

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ  
 REPORT ON THE VALUATION OF PHD THESIS

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовао комисију: 08.09.2022., бр.012-199/11-2021 Декан Факултета техничких наука је донео решење којим је одредио чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације, на основу Одлуке Наставног Научног већа факултета у складу са Статутом Факултета техничких наука.		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1.	<b>др Иван Бекер</b> редовни професор	Квалитет, ефективност и логистика 26.01.2017
	презиме и име Факултет техничких наука Нови Сад, Универзитет у Новом Саду	звање ужа научна област и датум избора Председник
	установа у којој је запослен-а функција у комисији Рачунарска статистика и анализа података	
2.	<b>др Сандра Рамош</b> доцент	28.12.2010
	презиме и име Политехнички институт за инжењерске науке Порто, Универзитет у Порту, Португалија	ужа научна област и датум избора члан
	установа у којој је запослен-а функција у комисији	
3.	<b>др Милан Делић</b> ванредни професор	Квалитет, ефективност и логистика 25.11.2018
	презиме и име Факултет техничких наука Нови Сад, Универзитет у Новом Саду	ужа научна област и датум избора члан
	установа у којој је запослен-а функција у комисији	
4.	<b>др Велибор Карановић</b> ванредни професор	Интегрална системска подршка 24.09.2020
	презиме и име Факултет техничких наука Нови Сад, Универзитет у Новом Саду	ужа научна област и датум избора члан
	установа у којој је запослен-а функција у комисији	
5.	<b>др Џон К. Духовски</b> директор института	Физичка-хемија 01.07.2016
	презиме и име HYDAC FluidCareCenter® GmbH, D-66280 Sulzbach / Saar, Немачка	ужа научна област и датум избора члан
	установа у којој је запослен-а функција у комисији	
6.	<b>др Митар Јоцановић</b> редовни професор	Квалитет, ефективност и логистика 29.10.2021
	презиме и име Факултет техничких наука Нови Сад, Универзитет у Новом Саду	ужа научна област и датум избора ментор
	установа у којој је запослен-а функција у комисији	

<b>I INFORMATION ABOUT THE COMMITTEE</b>		
1. Date and body appointing the Commission:		
08.09.2022., number 012-199/11-2021 Dean of the Faculty of Technical Sciences at the proposal of the Scientific Council of Faculty of Technical Sciences has formed a committee for evaluation and defense of doctoral dissertation.		
2. Committee in accordance with the Rulebook of Doctoral studies by University of Novi Sad		
1.	<b>dr Ivan Beker</b>	full professor
	name and surname	title
	Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad	
	institution of employment	
		Quality, effectiveness and logistics 26.01.2017
		narrow scientific field and election date
		Chairman
2.	<b>dr Sandra Ramos</b>	assistant professor
	name and surname	title
	Polytechnic of Porto - School of Engineering, Portugal	
	institution of employment	
		Computational statistics and data analysis 28.12.2010
		narrow scientific field and election date
		member
3.	<b>dr Milan Delić</b>	associate professor
	name and surname	title
	Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad	
	institution of employment	
		Quality, effectiveness and logistics 25.11.2018
		narrow scientific field and election date
		member
4.	<b>dr Velibor Karanović</b>	associate professor
	name and surname	title
	Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad	
	institution of employment	
		Integral system support 24.09.2020
		narrow scientific field and election date
		member
5.	<b>dr John K. Duchowski</b>	institute director
	name and surname	title
	HYDAC FluidCareCenter® GmbH, D-66280 Sulzbach / Saar, Germany	
	institution of employment	
		Physical chemistry 01.07.2016
		narrow scientific field and election date
		member
6.	<b>dr Mitar Jocanović</b>	full professor
	name and surname	title
	Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad	
	institution of employment	
		Quality, effectiveness and logistics 29.10.2021
		narrow scientific field and election date
		mentor
	institution of employment	
		committee function
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>		
1. Име, име једног родитеља, презиме: Марко Драган Орошњак		
2. Датум рођења, општина, држава: 22.06.1989, Сремска Митровица, Србија		
3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Факултет техничких наука у Новом Саду, Индустијско Инжењерство, Мастер инжењер индустријског инжњерства		
4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија:		

2015, Индустијско инжњерство/Инжењерски менаџмент

<b>II</b>	<b>INFORMATION ABOUT THE CANDIDATE</b>
	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Name, parent's name, lastname: Marko Dragan Orošnjak</li><li>2. Date of birth, municipality, country: 22.06.1989, Sremska Mitrovica, Serbia</li><li>3. Faculty name, name of graduate academic program, and professional title: Faculty of Technical Sciences, Industrial Engineering, Master of Industrial Engineering</li><li>4. Year of enrollment in PhD studies and the title of the study program of PhD studies: 2015, Industrial Engineering/Engineering Management</li></ol>
<b>III</b>	<b>НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>
	Концепт функционалне продуктивности за моделовање поузданости у домену одржавања заснованом на енергији
<b>III</b>	<b>TITLE OF DOCTORAL DISSERTATION:</b>
	The Concept of Functional-Productiveness for Modelling Reliability in Energy-Based Maintenance Domain
<b>IV</b>	<b>ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>
	Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона: Докторска дисертација је структурирана у 4 главна поглавља са укупно 12 секција (искључујући референце и прилоге). Структура доктората је дата: <b>Поглавље 1</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Увод</li><li>2. Истраживачки протоколи и методе</li></ol> <b>Поглавље 2</b> <ol style="list-style-type: none"><li>3. Истраживачки резултати прегледа пројеката</li><li>4. Истраживачки резултати прегледа литературе</li><li>5. Истраживачки резултати прегледа праксе</li></ol> <b>Поглавље 3</b> <ol style="list-style-type: none"><li>6. Експериментално подешавање</li><li>7. Резултати експерименталног истраживања</li><li>8. Припрема података за обраду уз помоћ машинског учења</li><li>9. Модели машинског учења</li><li>10. Анализа поузданости процеса</li></ol> <b>Поглавље 4</b> <ol style="list-style-type: none"><li>11. Дискусија</li><li>12. Закључци и правци будућег истраживања</li></ol> Референце Прилози Дисертација је изложена на 217 страница, а садржи: 12 секција, 148 слика (заједно са графиконима), 82 табеле, 14 прилога и 145 референци.
<b>IV</b>	<b>DOCTORAL DISSERTATION OVERVIEW:</b>
	Specify a short content with an indication of the number of pages, chapters, pictures, charts: Doctoral dissertations consists of four main chapter with 12 sections (excluding references and appendices). The structure of the thesis is given as follows: <b>Chapter 1</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Introduction</li><li>2. Research protocols and methods</li></ol> <b>Chapter 2</b> <ol style="list-style-type: none"><li>3. State-of-the-projects research results</li><li>4. State-of-the-literature research results</li><li>5. State-of-the-practice survey results</li></ol> <b>Chapter 3</b> <ol style="list-style-type: none"><li>6. Experimental setup</li><li>7. Experimental results and discussion</li><li>8. Machine learning data preparation</li></ol>

9. Machine learning models

10. Reliability analysis

#### Chapter 4

11. Discussion

12. Concluding remarks

References

Appendices

Disseration is presented on 217 pages, and contains: 12 sections, 148 figures (including graphs), 82 tables, 14 appendices and 145 references.

### V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Наслов докторске тезе је јасно и прецизно дефинисан, сажет и формулисан да обухвата разматрану проблематику и тему истраживања.

#### Поглавље 1:

У *уводу* кандидат је представио истраживачки оквир кроз мотивацију, рационалност (укључујући актуелно стање области), истраживачки проблем, циљеве истраживања, као и хипотезе истраживања. Мотивација и потреба за истраживањем представљен је кроз темеље научних доказа који се састоје од прегледа свих доступних пројеката у ЕУ из области индустријског одржавања, прегледа литературе и екстракција доказа из праксе. Истраживачки проблем је представљен кроз призму функционалне продуктивности, где је кандидат конструисао концепт као недостатак дводимензионе одреднице функционалности који се огледа не само да ли систем испуњава функцију циљу него да ли испуњава и временски постављену одредницу. Узимајући у обзир данашњи технолошки екосистем, где системи раде у безотказном режиму, кандидат је предложио концепт маркера функционалне-продуктивности.

Циљеви истраживања обухватају истраживање тренутног стања истраживачке праксе унутар пројеката који се финансирају од стране ЕУ, затим систематски преглед пројеката у области енергетски-заснованог одржавања, развој и спровођење анкете као истраживачког инструмента за екстракцију података хидрауличких променљивих из праксе. Осим тога, главни циљ у докторату представља класификација стања хидрауличног система између нормалног рада и рада у присуству аномалија представљених уз помоћ маркера функционалне продуктивности. Ови маркери су одређени уз помоћ алата машинског учења. Последњи циљ подразумева употреба маркера за моделовање поузданости система као алата за оптимизацију одржавања.

Дефинисање хипотетичких оквира подразумева тестирање традиционално прихваћених хипотеза и испитивање валидности истих. Пре свега тестирање хипотезе да ли су пројекти финансирани од стране ЕУ посвећени елементима технолошког напретка или едукацији и структуралним поправкама. Затим, испитивање да ли је контаминација главни узрочник отказа у сфери хидрауличких система, и да ли постоји корелација између потрошње енергије и контаминације унутар система како би се иста користила као променљива у виду функционалног маркера. Главна хипотеза је дефинисана као „...могућност одређивања стања система узимајући у обзир маркере функционалне продуктивности на основу којих се може апроксимирати права функција на основу предложеног модела која мапира улазе у излазе чак и на подацима који нису унети у модел“.

#### Поглавље 2:

С обзиром на све већу присутност прилаза заснованог на доказима (на енгл. *Evidence-Based Approach*) исти принцип је кандидат користио да представи методе (протоколе) за екстракцију доказа, како би осигурао транспарентност и поновљивост резултата истраживања. На систематичан начин је транспарентно формиран протокол за преглед пројеката који се састоји од две фазе: екстракције мета података и анализе података унутар реализације сваког пројекта појединачно, поштујући инклузивне и ексклузивне критеријуме. Екстракција података из праксе подразумева формирање анкетног инструмента за екстракцију података везану за стање праксе одржавања на територији Западног Балкана. Анкетни инструмент је верификован од стране инжењера и научника из области са високим степеном одзива, при чему су подаци не само кориштени за обраду него и за оправдавање експерименталног истраживања, чиме се бенефити огледају у прихватању општих карактеристика система и променљивих за формирање и оправдање нових експерименталних истраживања. Исти принцип је примењен и за екстракцију доказа и података из литературних извора на тему енергетски

заснованог одржавања. Сви резултати истраживања у другом поглављу су транспарентно и валидно приказани и дискутовани.

### **Поглавље 3:**

Након афирмације да се будућност индустријског одржавања окреће ка енергетски-заснованом и одрживом одржавању, кандидат је практичним експериментом на индустријској машини представио модел функционалне-продуктивности уз помоћ алата машинског учења. Сегмент хидрауличке контроле је употребљен као основа за експеримент, а проток и притисак (као елементи хидрауличке енергије) су употребљени за дијагностику бинарног стања система као „нормалног“ и „квази-отказног“ стања – где се не може јасно тврдити да је систем у отказу али се може тврдити да показује знакове деградације и као такав се „етикетира“ као деградиран. Кандидат је транспарентно приказао начин аквизиције и обраде података. Између осталог, приказани су модели машинског учења који су употребљени да би се извршила класификација. За прорачун успешност класификације, неуронске мреже су се показале као најбољи модел за класификацију бинарне променљиве за одређивање стања хидрауличног система. Из неуронских мрежа су затим узети параметри који најбоље изводе процес класификације и исти су употребљени за моделовање поузданост као временске променљиве, при чему су одређени дистрибуције и процеси истих. На основу добијених процеса извршено је моделовање поузданости система и резултати су транспарентно приказани.

### **Поглавље 4:**

Последње поглавље је подељено на дискусију за сваки вид прикупљених доказа што подразумева дискусију на тему истраживања индустријског одржавања кроз ЕУ пројекте; дискусију на допринос у прегледу литературе на тему енергетски-заснованог одржавања; дискусију на тренутно стање у пракси индустријског одржавања хидрауличких система. Осим тога, поглавље обухвата и закључке и правце будућег истраживања, као и оригиналан научни доприноси литературе.

*Комисија страма да су контекст, предмет, проблем и постављени циљеви и хипотетички оквири јасно и концизно постављени и доказани. Кандидат је своје константације и хипотетичке оквири представио кроз призму праксе, литературе, стања науке кроз научне пројекте финансиране од стране ЕУ, а затим и експерименталним доказивањем предложених концепата. Дисертација садржи транспарентне протоколе који омогућавају поновљивост истраживања. Комисија закључује да су одговори на истраживачка питања, као и сумирано тестирање хипотетичких оквири јасно образложени и закључна разматрања потврђују адекватност и значајност предложених решења како у теорији, тако и у пракси. Комисија сматра да литература у потпуности одговара тематици дисертације кандидата, а да прилози адекватно употпуњују садржај дисертације. На основу изложеног, комисија позитивно оцењује све делове докторске дисертације.*

## **V EVALUATION OF THE DOCTORAL THESIS CHAPTERS:**

The doctoral thesis title is clearly and precisely defined, summarized, and formulated to cover the considered issues and research topic.

### **Chapter 1:**

In the introduction, the doctoral candidate sets the research context through motivation, rationality (including the current state of the field), research problem, research goals, and research hypotheses. Motivation and the need for research are presented through the foundations of scientific evidence, which consists of a review of all available projects in the EU in industrial maintenance, literature review, and extraction of evidence from practice. The research problem is presented through the prism of functional productiveness. The candidate constructed a concept as lacking a two-dimensional determinant of functionality, reflecting whether the system fulfils a defined function and meets the time determinant. Considering today's technological ecosystem, where systems must operate in a fault-free mode, the candidate proposed the concept of a functional-productiveness.

The objectives of the thesis include a systematic review of EU projects in the field of energy-based maintenance, research development and implementation of the survey as a research instrument for extracting evidence of hydraulic variables from practice. In addition, the doctoral dissertation's main goal is to conduct machine learning classification on the state of the hydraulic system between „normal“ and „quasi-fault“ modes presented with functional-productiveness markers. These markers are determined using machine learning tools. The last goal involves using markers to model system reliability as a time-to-an-event to optimize maintenance.

Defining hypothetical frameworks involves challenging accepted hypotheses and examining their validity. First of all, testing the hypothesis of whether the projects financed by the EU are dedicated to the elements of technological progress or education and structural repairs in the industrial maintenance domain. As such, arguments for lack of progress are used to validate the need for an energy-based maintenance paradigm. Also, examining whether contamination is the main cause of failure in the field of hydraulic systems and whether there is a correlation between energy consumption and contamination within the system to use it as a variable as a functional-productiveness marker. The thesis statement is defined as “...*the ability to determine the system’s state taking into account functional-productivity markers based on which the real function can be approximated based on the proposed model that maps inputs to outputs given unseen data*”.

#### **Chapter 2:**

Given the growing presence of the Evidence-Based practice, the candidate used the same principle to present methods (protocols) to extract evidence to ensure transparency and replicability of research results. Systematically, a protocol for project review was formed, consisting of two phases: extraction of metadata and analysis of data within the implementation of each project individually, respecting inclusion and exclusion criteria. Extraction of data from practice implies the formation of a survey instrument for the extraction of data related to the state of maintenance practices in the West Balkan countries. Engineers and scientists in the field verified the survey instrument. The survey response rate was relatively high, and data was used to challenge the traditionally accepted hypothesis and justify the experimental design of the research parameters used. The same principle was applied to extracting evidence and data from literature sources on energy-based maintenance given proposed search syntaxes extracted from defined research questions. The research results in the second chapter are adequately presented and elaborated, respecting transparency and replicability.

#### **Chapter 3:**

After the affirmation that the future of industrial maintenance is turning towards energy-dedicated and sustainable maintenance, the candidate presented a model of functional productiveness that can improve system performance with the help of machine learning tools. The hydraulic control segment was used as the basis for the experiment, and flow and pressure (as elements of hydraulic energy) were used to diagnose the state of the system as a “normal” and “quasi-failure” binary state - where it cannot be clearly stated that the system is failing. However, it can be argued that it shows signs of degradation and is labelled a “Normal” and “Quasi-fault” state system. The candidate transparently presented the method of data acquisition and processing. Machine learning models presented in the thesis are used for classification purposes where neural networks showed the highest classification accuracy of binary variables to determine the state of the hydraulic system. The predictors that contributed the most to the classification were then used to model reliability as time constraints, thus, estimating distributions and process parameters. System reliability modelling was performed based on the obtained processes, and the results were presented transparently.

#### **Chapter 4:**

The last chapter discusses industrial maintenance research state through EU projects, literature review and state-of-the-practice of industrial maintenance of hydraulic systems. In addition, the chapter covers the conclusions and directions of future research and original scientific contributions to the literature. It also provides the main contributions to the literature and implications of energy-based maintenance as a maintenance paradigm.

*The committee considers that the context, subject matter, problem and objectives, and hypothetical frameworks are clear and concise. The candidate presented his statements and hypothetical frameworks through the prism of practice, literature, and state of science through research projects funded by the EU and then experimentally proved and highlighted the benefits of the functional-productivity concept. The dissertation contains transparent protocols that enable the replicability of research. The committee concludes that the answers to the research questions and the summarized testing of hypothetical frameworks are clearly explained, and the concluding remarks confirm the adequacy and significance of the proposed solutions in theory and practice. The committee considers that the literature fully corresponds to the topic of the candidate’s dissertation and that the contributions adequately complement the content of the dissertation. The committee positively evaluates all parts of the doctoral dissertation based on the above.*

<p><b>VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:</b></p> <p>Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.</p>
<p><b>VI LIST OF SCIENTIFIC PAPERS PUBLISHED OR ACCEPTED FOR PUBLICATION BASED ON RESEARCH RESULTS WITHIN DOCTORAL THESIS:</b></p> <p>List of related publications, where and when were they published. First, state at least one article published or accepted for publication according to the University of Novi Sad Rulebook for doctoral studies related to the content of the doctoral dissertation. If the paper is accepted for publication, list the title of the papers, where and when they will be published, and attach the editorial confirmation of the journal according with the acceptance.</p>
<p><b>Orošnjak, M.,</b> Jocanović, M., Cavic, M., Karanović, V., Pencic, M.: “Industrial maintenance 4(.0) Horizon Europe: Consequences of the Iron Curtain and Energy-Based Maintenance”. Journal of Cleaner Production. Vol. 314, Iss. 10., Elsevier Publishing. [IF 2020 = 9.297. <b>M21a</b>] DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128034.</p> <p><b>Orošnjak, M.,</b> Jocanović, M., Karanović, V., Wakiru, J., Bugarić, U.: Contamination control of hydraulic systems in Industry 4.0, 3rd Maintenance Forum on Maintenance and Asset Management, Belgrade, Serbia, 24-27 May 2018, pp.52-60. [<b>M33</b>]</p> <p><b>Orošnjak, M.,</b> Jocanović, M., Karanović, V.: “Quality Analysis of Hydraulic Systems in Function of Reliability Theory” 27th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, October 26-29, 2016, Mostar, BiH. [<b>M33</b>]</p> <p><b>Orošnjak, M.,</b> Peković T., Jocanović M., Karanović V., Novak Horvatić A.: Using contamination control in condition-based maintenance of a hydraulic system, 42. Scientific Conference Maintenance of Machinery and Equipment - OMO, Budva, 24-27 Maj, 2017, pp. 102-111. [<b>M33</b>]</p> <p><b>Orošnjak, M.:</b> „Maintenance practice performance assessment of hydraulic machinery: West Balkan Meta-Statistics and Energy-Based Maintenance Paradigm“, 5th International Conference on System Reliability and Safety. IEEE Reliability Society, 24-26.November.2021. [<b>M33</b>]</p> <p><b>Orošnjak, M.,</b> Ramos, S., &amp; Delić, M.: “Influence of maintenance practice on MTBF of industrial and mobile hydraulic failures: A West-Balkan study. 11<sup>th</sup> International Symposium – KOD – Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering, Novi Sad, Springer, 10-12.June.2021. [<b>M33</b>]</p>
<p><b>VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:</b></p> <p>Закључци у докторској дисертацији указују на битност енергије као новог предиктора за успостављање апроксимације стања система из аспекта дијагностике и прогностике. Осим тога, одређивање маркера функционалности система добијених из модела машинског учења као параметара који најбоље врше класификацију стања система, исти маркери се могу искористити за оптимизацију индустријског одржавања. Истраживање у потпуности прати тренутне трендове индустријског одржавања, као пројекције будућих истраживања који су постављени од стране, како академских, тако и европских оквира који се ослањају на енергетски заснованом и одрживом одржавању.</p> <p><i>Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања и закључује да је докторска дисертација оригинално научно дело кандидата Марка Орошњака.</i></p>
<p><b>VII CONCLUSIONS – RESEARCH RESULTS:</b></p> <p>The conclusions of the thesis indicate the importance of energy as a new predictor for establishing an approximation of the system’s state from the aspect of diagnostics and prognosis. In addition, determining the functional-productivity markers obtained from the machine learning model as parameters that best classify the system’s state can be used to optimize industrial maintenance practice. The research fully follows</p>

current industrial maintenance trends and future research projections set by academic and European frameworks that rely on energy-dedicated and sustainable maintenance practices.

*The committee positively evaluates how to present and interpret the research results and concludes that the doctoral dissertation is an original scientific work of candidate Marko Orošnjak.*

#### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Докторска дисертација кандидата обухвата представљање нове перспективе у области индустријског одржавања, предложеног као Одржавање засновано на енергији. Осим тога, за истоимену парадигму предложена је нова терминологија тумачења функционалности система, као концепт функционалне продуктивности. Концепт сам по себи врши тумачење отказа као процес деградације у ком се границе отказа подешавају или на основу поремећаја дефинисаних од стране субјеката као статичке док је систем још у оперативном режиму. За одређивање деградација и параметера промене стања система предложени су маркери функционалне продуктивности, где исти могу да се прате у мониторингу стања и на тај начин врши враћање у граница дозвољених одступања док је систем у безотказном режиму.

Резултати су добијени систематичким протоколима за сваке типове података појединачно, док је потврда система функционалне продуктивности извршена експерименталним доказивањем. Осим тога, за моделовање концепта функционалне продуктивности употребљени су алати машинског учења из којих су маркери извучени на основу модела који најбоље класификује (према параметру прецизности) стање система. С обзиром на свеprisутност енергетских политика и истраживања у области одрживости, сматра се да је тема кандидата изузетан допринос у области индустријског одржавања.

Прегледом доктората нису утврђене јасне индикације начињеног плагијата. Постоји присуство делова рада који се подударају са научним доприносом аутора, али који је у склопу обавезе аутора да публикује рад из теме дисертације и који је референциран у дисертацији. Осим тога, присуство значајног подударања у смислу плагијата уз помоћ софтвера за детекцију плагијаризма iThenticate није указано.

*Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата са закључком да је докторска дисертација оригинално научно дело кандидата Марка Орошњака.*

#### **VIII ASSESSMENT OF PRESENTATION AND INTERPRETATION OF THESIS RESULTS:**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

The candidate's doctoral dissertation includes the presentation of a new perspective in the field of industrial maintenance, proposed as the Energy-Based Maintenance (EBM) paradigm. In addition, new terminology for interpreting system functionality thresholds has been proposed for the EBM functional-productiveness concept (FPC). The concept interprets failure as a degradation process in which failure boundaries are set continuously or defined as static control limits while the system is still in operational mode. To determine the degradation and parameters of changes in the system's state, functional productivity markers have been proposed, where they can be monitored and used for diagnostics, repair and system return to peak operational efficiency.

The results were obtained by systematic protocols for each data type individually, while the confirmation of the functional productivity system was performed by experimental proof. In addition, machine learning tools were used to model the concept of functional productivity, from which markers were extracted based on the hypothesis space (model) that best classifies (according to the precision parameter) the system's state. Given the ubiquity of energy policies and research in sustainability, it is considered that the topic is an outstanding contribution to industrial maintenance.

The examination of the doctorate did not reveal any indications of plagiarism. There is the presence of parts of the work that coincide with the scientific contribution of the author, but which is part of the obligation of the author to publish the work of the part of the dissertation and which is referenced in the dissertation appropriately. In addition, the presence of a significant match in terms of plagiarism with the help of plagiarism detection software iThenticate was not indicated.



*The Commission positively evaluates the way of presenting and interpreting the results, concluding that the doctoral dissertation is the original scientific work of candidate Marko Orošnjak.*

**IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање.

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?  
*Дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави.*

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?  
*Дисертација садржи све битне елементе.*

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?  
Оригинални научни допринос докторске дисертације огледа се кроз више елемената. Као први елемент наводи се систематски преглед литературе у области одржавања заснован на енергији и одрживости који до сада није спроведен. Друго, предлог концепта функционалне продуктивности сматра се значајним напретком у односу на лабилну дефиницију функционалности на основу које није било могуће извршити моделовање поузданости и оптимизацији процеса у безотказном режиму рада. Предлагањем функционалне продуктивности као дводимензионе одреднице отказа умногоме омогућава имплементацију машинског учења и моделовање поузданости система. Екстракцијом маркера функционалне продуктивности као предиктора деградације система за дијагностику и прогностику сматра се највећим доприносом дисертације. Употреба маркера као временског догађаја за моделовање поузданости доприноси побољшању процеса усмереном ка одржавању система у оптималним перформансама и спречавање деградације система.  
*Комисија је закључила да дисертација садржи све елементе оригиналног научног доприноса кандидата Марка Орошњака.*

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?  
Комисија је као недостатке, односно **ограничење/а** у истраживању идентификовала кроз неколико сугестија као могуће видове унапређења. Као прву сугестију и утицај на резултате истраживања је употреба XRF спектрофотометра. Наиме, поменута метод утиче на прецизност добијених резултата мерења честица који су испод 10 ppm-ова, што утиче на валидност резултата мерење и давање адекватне дијагностике стања елемената јер метода нема довољну осетљивост и поверљивост за поменуте честице. Као такви, резултати се сматрају лабилни и неповерљиви јер сама метода је упитна за елементарну анализу испод прописаног нивоа величине честица. Уместо тога, ICP (на енгл. *Inductively Coupled Plasma*) спектрофотометрија се сматра адекватнијом за честице испод прописане величине. Као другу сугестију комисија сматра да би проблем бинарне класификације могао да се прошири на вишекласификацијски проблем који чини више отказних модова или узрока отказа. Као такав проблем може да се изврши класификација узрока отказа (дијагностике) или да се изврши анализа вероватноће појаве одређеног отказа као предиктивне методе (прогностике). Као последњу сугестију која би могла утицати на исход истраживања је узорак. С обзиром да је кандидат применио анализу и методу функционалне продуктивности и маркера који ближе одређују стање система, комисија сматра да би проширење са експерименталне анализе система на узорак са више система имала већи утицај на исход истраживања.  
*Комисија закључује да докторска дисертација не садржи значајне недостатке осим поменутих видова унапређења који су наведени у садашњем облику и с тога комисија сматра да дисертација задовољава све услове за јавну одбрану.*

**IX FINAL EVALUATION OF THE DOCTORAL DISSERTATION:**

Explicitly state whether the dissertation was or was not written following the stated explanation and whether or not it contains all the essential elements. Give clear, precise and concise answers to questions 3 and 4.

<p>1. Was the dissertation written following the explanation given in the topic application?</p> <p><b><i>The doctoral thesis is written following the explanation given in the application.</i></b></p>
<p>2. Does the dissertation contain all essential elements?</p> <p><b><i>The doctoral thesis contains all essential elements.</i></b></p>
<p>3. What makes the dissertation an original contribution to science?</p> <p>The original scientific contribution of the doctoral dissertation is reflected through several elements. The first element is a systematic review of the literature on energy-based maintenance, which has not been conducted so far. Secondly, the systematic evaluation of EU projects in industrial maintenance, which is the first time a systematic review of research projects was conducted.</p> <p>Thirdly, the proposal of the concept of functional-productiveness is considered significant progress concerning the formulaic definition of the functionality based on which it was not possible to perform reliability modelling and process optimization in fault-free mode. Proposing functional productiveness as a two-dimensional determinant of failure significantly enables machine learning implementation and system reliability modelling.</p> <p>The extraction of functional productivity markers as predictors of degradation for diagnostic and prognostic purposes is considered the dissertation's greatest contribution, and such propositions were not seen in the literature. Besides, using markers as time-to-an-event indicators for reliability modelling contributes to process improvement aimed at maintaining the system in optimal performance and preventing system degradation.</p> <p><b><i>The committee concluded that the dissertation contains all the elements of the original scientific contribution of candidate Marko Orošnjak.</i></b></p>
<p>4. What are the limitations of the dissertation, and what is their impact on the research results?</p> <p>There are a few suggestions for improvement based on the limitations acknowledged by the committee that could potentially increase the impact of the research results.</p> <p>The first suggestion and impact on the research results are using an XRF spectrophotometer. Namely, the mentioned method affects the accuracy of the obtained measurements of particles below 10 ppm, which affects the validity of results and questions the accuracy of elemental analysis. The elemental analysis results are questionable due to the method's accuracy below 10 ppm. Instead, ICP (Inductively Coupled Plasma) spectrophotometry is more appropriate for particles below the prescribed size.</p> <p>As a second suggestion, the committee believes that the problem of binary classification could be extended to a multi-classification problem that uses multiple fault modes. The classification can then be performed to find the root cause (diagnostic) or can be used as a predictive method (prognostics). The last suggestion that could influence the research outcome is the sample size. Given that the candidate applied the analysis and method of functional productiveness markers that determine the system's state, the committee believes that the extension from experimental analysis of the system to a sample with multiple systems would have a greater research impact.</p> <p><b><i>The committee concludes that the doctoral dissertation does not contain significant limitations other than presented suggestions for improving the doctoral dissertation. The committee concludes that the dissertation meets all the requirements for public defence in its current form.</i></b></p>
<p><b>X ПРЕДЛОГ:</b> На основу наведеног, комисија предлаже:</p>
<p><b><u>а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана;</u></b> б) да се докторска дисертација врати кандидату на дораду (да се допуни односно измени); в) да се докторска дисертација одбије.</p>
<p><b>X THE PROPOSAL:</b> Based on those mentioned above, the committee proposes:</p>

<p><b>a) to accept the doctoral thesis and to approve the candidate for public defence;</b> b) to return the doctoral thesis to the candidate (to be revised and changed); c) to reject the doctoral thesis.</p>
--

Time and place:

др Иван Бекер, редовни професор  
dr Ivan Beker, full professor

\_\_\_\_\_,  
председник/chairman

др Сандра Рамош, доцент  
dr Sandra Ramos, assistant professor

\_\_\_\_\_,  
члан/member

др Милан Делић, ванредни професор  
dr Milan Delić, associate professor

\_\_\_\_\_,  
члан/member

др Велибор Карановић, ванредни професор  
dr Velibor Karanović, associate professor

\_\_\_\_\_,  
члан/member

др Џон К. Духовски  
dr John K. Duchowski

\_\_\_\_\_,  
члан/member

др Митар Јоцановић, редовни професор  
dr Mitar Jocić, full professor

\_\_\_\_\_,  
ментор/mentor

**НАПОМЕНА:** Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.

**NOTICE:** Member of the committee who does not want to sign the report due to disagreement in opinion with the majority of the committee is obliged to write an explanation or reasons why he does not want to sign the report and sign the separate report written.