

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Тамаре Живковић, број индекса 2012/5040, мастер инжењера електротехнике и рачунарства.

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 920-26 од 14.5.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидаткиње Тамаре Живковић (број индекса: 2012/5040) под насловом

Предвиђање дефеката у софтверу применом модела машинског учења оптимизованих метахеуристикама

(енг. Software defects prediction by machine learning models optimized by metaheuristics)

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидаткињом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидаткиња Тамара Живковић, мастер инж. ел. и рач., уписала је докторске студије на Електротехничком факултету у Београду, на модулу Софтверско инжењерство, у школској 2012/2013. години. Положила је све испите предвиђене наставним планом и програмом докторских студија са просечном оценом 10,0 и остварила је 120 ЕСПБ. Такође, испунила је све обавезе везане за студијско истраживачке радове предвиђене планом и програмом. Кандидаткиња је 23.5.2023. године предала пријаву теме за израду докторске дисертације Катедри за рачунарску технику и информатику на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

Катедра за рачунарску технику и информатику Електротехничког факултета Универзитета у Београду је на својој седници одржаној 30.5.2023. године размотрила пријаву теме докторске дисертације кандидаткиње. Катедра је утврдила да је надлежна за разматрање пријављене теме докторске дисертације, као и да су поднета пријава и њени прилози, достављени од стране кандидаткиње, суштински и формално одговарајући и комплетни.

Катедра за рачунарску технику и информатику Електротехничког факултета Универзитета у Београду је дала препоруку за именовање ментора др Дражена Драшковића, и два члана Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације. Дату препоруку Катедра

за рачунарску технику и информатику је проследила Комисији за студије трећег степена Електротехничког факултета Универзитета у Београду, која је на својој седници одржаној 6.6.2023. године усвојила добијену препоруку од Катедре за рачунарску технику и информатику и дала предлог комплетне Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације, који је упутила Наставно-научном већу на усвајање.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је на својој 887. седници одржаној 13.6.2023. године донело одлуку бр. 883/35 о именовану Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у следећем саставу:

1. др Бошко Николић, редовни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет
2. др Бојана Михаиловић, доцент, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет
3. др Драган Памучар, редовни професор, Универзитет у Београду - Факултет организационих наука

За ментора је предложен др Дражен Драшковић, ванредни професор (тада доцент) Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Јавна усмена одбрана теме докторске дисертације кандидаткиње одржана је 26.6.2023. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, у периоду од 14:00 до 15:00 и њој су присуствовали сви чланови Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације. Кандидаткиња је успешно одговорила на сва питања чланова Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације, па је Комисија оценила одбрану као успешну (оцена задовољно). Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације је саставила записник са одбране и извештај, које је поднела Комисији за студије трећег степена Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Комисија за студије трећег степена Електротехничког факултета Универзитета у Београду је на својој седници одржаној 5.9.2023. године разматрала записник и извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидаткиње и упутила га Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду на усвајање.

Наставно-научно веће је на својој 889. седници одржаној 12.9.2023. године усвојило извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидаткиње, а за ментора је именован др Дражен Драшковић, ванредни професор.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је на својој седници одржаној 16.10.2023. године, дало сагласност на предложену тему докторске дисертације и именовање ментора (решење бр. 61206-3707/2-23 од 16.10.2023.).

Кандидаткиња је предала докторску дисертацију за преглед и оцену дана 25. априла 2024. године. Комисија за студије трећег степена Електротехничког факултета Универзитета у Београду је на седници одржаној 7.5.2024. године потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за оцену докторске дисертације.

Наставно-научно веће је на 897. седници одржаној 14.5.2024. године (бр. одлуке 920/26 од 14.5.2024. године) усвојило предлог Комисије за студије трећег степена Електротехничког факултета Универзитета у Београду за именовање Комисије за оцену докторске дисертације кандидаткиње у следећем саставу:

1. др Бошко Николић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
2. др Милош Цветановић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет
3. др Драган Памучар, редовни професор, Универзитет у Београду – Факултет организационих наука

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 74. Статута Универзитета у Београду - Електротехничког факултета и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма. У току школске 2013/2014. године, школске 2014/2015. године, школске 2016/2017. године и школске 2017/2018. године, студент је био у статусу мировања.

1.2. Научна област дисертације

Дисертација припада научној области Електротехника и рачунарство, а ужа научна област дисертације је Рачунарска техника и информатика, док у оквиру уже научне области дисертација припада области Вештачке интелигенције. Дисертација је рађена под менторством др Дражена Драшковића, ванредног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Ментор испуњава законске услове за ментора и поседује одговарајуће компетенције за вођење докторске дисертације из ове научне области и њене уже научне области, имајући у виду да се дисертација бави предвиђањем дефеката у софтверу применом техника вештачке интелигенције, машинског учења и тестирања софтвера, односно тематиком којом се др Драшковић бави у наставном и научном раду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Тамара Живковић, мастер инж. електротехнике и рачунарства, рођена је 28.11.1982. у Ваљеву, Република Србија. Основну школу „Жикица Јовановић Шпанац“ завршила је у Ваљеву као носилац Вукове дипломе. Гимназију природно-математичког смера завршила је у Ваљеву са одличним успехом. Од ране младости исказивала је велико интересовање за природне науке. Поред интересовања за природне науке показала је интересовање и за дебату, књижевност и стране језике. Поседује две дипломе Кембриџ универзитета за енглески језик (нивои Б2 и Ц1).

Електротехнички факултет у Београду, смер Телекомуникације и информационе технологије, уписала је 2001. године. У децембру 2007. године дипломирала је са просечном оценом 7.71. Дипломски рад „Асиметрични криптографски алгоритам елиптична крива“ под менторством проф. др Александре Смиљанић одбранила је у децембру 2007. године са оценом 10.

Мастер академске студије на Електротехничком факултету у Београду на студијском програму Електротехника и рачунарство – модул Аудио и видео технологије уписала је 2008. године, а дипломирала у октобру 2010. године са просечном оценом 9.14. Мастер рад „Верификација једне методе прорачуна звучне изолације“ под менторством проф. др Драгане Шумарац Павловић одбранила је у октобру 2010. године са оценом 10.

Докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на модулу Софтверско инжењерство уписала је у октобру 2012. године. Положила је све испите са просечном оценом 10.

Од априла 2008. године била је запослена у београдском одсеку компаније *P3 Communications*, чије је седиште у Ахену, Немачка. Радила је на пројектима тестирања софтвера мобилних телефона у државама Европе, Азије и Африке, на позицији тест

инжењера. Од јануара 2012. године до данас запослена је у америчкој компанији *Merit Solutions*. Ради на позицији тим лидера и менаџера квалитета софтвера.

Носилац је међународно признатих сертификата из области тестирања софтвера: *ISTQB Certified Tester Foundation Level*, *ISTQB Certified Tester Advanced Level Test Manager* и *ISTQB Certified Tester Foundation Level Agile Tester*. Фокус њеног истраживачког рада су тестирање софтвера и вештачка интелигенција.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација садржи насловну страну и кратак резиме рада на српском и енглеском језику, садржај, осам поглавља, скуп неопходних прилога, преглед коришћене литературе и кратку биографију кандидаткиње. Поглавља су насловљена:

1. Увод,
2. Опис проблема,
3. Алгоритми,
4. Симулације са стандардним функцијама за упоредну анализу,
5. Експерименти,
6. Резултати симулација,
7. Примена у настави,
8. Закључак.

Дисертација садржи 102 стране (не рачунајући прилоге са примерима кода, биографију кандидата и изјаве), 146 страна са прилозима и примерима кода, биографијом кандидата, и додатне 4 стране за изјаве. Дисертација садржи 32 илустрације и 29 табела.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Ова докторска дисертација се састоји од осам поглавља, скупа неопходних прилога, као и прегледа употребљене литературе.

Прво поглавље представља увод у дисертацију, где су дати циљеви рада и значај истраживања, полазне хипотезе, описане методе истраживања, и представљени научни доприноси.

Друго поглавље даје кратак увод у тестирање софтвера, као и опис проблема који се решава. У овом поглављу су укратко описане и технологије које су употребљене у овој дисертацији.

Треће поглавље садржи описе алгоритама који су коришћени у дисертацији. Прво је описан основни алгоритам претраге рептила, а након тога и предложена хибридна верзија овог алгоритма.

Четврто поглавље представља резултате тестирања предложеног алгоритма на стандардном скупу функција за упоредну процену (енг. *benchmark*), што је успостављена пракса у модерној литератури.

Пето поглавље даје опис експерименталног окружења, скупова података који су употребљени у експериментима за предвиђање дефеката у софтверу, као и метрика које су употребљене за евалуацију резултата симулација.

Шесто поглавље пружа увид у резултате главних експеримената на два скупа података за предвиђање дефеката у софтверу, где је предложени алгоритам употребљен за оптимизацију хиперпараметара *XGBoost* модела за класификацију. Дата су и поређења са резултатима других модерних метахеуристичких алгоритама који су употребљени у истом експерименталном окружењу, као и поређења са резултатима које су остварили

традиционални модели машинског учења. Осим тога, дата је и статистичка анализа резултата, као и интерпретација најбољих модела употребом *SHAP* анализе.

Поглавље седам даје детаљан преглед примене симулатора у едукацији, са акцентом на постојећа решења која се могу користити у настави из предмета Тестирање софтвера. У оквиру овог поглавља, дат је и пример лабораторијске вежбе у оквиру које студенти испитују моделе машинског учења на скуповима података за предвиђање дефеката у софтверу.

У поглављу осам су дата закључна разматрања ове дисертације. На крају, приложени су сви неопходни прилози, као и преглед употребљене литературе.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

На основу прегледане докторске дисертације Комисија оцењује да дисертација обрађује тренутно врло актуелну проблематику предвиђања дефеката у софтверу, која је и централна тема овог рада. За предвиђање дефеката у софтверу примењени су оптимизовани модели машинског учења. Откривање дефеката у софтверу је кључна фаза у развоју софтверских пројеката. Ако се правилно спроведе, може да буде пресудна за успех или неуспех пројекта.

У савременом свету, где се софтверски пројекти развијају брзим темпом и где су рокови често кратки, процес откривања дефеката се понекад занемарује. Ово занемаривање доводи до смањеног броја сати посвећених тестирању, што може да резултира касним откривањем дефеката, а чак и откривањем дефеката од стране крајњих корисника, тек у производњи. Исправка дефеката који се открију касније у развојном процесу или у употреби од стране корисника је скупља. Због тога, софтверски тестери морају константно да уче и да се прилагођавају новим ситуацијама како би ефикасно тестирали апликације из различитих области. Анализа и предвиђање дефеката су кључни за процену напретка пројекта и помажу менаџеру пројекта у планирању процеса тестирања. Такође, ове анализе помажу у процени квалитета софтверског производа.

Ова дисертација се бави истраживањем како машинско учење, оптимизовано метехеуристичким алгоритмима, може да унапреди процес откривања дефеката у софтверу. Ово побољшање може довести до повећања квалитета софтвера и ефикасности развојног процеса. Кроз овај процес, може да се постигне боље разумевање како се дефекти јављају, како да се ефикасно открију и како да се исправе на начин који минимизира трошкове и повећава квалитет крајњег производа.

Проблем предикције дефеката у софтверу спада у проблеме бинарне класификације. Ово је изазов који се често сусреће у области машинског учења и представља значајан проблем за истраживаче и практичаре. Досадашња истраживања показала су да за таква предвиђања добре резултате дају алгоритми и модели машинског учења. Ово је веома динамична и жива област, са сталним напретком и иновацијама, што се може уочити претрагом релевантне литературе.

Предмет овог рада обухватио је и истраживање о претходно коришћеним приступима машинског учења, како би се предвидело да ли је одређени модул подложен грешкама или не. Велика количина доступних података представља кључни изазов за сваки модел машинског учења, јер способност тренирања модела са више података генерално повећава способност модела да изврши процес генерализације.

Циљ овог рада била је реализација система за предикцију дефеката у софтверским модулима, употребом модела машинског учења чији су хиперпараметри оптимизовани помоћу метехеуристичких алгоритама. Овај систем треба да буде способан да ефикасно и прецизно предвиди да ли је одређени модул подложен грешкама или не, на основу скупа софтверских метрика за дати модул.

За постизање овог циља, било је неопходно одредити одговарајућа подешавања хиперпараметара модела, пошто се за сваки конкретни проблем класификације мора подесити и модел који се користи. Затим су се користили метахеуристички алгоритми за одређивање најбољег скупа хиперпараметара модела. Ови алгоритми су способни да ефикасно претраже простор могућих вредности хиперпараметара и пронађу оне вредности које дају најбоље перформансе модела.

Имплементирани систем, као један од резултата ове дисертације, ради бинарну класификацију (да ли је модул дефектан или не) на основу скупа софтверских метрика за дати модул. Овај процес класификације је вођен моделом машинског учења који је оптимизован помоћу метахеуристичких алгоритама.

Приликом реализације система кандидаткиња је применила савремене концепте и методологије вештачке интелигенције и машинског учења. За оптимизацију хиперпараметара кандидаткиња је употребила побољшану верзију метахеуристичког алгоритма претраге рептила, као и друге модерне метахеуристичке алгоритме у склопу компаративне анализе. Успешна примена ових алгоритама је показана на два релевантна скупа података који садрже метрике различитих софтверских модула. Значај истраживања огледао се у примени реализованог решења у планирању процеса тестирања. Модули склони грешкама могу бити идентификовани помоћу специфичних метрика, а након тога, тестирање се може фокусирати на њих. Тиме се може побољшати ефикасност процеса тестирања, као и укупан квалитет софтвера.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидаткиња је детаљно претражила и упознала се са одговарајућом литературом. У дисертацији је прецизно наведено 185 библиографских референци на радове који су у вези са темом дисертације. Литература садржи и најновије радове релевантне за тему дисертације, као и одговарајуће радове чији је аутор или коаутор. Кандидаткиња је детаљно проучила литературу из области употребе модела машинског учења и вештачке интелигенције, цитирајући базичне радове из области докторске дисертације, али и актуелне радове објављене у престижним међународним часописима и зборницима радова међународних конференција.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У докторској дисертацији коришћене су адекватне инжењерске и научне методе (засноване на релевантној литератури) које се тичу тестирања софтвера, машинског учења и вештачке интелигенције.

Методологија примењена приликом израде ове докторске дисертације може се сумирати кроз следећи низ активности:

- систематско проучавање литературе из области дисертације;
- критичка анализа тренутног стања у области вештачке интелигенције и тестирања софтвера;
- анализа доступних алгоритама за предикцију дефеката у софтверским модулима;
- анализа доступних метахеуристичких алгоритама за оптимизацију модела машинског учења;
- имплементација новог метахеуристичког алгоритма који је примењен за оптимизацију модела машинског учења за проблем предвиђања дефеката у софтверским модулима;
- за анализу конкретних резултата примене метода техника и метахеуристика за решавање проблема класификације, употребљена је метода квантитативне анализе;
- за поређење добијених резултата оптимизације, коришћена је компаративна анализа;

- статистичка анализа је употребљена у обради добијених резултата, у складу са постављеним истраживачким циљевима;
- имплементирање новог система за предвиђање софтверских дефеката;
- евалуација имплементираних система.

Кандидаткиња је на адекватан начин применила методе научних истраживања. Наведени поступци у основи припадају и теоријским и експерименталним истраживањима, и у потпуности одговарају проблему и постављеном циљу дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

Рад на докторској дисертацији био је инспирисан идејом да се превазиђу ограничења и неефикасност тестирања софтвера, идентификацијом софтверских модула који су подложни грешкама, како би се тестирање фокусирао на њих. Идентификација оваквих модула се врши на основу стандардних софтверских метрика, употребом модела машинског учења оптимизованих метахеуристичким алгоритмима. Методологија представљена у докторској дисертацији омогућава примену система на једноставан и прецизан начин, за идентификацију дефектних модула. На тај начин, ово побољшање може довести до повећања квалитета софтвера и ефикасности развојног процеса. Кроз овај процес, може да се постигне боље разумевање како се дефекти јављају, како да се ефикасно открију и како да се исправе на начин који минимизира трошкове и повећава квалитет крајњег производа.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидаткиња је приликом израде дисертације испољила изузетно познавање проблематике из области тестирања софтвера и вештачке интелигенције. На основу прегледане докторске дисертације Комисија оцењује да је кандидаткиња у потпуности способна за самостални научни рад, што је доказано и чињеницом да постоји већи број научних радова у којима се појављује као аутор, од којих су два рада објављена у часописима са *SCI* листе.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Главни доприноси дисертације који су остварени:

- Детаљне таксономије модела машинског учења и алгоритама који су дати у литератури за проблем класификације и предикције дефеката.
- Унапређење решавања проблема предвиђања дефеката применом реализованих модела машинског учења помоћу метахеуристичких метода оптимизације.
- Упоредна анализа резултата различитих модела машинског учења за ову класу проблема, као и између развијених унапређених модела, оптимизованих различитим метахеуристичкама које се користе у литератури.
- Интерпретација најбољих модела и генерисање корисног знања за експерте из домена тестирања софтвера, које се може употребити за доношење бољих управљачких одлука.
- Одређивање софтверских метрика које имају највише утицаја на предвиђање.
- Практичан пример употребе овог решења у настави, како би се студентима приближила примена модела машинског учења и оптимизације помоћу

метахеуристичких алгоритама, у различитим проблемима класификације, на конкретном примеру предвиђања софтверских дефеката.

- Систематичан преглед софтверских решења која се користе у настави из области тестирања софтвера.
- Предлог конкретне лабораторијске вежбе где се од студената захтева да развију свој модел машинског учења који се може користити за предвиђање софтверских дефеката.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у постављене хипотезе, реализоване одлуке и добијене резултате, Комисија констатује да је кандидаткиња успешно одговорила на постављена питања која су од значаја за решење постављених проблема. На основу предложене методологије развијен је софтверски систем за предвиђање дефеката употребом модела машинског учења оптимизованог метахеуристичким алгоритмима. Извршена је интерпретација најбољих модела, чиме су одређене софтверске метрике које имају највише утицаја на предвиђање, и чиме се генерише корисно знање за експерте из домена тестирања софтвера, које се може употребити за доношење бољих одлука.

Такође, ова дисертација пружа вредне увиде у то како се машинско учење може користити за побољшање процеса откривања дефеката у софтверу, што ће довести до побољшања квалитета софтвера и ефикасности развојног процеса. Ови увиди ће бити корисни за истраживаче, инжењере и менаџере пројеката који се баве развојем софтвера. Коначно, дисертација може да буде од користи за будуће генерације студената докторских студија, инжењере, практичаре и истраживаче које интересује ова област и који желе да дају свој допринос.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидаткиња је објавила следеће научно-стручне радове који су у непосредној вези са докторском дисертацијом:

Категорија M21, M22 или M23

1. **T. Zivkovic**, D. Draskovic, B. Nikolic, Learning environments in software testing education: An overview. *Computer Applications in Engineering Education*, 31(6), 1497-1521, 2023, DOI: <https://doi.org/10.1002/cae.22657>
2. **T. Zivkovic**, B. Nikolic, V. Simic, D. Pamucar, N. Bacanin, Software defects prediction by metaheuristics tuned extreme gradient boosting and analysis based on shapley additive explanations. *Applied Soft Computing*, 146, 110659, 2023, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110659>

Категорија M13

1. M. Bukumira, M. Zivkovic, M. Antonijevic, L. Jovanovic, N. Bacanin, **T. Zivkovic**, The eXtreme Gradient Boosting Method Optimized by Hybridized Sine Cosine Metaheuristics for Ship Vessel Classification, Chapter in LNNS Lecture Notes in Networks and Systems: ADCIS 2023: Advances in Data-Driven Computing and Intelligent Systems, Springer, volume 891, LNNS Lecture Notes in Networks and Systems: ADCIS 2023: Advances in Data-Driven Computing and Intelligent Systems, volume 891, pp. 255 - 270, Springer, Singapore, BITS Pilani, K K Birla Goa Campus, Goa, India, Feb, 2024, DOI: 10.1007/978-981-99-9524-0_20, ISBN:978-981-99-9524-0

Категорија М33

1. **T. Živkovic**, M. Zivkovic, Survey of Learning Environments for Software Testing Education, ECBS 2021: 7th Conference on the Engineering of Computer Based Systems, Association for Computing Machinery, pp. 1 - 9, May, 2021, \DOI: 10.1145/3459960.3459971
2. **T. Živković**, M. Živković, Comparative Analysis of Techniques for Testing Object Oriented Programs, Zooming Innovation in Consumer Technologies, IEEE ZINC 2020, May, 2020, DOI: 10.1109/ZINC50678.2020.9161799, ISBN:978-1-7281-8259-9

Категорија М63

1. M. Zivkovic, **T. Živkovic**, N. Bacanin, I. Strumberger, Nature-Inspired Approaches in Software Testing Optimization, Sinteza 2021 - International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research, pp. 28 - 33, Jun, 2021, DOI: 10.15308/Sinteza-2021-28-33
2. **T. Živković**, M. Živković, Pregled primena virtuelnih okruženja u obrazovanju, Sinteza 2019 - International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research, pp. 99 - 106, Apr, 2019, DOI: 10.15308/Sinteza-2019-99-106
3. M. Živković, **T. Živković**, Challenges in Testing of Web Applications, Sinteza 2018 - International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research, Apr, 2018, DOI: 10.15308/Sinteza-2018-91-96
4. **T. Živković**, M. Živković, Testiranje mobilnih aplikacija, SYM-OP-IS, Tara, Sep, 2016

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

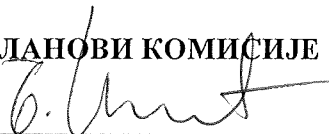
Тема докторске дисертације кандидаткиње Тамаре Живковић представља софтверски систем за предвиђање дефеката у софтверским модулима употребом модела машинског учења чији су хиперпараметри оптимизовани метахеуристичким алгоритмима. На самом почетку, кандидаткиња је приказала мотивацију и значај идентификације софтверских модула подложних дефектима на основу скупа софтверских метрика, улогу модела вештачке интелигенције и машинског учења, као и метахеуристичких алгоритама за оптимизацију хиперпараметара ових модела. Кандидаткиња је спровела исцрпну анализу постојећих алгоритама за оптимизацију, сагледао њихове предности и недостатке и дао предлог новог модификованог алгорита који је детаљно евалуиран на скупу функција за упоредну анализу. Након тога, кандидаткиња је дала предлог и извршио имплементацију софтверског система у коме је предложени алгоритам употребљен да одреди оптимални скуп хиперпараметара *XGBoost* модела за проблем класификације софтверских модула на основу скупа софтверских метрика. Кандидаткиња је извршила интерпретацију најбољих модела, чиме су одређене софтверске метрике које имају највише утицаја на предвиђање, и чиме се генерише корисно знање за експерте из домена тестирања софтвера, које се може употребити за доношење бољих одлука. Након тога, кандидаткиња је спровела детаљну анализу добијених резултата и извршио њихово поређење са резултатима осталих релевантних истраживања. На самом крају, кандидаткиња је навела лимите свог истраживања, могућности за надоградњу и правце у којима истраживање у овој области може да се настави.

Разматрајући претходно приказане резултате досадашњег рада кандидаткиње, и узимајући у обзир све положене испите и стручне обавезе током докторских студија, успешну одбрану научне заснованости теме докторске дисертације, до сада објављене научне радове у часописима и на научно-стручним скуповима, као и написану докторску дисертацију, Комисија је изразила мишљење да је кандидаткиња током израде докторске дисертације остварила резултате и доприносе који могу бити приказани и верификовани од стране међународне научне заједнице.

На основу свега наведеног, Комисија констатује да је кандидаткиња Тамара Живковић испунила све формалне и суштинске услове предвиђене Законом о високом образовању, Правилником о докторским студијама Универзитета у Београду, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Комисија има задовољство да предложи Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом „**Предвиђање дефеката у софтверу применом модела машинског учења оптимизованих метахеуристикама**“ кандидаткиње Тамаре Живковић прихвати, изложи на јавни увид и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду,
29.5.2024. године

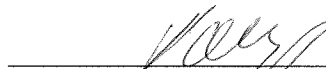
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Бошко Николић, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



др Милош Цветановић, ванредни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



др Драган Памучар, редовни професор
Универзитет у Београду - Факултет организационих
наука