификација, која се односи на методе вишекритеријумске анализе.

- Научно откриће се односи на развој нове методологије примене неуронских мрежа и метахеуристичке оптимизације са јасно дефинисаним поступцима и евалуацијама.

- Научно објашњење се односи на примену предложеног модела на стварним подацима и извођење експерименталних студија које потврђују предност новог приступа у поређењу са стандардним моделима и методама који су коришћени у решавању истог проблема.

Поред овога, можемо такође претпоставити да је научно истраживање оправдано из више разлога, међу којима се издвајају најрелевантнији:

- Унапређење области предикције временских серија: Овим истраживањем се иде корак напред ка побољшању и већој иновативности на пољу предвиђања временских серија, поготову када говоримо о ценама горива. Овиме се решавају многи изазови и проблеми који могу настати приликом експериментисања у овим областима, а који су недовољно добро проучавани у доступној литератури.

- Развој нових комбинованих метода: Ово истраживање комбинује две напредне и врло популарне области – неуронске мреже и метахеуристичку оптимизацију, чиме се значајно популаризује приступ решавању одређених проблема имплементацијом хибридних модела који могу бити примењени на широком дијапазону релевантних података, у циљу добијања што бољих коначних резултата.

- Боље разумевање оптимизације оваквих модела: Иако је ово врло популарна област, и даље постоји ограничен број научних радова који систематски примењују метахеуристике у решавању различитих оптимизационих проблема, а поготову када је реч о предикцији временских серија, која је сама по себи врло комплексна област. На основу овога се може закључити да је и сам потенцијал примене оваквих модела у решавању овог проблема недовољно истраживан. Стога, овај рад има за циљ да помогне у бољем разумевању коришћених техника и додатно охрабри њихову примену конкретно у решавању проблема предикција цена горива.

Резултати ове докторске дисертације су објављени у престижном светском часопису категоризације M21. Квалитет рада као и постигнути резултати су верификовани са стране еминентних експерта из домена.

Постигнути резултати у докторској дисертацији представљају заокружен, оригиналан и применљив допринос у области примењене вештачке интелигенције, са потенцијалом за даљи развој, интеграцију и практичну имплементацију у медицини.

3. Мишљење и предлог Комисије о докторској дисертацији

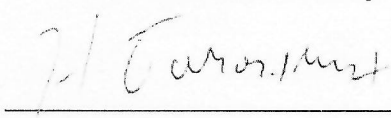
На основу увида у целокупну структуру, теоријски и методолошки оквир, научну заснованост, релевантност теме и остварене резултате, Комисија је мишљења да докторска дисертација кандидаткиње **Анђеле Јовановић**, под називом **„Унапређење прецизности предвиђања цена горива применом модела дугорочно-краткорочне меморије неуронских мрежа са више глава оптимизованих метахеуристичком ројева честица“** представља оригиналан и научно релевантан рад, у потпуности у складу са академским и истраживачким стандардима који се захтевају за израду докторских дисертација. Дисертација обухвата актуелну и интердисциплинарни тему која повезује области вештачке интелигенције, биомедицинског инжењеринга и анализе временских серија. Рад показује висок ниво научног доприноса, како у домену развоја и оптимизације LSTM вештачких неуронских мрежа, тако и у примени иновативних метахеуристичких алгоритама оптимизације. Поред тога, у раду је представљена практична имплементација у виду софтверског алата и потврђена употребљивост у клиничком контексту.

Кандидат је током израде дисертације показао способност за самосталан и систематичан научно-истраживачки рад, а резултати истраживања су презентовани кроз објављени научни рад у међународном рецензираној публикацији.

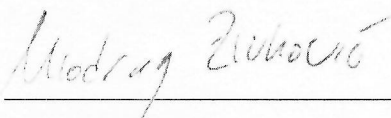
Комисија једногласно предлаже Већу департмана за последипломске студије и Сенату Универзитета Сингидунум да прихвати дисертацију кандидаткиње Анђеле Јовановић, под називом „Унапређење прецизности предвиђања цена горива применом модела дугорочно-краткорочне меморије неуронских мрежа са више глава оптимизованих метахеуристичком ројева честица“ и одобри њену јавну одбрану.

У Београду, 01.12.2025. године

Чланови комисије:



проф. др Небојша Бачанин-Цакула, Универзитет Сингидунум – ментор



проф. др Миодраг Живковић, Универзитет Сингидунум – председник



проф. др Горан Квашчев, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду –
члан

