

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Владимира Полужанског**.

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду бр. 551/18 од 24.4.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Владимира Полужанског** под насловом

„Примена вештачке интелигенције у изражавању мерне несигурности неитеративног алгоритма за акустичко лоцирање парцијалног пражњења у минералном уљу“,

односно на енглеском

“Application of artificial intelligence to express the measurement uncertainty of non-iterative algorithm for the acoustic location of partial discharge in mineral oil”

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Владимир Полужански је први пут уписао докторске академске студије Електротехнике и рачунарства, модул Софтверско инжењерство, на Електротехничком факултету у Београду, школске 2010/2011 године. Кандидат је други пут уписао докторске академске студије Електротехнике и рачунарства, модул Софтверско инжењерство, на Електротехничком факултету у Београду, школске 2018/2019 године, на II годину студија.

У току докторских студија Кандидат је положио све испите са просечном оценом 9,80 и испунио све обавезе везане за студијско истраживачки рад предвиђене наставним планом и програмом.

26.06.2021. године Кандидат је пријавио тему за израду докторске дисертације под називом „Примена вештачке интелигенције у изражавању мерне несигурности неитеративног алгоритма за акустичко лоцирање парцијалног пражњења у минералном уљу“.

30.06.2021. године Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и Кандидата упутила Наставно-научном већу на усвајање.

16.07.2021. године Наставно-научно веће именовало је Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлуком бр. 5037/18-1 од 16.07.2021.) у саставу:

1. др Милош Цветановић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет (председник комисије)
 2. др Ненад Каргаловић, научни сарадник, Електротехнички институт „Никола Тесла” у Београду (члан комисије који није запослен на ЕТФ-у)
 3. др Милета Жарковић, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.
- За менторе докторске дисертације предложени су:

- др Бошко Николић, редовни професор, Електротехнички факултет у Београду,
- др Ковиљка Станковић, ванредни професор, Електротехнички факултет у Београду.

10.09.2021. године Кандидат је полагао јавну усмену одбрану теме докторске дисертације.

16.11.2021. године Науствано-научно веће усвојило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5037/18-2 од 16.11.2021.)

10.12.2021. Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације „Примена вештачке интелигенције у изражавању мерне несигурности неитеративног алгоритма за акустичко лоцирање парцијалног пражњења у минералном уљу“.

(Одлука бр. 61206-4939/2-21).

30.03.2023 године Кандидат је предао докторску дисертацију на преглед и оцену.

04.04.2023 године Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

11.04.2023. године Наставно-научно веће Факултета именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (број одлуке 551/18 од 24.04.2023) у саставу:

1. др Милош Цветановић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
2. др Јелица Протић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
3. др Драгана Наумовић Вуковић, научни сарадник, Електротехнички институт „Никола Тесла” у Београду,
4. др Милета Жарковић, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
5. др Томислав Рајић, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

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.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада научној области Техничке науке – Електротехника и рачунарство, уже научне области Вештачка интелигенција и Метрологија, за које је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду. За менторе докторске дисертације именовани су др Бошко Николић, редовни професор Електротехничког факултета у Београду и др Ковиљка Станковић, ванредни професор Електротехничког факултета у Београду. Професори др Бошко Николић и др Ковиљка Станковић су аутори већег броја релевантних радова у истакнутим међународним часописима који су приложени приликом пријаве теме докторске дисертације. Професор др Бошко Николић предаје више предмета при Катедри за рачунарску технику и информатику који су у вези са предметом дисертације (Вештачка интелигенција и експертски системи, Интелигентни системи, Интелигентни сервис и системи). Професорица др Ковиљка Станковић предаје више предмета при Катедри за микроелектронику и техничку физику који су у вези са предметом дисертације (Метрологија и мерни рачунарски системи, Материјали у електроенергетици).

1.3. Биографски подаци о кандидату

Владимир Полужански је рођен 20. маја 1982. године у граду Лозници, где је са одличним успехом завршио основну школу „Анта Богићевић“ и гимназију „Вук Караџић“. Добитник је дипломе „Вук Караџић“.

У новембру 2008. године дипломирао је на Електротехничком факултету у Београду на смеру за Рачунарску технику и информатику са просечном оценом 7,83 и оценом 10 на дипломском испиту са темом „Информациони систем за дијагностику стања изолационих система на турбо и хидро генераторима“.

Докторске студије на модулу за софтверско инжењерство је први пут уписао 2010. године, а затим поново 2018. године. Током докторских студија остварио је просечну оцену 9,80.

Био је ангажован на научно-истраживачком пројекту технолошког развоја „Повећање енергетске ефикасности у одабраном индустријском сектору кроз имплементацију система менаџмента у малим и средњим предузећима“ (пројектни циклус 2010-2015). Два пута је биран у звање „истраживач сарадник“.

Од октобра 2007. године је ангажован у Центру за Електромерења, Електротехничког института Никола Тесла а.д. Београд, где је примљен у стални радни однос у новембру 2008. године. Тренутно ради на позицији вишег стручног сарадника и ангажован је на пословима примене информационих технологија за потребе основних делатности Института. Од 2022. године је руководилац канцеларије за дигиталну трансформацију Института у оквиру САИГЕ пројекта који се одвија уз подршку Министарства науке, технолошког развоја и иновација, Светске банке и Европске уније.

Учествовао је у више комерцијалних пројеката и студија у сарадњи са привредом од којих су најзначајнији: развој надзорно дијагностичког центра електроенергетске опреме ЈП ЕПС, развој методе и уређаја за акустичка и електрична мерења парцијалних пражњења, развој метода и уређаја за мерење електромагнетних поља и развој уређаја за испитивање класе тачности мерних трансформатора.

У оквиру научноистраживачког рада, радио је на мултидисциплинарним проблемима везаним за методе мерења и обраду података електричних пражњења у изолационим срединама у оквиру којих је развијао алгоритме и софтверска решења која имплементирају аналитичке, статистичке и методе вештачке интелигенције за процену мерне несигурности. Објавио је 25 радова у међународним и домаћим часописима и конференцијама, од којих 11 као првоименовани аутор. Као коаутор публикувао је један рад у врхунском међународном часопису, док је као првоименовани аутор публикувао два рада у истакнутим међународним часописима, један рад у међународном часопису и један рад у међународном часопису верификованом посебном одлуком.

Течно говори енглески језик и има почетни ниво знања француског језика.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација по својој форми и структури одговара у потпуности Упутству за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду. Дисертација је написана на 135 страна куцаног текста, ћиричним писмом и садржи 61 слику, 66 табела и 134 референце које су наведене по редоследу цитирања у тексту дисертације. Текст дисертације је организован у 9 поглавља и 1 прилог. Поглавља су насловљена редом: 1. Увод; 2. Изражавање мерне несигурности; 3. Акустичко лоцирање парцијалног пражњења у минералном уљу; 4. Вештачка интелигенција; 5. Интелигентни агенти; 6. Асистент за прорачун мерне несигурности; 7. Резултати истраживања; 8. Анализа и дискусија добијених резултата; 9. Закључак и смернице будућег истраживања. У Прилогу 1 је приказана

експериментална верификација резултата прве симулације. Такође, текст дисертације садржи и насловну страну на српском и енглеском језику, страну са подацима о менторима, захвалницу, резиме дисертације на српском и енглеском језику, садржај, списак коришћене литературе, биографију аутора, изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу читаоцу је објашњена сврха, изазови и циљеви предметног истраживања као и структура дисертације.

Друго поглавље описује најважније концепте доступне у литератури из области мерне несигурности и има за циљ да пружи свеобухватно разумевање концепта мерне несигурности, њених извора и метода које се користе за њену квантификацију (процену). При томе је акценат стављен на изражавање комбиноване мерне несигурности, мерну несигурност типа Б, равномерну функцију расподеле, буџет мерне несигурности и одређивање (процену) одговарајућих коефицијената осетљивости утицајних величина. Поред тога, приказане су теоријске и практичне основе за даљу квантификацију утицаја промене температуре минералног уља на буџет комбиноване мерне несигурности неитеративног алгоритма.

У трећем поглављу приказани су основни познати принципи детекције и локализације парцијалних пражњења (ПП) у минералном уљу неитеративном све-акустичком методом. Дат је детаљан приказ неитеративног алгоритма који је предмет истраживања. Описани су феномени који се могу јавити при детекцији акустичких сигнала ПП у експерименталним (реалним) условима. Дати феномени су од значаја за проверу резултата софтверских симулација на реалном (експерименталном) моделу. Показан је значај температурне зависности брзине акустичког сигнала ПП и типичне ситуације у којима долази до појаве ПП у минералном уљу. Приказане су табличне бројчане вредности брзине акустичког сигнала које одговарају температурама минералног уља а које су неопходне за квантификацију утицаја промене температуре на буџет комбиноване мерне несигурности неитеративног алгоритма.

У четвртном поглављу представљена су актуелна разматрања из доступне литературе из области вештачке интелигенције (ВИ) и машинског обучавања (МО). Затим, описани су најзначајнији концепти из области „машинског обучавања на основу примера“. Дато поглавље укључује и дефиниције одговарајућих функција губитка као и коефицијента детерминације R^2 , који се користе за евалуацију резултата предметног истраживања. Такође, дат је преглед обучавања стабала одлучивања, описани концепти регресије и скупног обучавања у контексту МО, са акцентом на алгоритме случајне шуме и ДАРТ алгоритам. На крају, описан је програмски оквир *ML.NET* за имплементацију машинског обучавања у *.NET* програмском окружењу који је коришћен у предметном истраживању.

У петом поглављу описани су основни појмови везани за теорију интелигентних агената. Акценат је стављен на описивање окружења задатка, одговарајуће особине окружења и представљање концепата једноставног рефлексног агента, агента заснованог на моделу и агента са функционалношћу обучавања. Дати појмови и концепти коришћени су у предметном истраживању при развоју софтверског агента за квантификацију утицаја промене температуре минералног уља на буџет комбиноване мерне несигурности неитеративног алгоритма.

У шестом поглављу представљени су поједини значајни доприноси докторске дисертације. Описан је развој софтверског агента названог „Асистент за прорачун мерне несигурности“ по одговарајућим фазама еволутивног животног циклуса. Приказан је алгоритам за процену доприноса температуре минералног уља стандардној комбинованој мерној несигурности

неитеративног алгоритма који је конструисан (осмишљен) за потребе предметног истраживања и налази се у основи датог софтверског агента. Додатно, описана је новопредложена метода „на основу процене“ за изражавање мерне несигурности модела машинског обучавања заснована на изражавању мерне несигурности типа Б и аналогји између модела МО и реалног мерног инструмента.

Седмо поглавље приказује резултате предметног истраживања у складу са током истраживања. Прво су представљени сумарни резултати софтверских симулација добијени помоћу развијеног „Асистента за прорачун мерне несигурности“, затим експериментална провера (верификација) добијених резултата на конструисаном реалном моделу. Део експерименталних резултата из седмог поглавља приказан је у Прилогу 1. На основу добијене сагласности експерименталних и резултата одговарајућих симулација извршено је тренирање, валидација и тестирање одговарајућих модела машинског обучавања. На основу вредности коефицијента детерминације R^2 , квантификовано је унапређење које је постигнуто употребом развијених модела МО при процени доприноса температуре минералног уља буџету мерне несигурности неитеративног алгоритма, што представља значајни допринос истраживања докторске дисертације.

У осмом поглављу дискутовани су и анализирани резултати из претходног поглавља. Акцент је стављен на предлог новог поступка за прорачун доприноса температуре минералног уља комбинованој мерној несигурности неитеративног алгоритма применом модела машинског обучавања који представља свеобухватну синергију резултата предметног истраживања и најзначајнији допринос истраживања докторске дисертације. Такође, у датом поглављу анализирана је и оправданост препоруке из доступне литературе о коришћењу константне вредности температуре минералног уља при локализацији ПП са аспекта добијених резултата предметног истраживања.

У Закључку је приказан резиме предметног истраживања и дате одговарајуће смернице будућег истраживања. Ту су још једном истакнути доприноси дисертације и сумирани су остварени резултати.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Вештачка интелигенција је једна од најактуелнијих области науке и технике која се интензивно развија, иако су њени почеци још од средине прошлог века. Тако је вештачка интелигенција постала једна од најважнијих технологија нашег времена. У савременом друштву, различити сектори који играју виталну улогу, као што су паметне мреже, интелигентни транспорт, сајбер-безбедност и комуникационе технологије, подржани су анализом великих података и ефикасном употребом ВИ и МО техника. Подаци прикупљени са ИоТ (сензори, системи за праћење, финансијски подаци, здравствени подаци, друштвене мреже и сл.) могу бити недоследни, некомплетни и редундантни, што доводи до смањеног поверења у анализу података. Контролисање и квантификовање несигурности модела МО побољшава поузданост анализе података. Такође, повећава поверење у одлуке модела МО. Датом теми је посвећена значајна пажња у актуелној литератури из области ВИ.

Изолационо минерално уље користи се у великом броју уређаја који учествују у процесима производње, преноса, дистрибуције електричне енергије као и у индустријским постројењима. Правилан рад и одржавање датих уређаја (опреме) су кључни да би се избегли непланирани застоји, финансијски губици и очувала животна средина, што су врло актуелне теме.

Парцијална пражњења су међу најчешћим узроцима деградације диелектричних карактеристика изолационог минералног уља. Правовремено и прецизно откривање, лоцирање, праћење и дијагностика ПП значајно унапређују поузданост рада опреме у којој се

минерално уље користи као изолациони материјал. Локализација ПП у минералном уљу је од суштинског значаја за поуздан и дуготрајан рад електроенергетске опреме. Због велике капиталне вредности електроенергетске опреме и њене критичне улоге у електроенергетској мрежи, постоји све већа потреба за развојем неинтрузивних дијагностичких метода за детекцију ПП у минералном уљу. Ове методе су дизајниране да открију пропратне нежељене ефекте ПП (хемијске, електричне, електромагнетне, акустичке, оптичке и сл.) и одреде његову локацију користећи различите математичке алгоритме (алгоритми засновани на триангулацији, генетички алгоритми, неитеративни алгоритам, алгоритми за оптимизацију роја честица, алгоритам слепих мишева и сл.). Све ове методе дају различите резултате у смислу прецизности локализације ПП, једноставности употребе, исплативости, могућности примене за континуални надзор (мониторинг), смањења шума и сл. Сходно томе, постоје бројна актуелна истраживања усмерена на унапређење постојећих метода за детекцију и локализацију ПП или развијање нових.

Предмет истраживања у оквиру докторске дисертације је мерна несигурност неитеративног алгоритма за све-акустичко одређивање локације парцијалног пражњења у минералном уљу. Неитеративну све-акустичку методу први су предложили *Kundu et. al.* 2009. године. Главне предности дате методе су њене могућности примене, једноставност употребе и економичност. Представљени експериментални резултати дате методе у доступној литератури се сматрају прихватљивим за практичну примену и мониторинг опреме. Предметно истраживање је у складу са трендом коришћења софтверских алата и метода вештачке интелигенције у оптимизацији решавања нелинерних проблема код којих се до решења не може доћи аналитичким методама на једноставан (познат) начин. Предметно истраживање фокусирано је на недовољно истраживану област мерне несигурности код мерења и лоцирања парцијалног пражњења у минералном уљу (одн. утицаја улазних параметара мерења на буџет мерне несигурности), применом метода машинског обучавања. Такође, предметно истраживање предлаже нову методологију „на основу процене“ за изражавање мерне несигурности модела машинског обучавања. Контролисање и квантификовање доприноса температуре минералног уља комбинованој мерној несигурности неитеративног алгоритма побољшава поузданост резултата одређивања локације ПП. Такође, повећава поверење у одлуке о одржавању опреме у којој се минерално уље користи као изолациони материјал.

Оригиналност истраживања се огледа у томе што је предложен оригинални алгоритам за квантификацију утицаја промене температуре минералног уља на буџет комбиноване мерне несигурности неитеративног алгоритма заснован на Монте Карло методи и вештачкој интелигенцији (машинском обучавању). Дати утицај до сада у литератури из предметне области није био квантификован. Додатно, предложен је нов поступак одређивања мерне несигурности модела машинског обучавања, назван „на основу процене“, заснован на изражавању мерне несигурности типа Б и аналогiji између модела машинског обучавања и реалног мерног инструмента.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру докторске дисертације наведено је 134 референце из следећих области: вештачка интелигенција, машинско обучавање, ИоТ, метрологија, мерна несигурност, дијагностика електроенергетске опреме, детекција и локализација парцијалних пражњења у минералном уљу, изолациони материјали у електротехници, нумеричка математика, нелинеарност. Списак литературе указује на то да је Кандидат извршио детаљну анализу постојеће литературе. Највећи део наведених референци је из ремираних часописа, зборника и уџбеника. Приказане референце дају свеобухватну анализу тренутних достигнућа у предметним областима. Списак литературе укључује и релевантне радове које је Кандидат публиковао као аутор или коаутор. Међу наведеном литературом у предметним областима

налазе се релевантне референце, почевши од основних идеја па до најновијих резултата публикованих у врхунским међународним часописима и зборницима радова са конференција.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру предметног истраживања коришћене су аналитичке, нумеричке, статистичке, софтверске, Монте Карло, методе вештачке интелигенције, анализе и методе провере.

Фазе предметног истраживања се могу представити на следећи начин:

- анализа изазова предметног истраживања и доступне релевантне литературе,
- формирање теоријских основа за предметно истраживање,
- формирање алгорита за процену доприноса температуре минералног уља стандардној комбинованој мерној несигурности неитеративног алгорита,
- имплементација датог алгорита у софтверског агента названог „Асистент за прорачун мерне несигурности“ по еволутивном моделу животног циклуса (једноставни рефлексни агент, рефлексни агент заснован на моделу),
- извршење софтверских симулација помоћу датих агената и анализа добијених резултата,
- верификација резултата и закључака софтверских симулација на конструисаном експерименталном моделу,
- тренинг, валидација и тестирање модела машинског обучавања користећи експериментално верификоване закључке и податке,
- унапређење „Асистента за прорачун мерне несигурности“ имплементацијом модела машинског обучавања (агент заснован на моделу са могућношћу обучавања),
- извршење софтверских симулација користећи унапређеног агента,
- анализа и поређење резултата добијених помоћу агента заснованог на моделу са могућношћу обучавања и рефлексног агента заснован на моделу.

Примењена методологија одговара стандардима научно-истраживачког рада и у сагласности је са постављеним циљевима истраживања.

3.4. Применљивост остварених резултата

Тематика коју обрађује докторска дисертација је мултидисциплинарна и применљива је у великом броју истраживачких поља: примена предложене методе процене мерне несигурности модела машинског обучавања на скупове великих података; примена предложеног решења у осталим методама за одређивање локације ПП као нпр. неитеративне акустичко-електричне методе, методе која користи пиезокерамичке сензоре или недавно предложене методе код које је довољно користити само један акустички сензор и рачунарску симулацију за локализацију ПП; имплементација резултата наведених истраживања и предложеног поступка у системе мониторинга електроенергетске опреме са циљем унапређења поузданости резултата локализације ПП у оквиру ИоТ.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Владимир Полужански је током својих докторских студија показао све суштинске особине неопходне за научно-истраживачки рад, као што су: аналитичко претраживање стручне литературе, разумевање и примена теоријских и практичних концепата, дефинисање научних проблема, систематичан приступ решавању постављених задатака, способност развоја алгоритама, као и вештине анализе, обраде и презентовања добијених резултата. Такође, упорност Кандидата се огледа у имплементацији софтверског агента „Асистента за прорачун мерне несигурности“ у програмском језику *C#* по еволутивном моделу животног циклуса у фише фаза. Кандидат је показао способност разумевања фундаменталних

принципа мерне несигурности (поузданости резултата мерења) и примене у области машинског обучавања, чиме је показао креативност и зрелост у раду. Оригиналноста идеја, свеобухватност истраживања као и научни доприноси описани у овој дисертацији потврђују способност Кандидата за самостални научни рад. У прилог истакнутог је и чињеница да је Кандидат аутор низа научних радова који су произашли из рада на дисертацији.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Остварени научни доприноси су следећи:

1. Предложен је оригинални алгоритам за квантификацију утицаја промене температуре минералног уља на буџет комбиноване мерне несигурности неитеративног алгоритма заснован на Монте Карло методи и вештачкој интелигенцији (машинском обучавању).
2. Изложен је теоријски допринос у смислу одређивања мерне несигурности модела машинског обучавања, назван „на основу процене“, заснован на изражавању мерне несигурности типа Б и аналогији између модела машинског обучавања и реалног мерног инструмента.
3. Експериментално је демонстрирана корелација између максималног одступања резултата при одређивању локације парцијалног пражњења у минералном уљу неитеративном све-акустичком методом и средњег растојања парцијалног пражњења и акустичких сензора.
4. Приказано је унапређење које је примена метода машинског обучавања донела у односу на тривијално рачунање средње вредности температурног коефицијента осетљивости.
5. Предложени поступак за квантификацију утицаја промене температуре минералног уља на буџет комбиноване мерне несигурности неитеративног алгоритма указује на начин унапређења стандарда, техничких препорука и препорука из литературе у вези коришћења константне температуре минералног уља при прорачуну локације парцијалног пражњења.

4.2. Кратка критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постављених хипотеза, циљева истраживања и остварених резултата Комисија може са задовољством да констатује да је Кандидат успешно одговорио на сва релевантна питања у циљу одговора на изазове дефинисане циљевима истраживања. Набројани научни доприноси су важни за области вештачке интелигенције и метрологије. Акцент истраживања у оквиру дисертације био је дизајн оригиналног поступка за квантификацију утицаја промене температуре минералног уља на буџет комбиноване мерне несигурности неитеративног алгоритма применом метода вештачке интелигенције (машинског обучавања). Дати утицај до сада у литератури није био квантификован. Кандидат је током истраживања датог поступка квантификације уочио да примена метода машинског обучавања уноси нови (додатни) извор мерне несигурности који потиче од модела машинског обучавања. Кандидат је предложио нови поступак, назван „на основу процене“, за изражавање мерне несигурности модела машинског обучавања који није ограничен само на скуп података из предметног истраживања. Корелација између максималног одступања резултата при одређивању локације парцијалног пражњења неитеративном све-акустичком методом и средњег растојања парцијалног пражњења и акустичких сензора која је примењена извођењем одговарајућих софтверских симулација је експериментално потврђена на конструисаном реалном моделу. На основу добијене сагласности експерименталних и резултата

одговарајућих симулација извршено је тренирање, валидација и тестирање одговарајућих модела машинског обучавања. На основу вредности коефицијента детерминације R^2 , квантификовано је унапређење које је постигнуто употребом развијених модела машинског обучавања при процени доприноса температуре минералног уља буџету мерне несигурности неитеративног алгорита. Кандидат се осврнуо на постојеће препоруке из стандарда и литературе у вези коришћења константне температуре минералног уља при прорачуну локације парцијалног пражњења и дао предлог како резултати предметног истраживања могу довести до одговарајућих унапређења. Представљени доприноси су верификовани објављивањем резултата у истакнутим међународним часописима, међународном часопису верификованом посебном одлуком, као и часописима и конференцијама од националног значаја.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси који су резултат истраживања у оквиру докторске дисертације су публиковани у следећим радовима класификованим по М категоријама по Правилнику Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије:

1. Радови у истакнутим међународним часописима (M22)
 - 1.1. Polužanski V, Kartalović N, Nikolić B., Impact of Power Transformer Oil-Temperature on the Measurement Uncertainty of All-Acoustic Non-Iterative Partial Discharge Location, *Materials*, 2021, 14(6):1385. <https://doi.org/10.3390/ma14061385> (IF 3.748)
 - 1.2. Polužanski, V.; Kovacevic, U.; Bacanin, N.; Rashid, T.A.; Stojanovic, S.; Nikolic, B. Application of Machine Learning to Express Measurement Uncertainty. *Appl. Sci.* 2022, 12, 8581. <https://doi.org/10.3390/app12178581> (IF 2.838)
2. Радови у међународним часописима верификовани посебном одлуком (M24)
 - 2.1. Vladimir S. Polužanski, Uroš D. Kovačević, Boško D. Nikolić, Algorithm for Calculating Influence of Power Transformer Oil Temperature Change on the Accuracy of All-Acoustic Non-Iterative Partial Discharge Localization, *FME Transactions*, vol. 46, no. 2, pp. 183-193, issn: 1451-2092, doi:10.5937/fmet1802183P, 2018
3. Радови у часописима националног значаја (M53)
 - 3.1. Polužanski Vladimir, Kovačević Uroš, Kartalović Nenad, Kovačević Dragan, Razvoj i verifikacija programskog alata za određivanje lokacije parcijalnih pražnjenja u energetsom transformatoru akustičkom metodom, *Zbornik radova Elektrotehnički institut Nikola Tesla* 2014, br. 24, str. 71-85, <http://scindeks.ceon.rs/issue.aspx?issue=11830>
4. Саопштења са скупова националног значаја штампана у целини (M63)
 - 4.1. Uroš Kovačević, Vladimir Polužanski, Dragan Kovačević, Nenad Kartalović, Srđan Milosavljević, Analiza osetljivosti merenja pri određivanju lokacije parcijalnih pražnjenja u energetsom transformatoru akustičkom metodom, *Infoteh-Jahorina*, 18.-20. mart, 2015, Jahorina, Bosna i Hercegovina, Vol. 14, ENS-1-4, ISBN 978-99955-763-6-3, <http://infoteh.etf.unssa.rs.ba/zbornik/2015/radovi/ENS-1/ENS-1-4.pdf>
 - 4.2. Vladimir Polužanski, Dragan Kovačević, Uroš Kovačević, Boško Nikolić, Analiza interakcije ulaznih parametara pri određivanju lokacije parcijalnih pražnjenja u energetsom transformatoru akustičkom metodom, *Infoteh-Jahorina*, 16. mart - 18. mart 2016., Bosna i Hercegovina, Vol. 15, ENS-2-1, ISBN 978-99955-763-9-4, pp. 122-125, <http://infoteh.etf.unssa.rs.ba/zbornik/2016/radovi/ENS-2/ENS-2-1.pdf>


5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Владимира Полужанског, дипломираног инжењера електротехнике, под насловом „Примена вештачке интелигенције у изражавању мерне несигурности неитеративног алгоритма за акустичко лоцирање парцијалног пражњења у минералном уљу“, испуњава све суштинске и формалне услове предвиђене Законом о високом образовању, као и прописима Универзитета у Београду и Електротехничког факултета. Набројани научни доприноси су важни за области вештачке интелигенције и метрологије. Акцент истраживања у оквиру дисертације био је дизајн оригиналног поступка за квантификацију утицаја промене температуре минералног уља на буџет комбиноване мерне несигурности неитеративног алгоритма применом метода вештачке интелигенције (машинског обучавања), као и нови поступак, назван „на основу процене“, за изражавање мерне несигурности модела машинског обучавања. Резултати одговарајућих софтверских симулација су верификовани на конструсаном реалном моделу. Представљени доприноси су верификовани објављивањем резултата у истакнутим међународним часописима, међународном часопису верификованом посебном одлуком, као и часописима и конференцијама од националног значаја.

Узимајући у обзир све наведено, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Примена вештачке интелигенције у изражавању мерне несигурности неитеративног алгоритма за акустичко лоцирање парцијалног пражњења у минералном уљу“ прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 4.5.2023. године

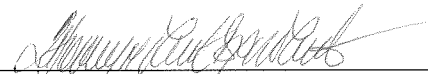
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



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



др Јелица Протић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Драгана Наумовић Вуковић, научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт Никола Тесла



др Милета Жарковић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Томислав Рајић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет