

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Петра Павловића**.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета организационих наука 05-01 бр. 3/59-7 од 07.06.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Петра Павловића** под насловом:

„Одређивање скупа компонената најзначајнијих за поузданост система“.

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

Кандидат Петар (Светислав) Павловић је 2009/2010 школске године уписао докторске студије на Факултету организационих наука, студијски програм Информациони системи и менаџмент, изборно подручје Операциона истраживања. Положио је све испите предвиђене планом и програмом докторских студија, са просечном оценом 10 (десет), и на тај начин стекао право израде приступног рада.

Наставно-научно веће Факултета организационих наука, Универзитета у Београду је именovalo Комисију за преглед и оцену научне заснованости приступног рада и теме докторске дисертације 15.10.2014. године, бр. одлуке 3/89-11. Кандидат Петар Павловић је 26.11.2014. године одбранио приступни рад под називом: „Нови приступ одређивању компонената најзначајних за поузданост система“, под менторством др Драгане Макајић-Николић, доцента Факултета организационих наука, Универзитета у Београду. Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације усвојен је на Наставно-научном већу 17.12.2014. године, бр. 3/135-10. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, на седници одржаној 09.02.2015. године, одлуком бр. 61206-205/2-15, одобрило је израду предложене докторске дисертације под насловом „Одређивање скупа компонената најзначајнијих за поузданост система“, а за ментора је именована др Драгана Макајић-Николић, доцент Факултета организационих наука, Универзитета у Београду. Наставно-научно веће Факултета организационих наука је на седници одржаној 11.03.2015. године одлуком 05-01 бр. 3/33-8 одобрило израду докторске дисертације и одобрено је именовање ментора др Драгане Макајић-Николић.

Ментор др Драгана Макајић-Николић је 31.05.2017. године известила Наставно-научно веће Факултета организационих наука да је кандидат Петар Павловић завршио израду

докторске дисертације, а Наставно-научно веће Факултета организационих наука је на седници одржаној 07.06.2017. године Одлука 05-01 бр. 3/59-7, именovalo Комисију за преглед, оцену и одбрану завршене докторске дисертације, у саставу:

1. др Драгана Макајић-Николић, доцент Факултета организационих наука, Универзитета у Београду, ментор;
2. др Мирко Вујошевић, редовни професор Факултета организационих наука, Универзитета у Београду, члан;
3. др Милан Станојевић, редовни професор Факултета организационих наука, Универзитета у Београду, члан;
4. др Мирјана Чангаловић, редовни професор у пензији Факултета организационих наука, Универзитета у Београду, спољни члан;
5. др Владимир Поповић, ванредни професор Машинског факултета, Универзитета у Београду, спољни члан.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација „Одређивање скупа компонената најзначајнијих за поузданост система“ припада научној области техничких наука, подручју организационих наука, ужој научној области Операциона истраживања. Ментор дисертације др Драгана Макајић-Николић, доцент Факултета организационих наука, Универзитета у Београду, изабрана је у звање у ужој научној области Операциона истраживања и докторирала је у ужој научној области Операциона истраживања. Ментор је објавила више од 100 радова у овој области од чега је 11 радова публиковано у часописима са SCI листе и коаутор је три уџбеника из области Операционих истраживања.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Образовање:

Кандидат Петар Павловић је рођен 19.07.1978. године у Шапцу, где је завршио основну и средњу школу (Гимназија - општи смер).

Студије на Факултету организационих наука, Универзитета у Београду, уписао је 1997/1998 школске године, као редован буџетски студент на смеру Информациони системи. Дипломирао је 2005. године, са просечном оценом 7,77 у току студија. 2006. године уписао је додатну годину дипломских академских студија (мастер) на Факултету организационих наука, смер Информациони системи. Мастер диплому је стекао 2008. године, са просечном оценом на додатној години мастер студија 9,86 и са укупном просечном оценом 8,06. Завршни (мастер) рад, на тему “Моделирање и симулација рада сигнализационе раскрснице применом Петријевих мрежа”, одбранио је 06.09.2011. године, под менторством проф. др Мирка Вујошевића.

Након мастер студија, школске 2009/2010 године уписује докторске студије на Факултету организационих наука, смер Информациони системи и менаџмент, изборно подручје Операциона истраживања. Положио је све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 10 (десет):

1. Нелинеарно програмирање, проф. др Вујчић Вера
2. Комбинаторна оптимизација, проф. др Чангаловић Мирјана
3. Нови трендови у операционим истраживањима, проф. др Вујошевић Мирко
4. Теорија алгоритама, проф. др Чангаловић Мирјана

5. Глобална оптимизација, проф. др Вујчић Вера
6. Статистика у менаџменту, проф. др Радојичић Зоран
7. Управљање ланцима снабдевања – одабрана поглавља, проф. др Вујошевић Мирко
8. Метаконструкције, проф. др Чангаловић Мирјана
9. Вишекритеријумска оптимизација и одлучивање, проф. др Станојевић Милан

Кандидат Петар Павловић је 26.11.2014. године одбранио приступни рад под називом „Нови приступ одређивању компонената најзначајних за поузданост система“, под менторством др Драгана Макајић-Николић, доцента, и потом започео рад на изради докторске дисертације.

Професионално и истраживачко искуство:

Кандидат Петар Павловић је од новембра 2005. до фебруара 2006. радио у Републичком заводу за статистику, одељење у Шапцу, као ИТ систем администратор. Од фебруара 2006. до данас запослен је у Високој медицинској и пословно-технолошкој школи струковних студија Шабац, на студијском програму Информационе технологије. Радио је најпре у звањима стручног сарадника, потом асистента у настави и коначно у звању наставника практичних вештина, при чему је обављао бројне наставне и техничко административне послове. Тренутно је ангажован на извођењу рачунарских вежби на четири наставна предмета (основи програмирања, програмски језици, електронско пословање и рачунарска графика), техничким пословима комплетне имплементације и администрације школског веб сајта, бројним комисијама као што су комисија за упис студената на основним и специјалистичким програмима, комисија за набавку техничке опреме и др. Радно искуство непрестано обогаћује разноврсним хонорарним пословима за појединце и приватне фирме.

Списак објављених радова

1. **Pavlović P**, Makajić-Nikolić D, Vujošević M. (2017) A new approach for determining the most important system components and the budget-constrained system reliability improvement. *EksplotacijaiNiezawodnosc – Maintenance and Reliability*; 19 (3): 413–419, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2017.3.12>
2. Vujošević M., Makajić-Nikolić D, **Pavlović P** (2017) A New Approach to Determination of the Most Critical Multistate Components in Multi-State Systems, *Proceedings of 2nd Maintenance Forum 2017: Maintenance and Asset Management*, Montenegro, Bečići, 23-27th May 2017, 141-147, ISBN 978-86-84231-42-2; COBISS.SR-ID 234788620
3. **Pavlović P**, Makajić-Nikolić D, Vujošević M, Čabarkapa D. (2016) Nova troškovna mera značajnosti, *Zbornik radova XLIII Simpozijuma o operacionim istraživanjima, Sym-Op-Is 2016*, Tara, 20-23 Septembar, 435-438. ISBN: 978-86-335-0535-2
4. Čabarkapa D, **Pavlović P**. (2016) Design and Analysis of Realistic Vehicle Traces Model based on the Evolutionary Algorithms, *ICEST 2016 Proceeding of Papers, 51st International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies*, 28 - 30 June, Ohrid, Macedonia, pp. 153-158, ISBN 978-9989-786-78-5
5. Čabarkapa D, Grujić I, **Pavlović P**. (2015) Comparative Analysis of the Bluetooth Low-Energy Indoor Positioning Systems, *TELKSIS*, Niš, 76-79, doi: 10.1109/TELKSIS.2015.7357741
6. **Pavlović P**, Makajić Nikolić D, Vujošević M. (2015) Novi pristup određivanju K najznačajnijih komponenata sistema, *Zbornik radova XLII Simpozijuma o operacionim istraživanjima, Sym-Op-Is 2015*, Srebrno Jezero, ISBN 978-86-80593-55-5, 634-637

7. **Pavlović P**, Makajić Nikolić D, Vujošević M (2014) Primena Petrijevih mreža u analizi i modeliranju lanaca snabdevanja. *Zbornik radova XLII Simpozijuma o operacionim istraživanjima, Sym-Op-Is 2014*, Divčibare, 299-304
8. Vujić S, Benović T, Miljanović I, Hudej M, Milutinović A, **Pavlović P** (2011) Fuzzy Linear Model for Production Optimization of Mining Systems With Multiple Entities. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 18(6) doi:10.1007/s12613-011-0488-8
9. **Pavlović P**, Makajić Nikolić D, Grujić I (2010) Simulacija rada signalisane raskrsnice primenom Petrijevih mreža. *Zbornik radova XXXVII Simpozijuma o operacionim istraživanjima, Sym-Op-Is 2010*, Tara, 681-684
10. Grujić I, **Pavlović P** (2010) Konvertor JAVA SWING APLIKACIJA U GWT aplikacije, *YU INFO 2010*, Kopaonik
11. Makajić Nikolić D, Andric B, Stanojević M, **Pavlović P** (2006) Simulacija rada semafora pomoću Petrijevih mreža *Zbornik radova XXXIII Simpozijuma o operacionim istraživanjima, Sym-Op-Is 2006*, Banja Koviljača, 433-436

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Петра Павловића, под насловом „Одређивање скупа компонената најзначајнијих за поузданост система“ написана је на 125 страна, садржи 2 слике и 29 табела. Увидом у попис коришћене литературе, уочава се да је кандидат користила 120 референтних јединица. Дисертација је структурирана на следећи начин:

1. Увод
 - 1.1. Проблем, предмет, циљ и хипотезе докторске дисертације
 - 1.2. Структура докторске дисертације
2. Анализа поузданости и мере значајности
 - 2.1. Стабло неисправности. минимални пресеци
 - 2.2. Категорије мера значајности
 - 2.3. Преглед класичних мера значајности
 - 2.3.1. Бирнбаумова мера значајности
 - 2.3.2. Фасл-Весели мера значајности
 - 2.3.3. Барлов-Прошен мера значајности
 - 2.4. Преглед нових мера значајности
 - 2.4.1. Мере највећег утицаја и ретких догађаја
 - 2.4.2. Мере значајности развијене за потребе индустрије електричне енергије
 - 2.4.3. *Cost-effective* мера значајности
 - 2.4.4. *Cost-based* мера значајности
 - 2.4.5. *JRI* мера значајности
 - 2.4.6. Мере значајности *DIM* и *DIM^{II}*
 - 2.5. Проблем издвајања скупа критичних компонената
3. Одређивање најзначајнијих компонената система као оптимизациони проблем
 - 3.1. Одређивање минималног броја догађаја којима се елиминишу сви минипресеци
 - 3.2. Одређивање *k* догађаја којима се елиминишу сви минипресеци

- 3.3. Одређивање k догађаја којима се елиминишу највероватнији минипресеци
- 3.4. Расподела ресурса на догађаје којима се елиминишу највероватнији минипресеци
4. Свођење проблема одређивања најзначајнијих компонената система на проблеме покривања скупа
 - 4.1. Проблем одређивања минималног броја догађаја којима се елиминишу сви минипресеци као проблем покривања скупа – ММ1
 - 4.2. Проблем одређивања k догађаја којима се елиминише максималан броја минипресека као проблем максималног покривања скупа – ММ2
 - 4.3. Проблем одређивања k догађаја којима се елиминишу највероватнији минипресеци као проблем тежинског максималног покривања скупа – ММ3
 - 4.4. Проблем расподеле ресурса на догађаје којима се елиминишу највероватнији минипресеци као проблем буџетског покривања скупа – ММ4
5. Експерименти над предложеним моделима и поређење са класичним мерама значајности
 - 5.1. Опис експеримената
 - 5.2. Нумерички резултати експеримената над моделом ММ1
 - 5.3. Нумерички резултати експеримената над моделом ММ2
 - 5.4. Нумерички резултати експеримената над моделом ММ3
 - 5.5. Нумерички резултати експеримената над моделом ММ4
 - 5.5.1. Примена новог приступа на примеру случаја саобраћајне несреће на железници
6. Проблем одређивања најзначајнијих компонената у сложеним системима
 - 6.1. Хеуристике
 - 6.2. Развој хеуристике за стабла великих димензија
 - 6.2.1. Хеуристички алгоритам за решавање проблема издвајања минималног броја догађаја којима се покривају сви минипресеци
 - 6.2.2. Хеуристички алгоритам за решавање проблема одређивања k догађаја чијим издвајањем се покривају највероватнији минипресеци
 - 6.2.3. Побољшани похлепни алгоритам за решавање проблема расподеле ресурса на догађаје чијим издвајањем се покривају највероватнији минипресеци
7. Експерименти са хеуристичким алгоритмом
 - 7.1. Резултати експеримената над моделом ММ1
 - 7.2. Резултати експеримената над моделом ММ3
 - 7.3. Резултати експеримената над моделом ММ4
8. Закључак
- Литература
- Прилози
- Биографија

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу докторске дисертације дефинисани су предмет и проблем истраживања, као и начин на који ће се анализирати постављени проблем истраживања. Постављен је циљ и хипотезе које ће бити тестиране применом научног метода описаног у наставку дисертације.

Друго поглавље описује мере значајности које су најчешће коришћене у литератури и пракси и начин на који се помоћу њих идентификују најкритичније компоненте у

систему. Указује се на слабости ових мера као и проблеми до којих долази приликом њихове примене. Након кратког осврта на традиционалне мере значајности, приказују се неке од новијих мера значајности које су формулисане и уведене са циљем делимичног превазилажења претходно објашњених недостатака.

Треће поглавље односи се нови приступ проблему одређивања критичних компонената који се предлаже у дисертацији. Приступ је заснован на анализи стабала неисправности и математичкој формулацији одговарајућег оптимизационог задатка. Квалитативна анализа стабала неисправности обухвата утврђивање минималних пресека као и различите начине њихових рангирања. Минимални пресеци представљају минималне комбинације отказа компонената система које изазивају отказ целог система. Предупређивањем отказа бар једне од компонената које улазе у састав минипресека постиже се елиминација целог минипресека као узрока отказа система и смањује се укупна вероватноћа отказа целог система. У овом поглављу су приказане математичке формулације четири варијанте проблема одређивања компонената најзначајнијих за поузданост система.

У четвртм поглављу се прво приказују различите варијанте познатог проблема покривања скупа. Затим се показује како се проблеми чије су нелинеарне формулације приказане у претходном поглављу, свде на проблеме покривања скупа: проблем одређивања минималног броја догађаја којима се елиминишу сви минипресеци формулисан је као проблем покривања скупа; проблем одређивања k догађаја којима се елиминише максималан број минипресека формулисан је као проблем максималног покривања скупа; проблем одређивања k догађаја којима се елиминишу највероватнији минипресеци формулисан је као проблем тежинског максималног покривања скупа; проблем расподеле ресурса на догађаје којима се елиминишу највероватнији минипресеци формулисан је као проблем буџетског покривања скупа.

У петом поглављу рада представљени су експерименти над групом тест примера – узорним стаблима неисправности тзв. *Benchmark Fault Trees*, као и анализа добијених резултата. Експерименти су извршени над четири претходно формулисана математичка модела, а за оптимизацију је коришћен софтвер *GLPK (Gnu Linear Programming Kit)*. Добијени резултати су упоређени са резултатима које дају неке од најчешће коришћених мера значајности. Показало се да се у три од четири дефинисана модела као најзначајније компоненте издвајају оне чији је заједнички утицај на поузданост система далеко већи од утицаја компонената које се добијају као најзначајније применом мера значајности описаних у другом поглављу дисертације.

Шесто поглавље се бави могућностима примене новог предложеног приступа за одређивање скупа најзначајнијих компонената система у случајевима када системи имају велики број међусобно зависних компонената. За овакве системе, формулисане оптимизационе проблеме није могуће решити у разумном времену. Због тога су за проблем одређивања минималног броја догађаја којима се елиминишу сви минипресеци и проблем одређивања k догађаја којима се елиминишу највероватнији минипресеци развијени хеуристички алгоритми засновани на методи променљивих околина (*Variable Neighborhood Search*). За решавање проблема расподеле ресурса на догађаје којима се елиминишу највероватнији минипресеци је развијен похлепни алгоритам.

Седмо поглавље рада садржи приказ резултата експеримената над групом тест примера – узорним стаблима неисправности из петог поглавља. Резултати експеримената су упоређени са резултатима добијеним егзактним решавањем помоћу *GLPK* софтвера као и са резултатима добијеним коришћењем мера значајности описаних у другом поглављу.

Осмо поглавље садржи закључке истраживања, потврде остварења постављених циљева и резултате тестирања хипотеза истраживања. Такође, садржи и преглед остварених научних и стручних доприноса, као и правце будућих истраживања.

Последње поглавље докторске дисертације садржи списак литературе која је коришћена приликом израде ове докторске дисертације.

3. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Актуелност проблема одређивања компонената најзначајнијих за поузданост система и интерес за ову област документован је у великом броју радова објављених у последњој деценији овог века, од којих су многи укључени у дисертацију. Ова област је од интереса у различитим аспектима развоја и функционисања сложених система: пројектовању, алокацији редундансе, унапређењу и одржавању система. Тренутно важећи концепти у пројектовању и одржавању сложених система су управо засновани на поузданости и као кључни елемент садрже фазу одређивања најзначајнијих компонената система. Поред тога, с обзиром да је број сложених система све већи и да они постају све сложенији, расте потреба за развијањем хеуристика за налажење решења у разумном времену. Обе наведене чињенице чине савременост дисертације неоспорном. Оригиналност дисертације огледа се у приступу који је суштински различит од постојећих приступа у одређивању најзначајнијих компонената. Приступ омогућава истовремено издвајање целог скупа најзначајнијих компонената система, чиме се превазилази један од главних недостатака постојећих приступа. Пре ове дисертације, постојао је мали број радова у којима је посматран заједнички утицај компонената на поузданост система али је та анализа била ограничена само на парове компонената. Предложеним приступом је могуће издвојити скуп најзначајнијих компонената било које кардиналности. Имајући у виду изнесено, може се закључити да је предмет истраживања дисертације у складу са савременим дешавањима и истраживачким трендовима, као и да добијени резултати истраживања представљају оригинални допринос кандидата постојећим знањима из ове области и отварају простор за њен даљи развој.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидат је у току израде докторске дисертације „Одређивање скупа компонената најзначајнијих за поузданост система“ користио 120 референтних јединица.

У дисертацији је коришћена релевантна и савремена литература, књиге и научни радови објављени у домаћим и међународно признатим часописима, као и зборницима радова са конференција из области директно везаних за тему докторске дисертације. Литература је коришћена у сврху представљања разматраног проблема истраживања и у циљу приказа досадашњих предлога за решавање сличних проблема и њиховог поређења. Овиме је утврђено да постоји потреба за развојем новог приступа. Приступом који је предложен обухваћена су два отворена питања у области мера значајности: узимање у обзир међузависности компонената и њиховог заједничког утицаја на поузданост система и укључивање буџетских ограничења у одређивању компонената најзначајнијих за поузданост система. Такође, приказане референце у литератури коришћене су и у циљу поређења предложеног новог приступа за одређивање најзначајнијих компонената са постојећим приступима, у сврху истицања

његових могућности примене, резултата и предности, односно доприноса ове дисертације.

У наставку је приказан ужи списак литературе, односно референци, које су од посебног значаја за израду и садржај ове докторске дисертације:

1. Aven, T., & Nokland, T. (2010). On the use of uncertainty importance measures in reliability and risk analysis. *Reliability Engineering and System Safety* 95, 127-133.
2. Birnbaum, Z. (1969). On the importance of different components in a multicomponent system. У P. Krishnaiah (Ур.), *Multivariate Analysis-II*. New York: Academic Press.
3. Borgonovo, E. (2007). A new uncertainty importance measure. *Reliability Engineering and System Safety* 92, 71-78.
4. Cassady, C., Pohl, E., & Jin, S. (2004). Managing availability improvement efforts with importance measures and optimization. *IMA Journal of Management Mathematics*, 15, 161-174.
5. Contini, S., & Matuzas, V. (2011). New methods to determine the importance measures of initiating and enabling events in fault tree analysis. *Reliability Engineering and System Safety* 96, 775-784.
6. Dufloy, N., Berenguer, C., Dieulle, L., & Vasseur, D. (2009). A min cut-set-wise truncation procedure for importance measures computation in probabilistic safety assessment. *Reliability Engineering and System Safety* 94, 1827-1837.
7. Espitritry, J., Coit, D., & Prakash, U. (2007). Component criticality importance measures for the power industry. *Electric Power Systems Research*, 407-420.
8. Gao, X., Baranady, J., & Markeset, T. (2010). Criticality analysis of production facility using cost importance measures. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 17-23.
9. Gupta, S., Bachtacharya, J., Barabady, J., & Kumar, U. (2013). Cost-effective importance measure: A new approach for resource prioritization in a production plant. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 30(4), 379-386.
10. Kuo, W., & Zhu, X. (2012). *Importance measures in reliability, risk and optimization*. Chichester: John Wiley & Sons.
11. Kuo, W., & Zhu, X. (2014). Some recent advances on importance measures in reliability. *IEEE Transactions on Reliability*, 61(2), 344-360.
12. Li, Y. F., Mi, J., Huang, H. Z., Zhu, S. P., & Xiao, N. (2013). Fault tree analysis of train rear-end collision accident considering common cause failure. *Eksplotacja i Niezawodnos-Maintenance and Reliability*, 15(4), 403-408.
13. Van der Borst, M., & Schoonakker, H. (2001). An overview of PSA importance measures. *Reliability Engineering and System Safety* 72 (3), 241-245.
14. Vaurio, J. (2010). Ideas and developments in importance measures and fault-tree techniques for reliability and risk analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 95, 99-107.
15. Vesely, W., Belhadj, M., & Rezos, J. (1994). PRA importance measures for maintainance prioritization applications. *Reliability Engineering and System Safety*, 43, 307-318.
16. Vesely, W., Davis, T., Denning, R., & Saltos, N. (1983). *Measures of risk importance and their applications*. Columbus: Battelle Columbus Labs, OH (USA).
17. Wu, S. (2005). Joint importance of multistate system. *Computers & Industrial Engineering*, 49, 63-67.
18. Wu, S., & Coolen, F. (2013). A cost-based importance measure for system components: An extension of the Birnbaum importance. *European Journal of Operational Research*, 189-195.
19. Yao, Q., Zhu, X., & Kuo, W. (2014). A Birnbauim-importance based genetic local search algorithm for component assignment problems. *Annals of Operations Research*, 212, 185-200.
20. Zio, E. (2011). Risk importance measures. У H. Pham (Ур.), *Safety importance measures and its applications* (стр. 151-196). London: Springer.

Треба истаћи да је кандидат користио и четири аутоцитата, од чега је један из међународног часописа, један са међународне и два са домаћих конференција.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Кандидат је у току израде ове дисертације користио методологију операционих истраживања у оквиру које је користио више општих и посебних научних метода.

Рад на дисертацији је отпочео сагледавањем постојећих научних резултата у области одређивања најзначајнијих компонената система, посебно у области мера значајности, начина њиховог моделирања; резултата у области комбинаторног проблема покривања скупа и његових варијанти: максималног покривања, тежинског покривања и буџетског покривања скупа; као и резултата у области хеуристика. У тој фази истраживања коришћене су научне методе систематизације и класификације научних сазнања, дедукције, анализе и упоређивања. На основу критичке анализе постојећих резултата дедукцијом се дошло до уочавања кључних проблема за које постојећи приступи не нуде одговарајућа решења.

У следећој фази истраживања учињен је покушај да се уочени проблем формализује и да се дефинише приступ за превазилажење уочених проблема. Креиран је оригинарни приступ за истовремено издвајање скупа критичних компонената који је заснован на оптимизацији. У овој фази коришћена је метода моделирања, односно математичко моделирање да би се формулисали математички модели дефинисаних оптимизационих проблема.

У трећој фази истраживања извршена су експериментална истраживања и у ту сврху коришћен је софтвер *GLPK (Gnu Linear Programming Kit)* за добијање оптималних решења проблема формулисаних за групу узорних стабала неисправности. За одређивање критичних компонената узорних стабала неисправности на основу традиционалних и нових мера значајности развијени су и имплементирани одговарајући алгоритми коришћењем програмског језика C. Поред тога, програмски језик C је коришћен и за имплементацију хеуристичких алгоритама развијених за решавање проблема великих димензија.

Ради евалуације предложеног приступа дефинисана је метрика којом се рачуна проценат побољшања поузданости система који се постиже уколико се обезбеди исправно функционисање најзначајнијих компонената. У циљу провере ефективности приступа, као и ефикасности развијених алгоритама, разматрана су стабла неисправности различитих димензија: броја примарних и посредних догађаја, броја и реда минималних пресека.

На основу наведеног закључује се да су примењене савремене адекватне научне методе и технике које по свом значају и структури одговарају теми дисертације и циљевима истраживања.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати дисертације су примењиви у различитим фазама развоја и функционисања сложених система, пре свега у фази одређивања компонената најкритичнијих за поузданост система. Приликом пројектовања сложених система, један од водећих концепата је *Design for reliability (DfR)*, који се примењује у почетној, идејној фази развоја система. Основна поставка овог концепта је да поузданост система примарно зависи од поузданости његових критичних компонената и да у фази пројектовања треба највише пажње усмерити на њих. У одржавању сложених система, широко примењени приступ треће генерације - Одржавање засновано на поузданости (*Reliability Centered Maintenance*) се у својој примени ослања на мере значајности у циљу одређивања најзначајнијих компонената система ка којима треба усмерити активности одржавања.

Последњих година је све заступљенији приступ управљању имовином заснованом на поузданости (*Reliability Centered Asset Management*) који такође као кључну активност подразумева одређивање критичних компонената ситема. Поред тога, резултати дисертације отварају простор за теоријску и практичну примену приступа у истовременом одређивању најзначајнијих компонената у системима са међустањима, системима који функционишу у условима неизвесности и другим системима који се разматрају постојећим мерама значајности.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације, кандидат Петар Павловић показао је способност да самостално обавља научни рад и решава научне проблеме. Кандидат поседује потребна стручна, теоријска и практична знања за самосталан научни рад, што је, поред израде ове докторске дисертације, доказао квалитетом и бројем објављених научних публикација, као и другим наведеним облицима ангажовања. Кандидат је у досадашњем научно-истраживачком раду показао да поседује темељитост, прецизност и озбиљност у приступу проблему, креативност у његовом решавању, као и способност сагледавања примене постојећих научних резултата на примерима из праксе.

Свеобухватни и систематизовани преглед литературе из области истраживања, показује способност кандидата за самостално откривање и сагледавање отворених проблема истраживања, као и критичку анализу постојећих сазнања. Кандидат Петар Павловић је развио оригиналан приступ за истовремено одређивање скупа компонената најзначајнијих за поузданост система, заснован на оптимизацији, који превазилази највећи недостатак постојећих мера значајности и који је од велике важности за решавање проблема из области поузданости и примера из праксе.

Током рада на дисертацији кандидат је објавио, као аутор или коаутор, радове у међународним часописима, као и у зборницима са домаћих и међународних конференција.

Узевши у обзир целокупни ток истраживања и остварене резултате у досадашњем научно-истраживачком раду, закључујемо да је кандидат Петар Павловић способан да се у потпуности самостално бави научно-истраживачким радом.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру ове дисертације као најважнији **научни** доприноси могу се издвојити:

- Систематизација постојећих научних сазнања из области одређивања критичних компонената ситема, посебно сазнања из области мера значајности.
- Дефинисан је оригинални приступ за истовремено одређивање скупа најзначајнијих компонената система којим се поред структуре система и поузданости компонената, разматра и међусобни утицај компонената. Дефинисање нове мере значајности компонената је фундаментални теоријски допринос дисертације и основа на којој су развијани оригинални оптимизациони модели и даља истраживања.
- Формулисани су проблем одређивања минималног броја примарних догађаја којима се елиминишу сви минимални пресеци и проблем одређивања k примарних догађаја којима се елиминише максималан број минималних пресека, који представљају структурне мере значајности.

- Формулисани су проблем одређивања k примарних догађаја којима се елиминишу највероватнији минипресеци и проблем расподеле ресурса на примарне догађаје којима се елиминишу највероватнији минипресеци, који представљају мере значајности засноване на поузданости.
- Постављени оптимизациони проблеми одређивања компонената најзначајнијих за поузданост система су формулисани као проблеми покривања скупова.
- Развијене су хеуристике које омогућавају одређивање најзначајнијих компонената сложених система великих димензија.
- Показано је да се истовременим издвајањем скупа најкритичнијих компонената постижу бољи резултати, у смислу повећања поузданости система, него постојећим мерама значајности.

Стручни допринос:

- Предложени приступ за одређивање компонената најкритичнијих за поузданост система има директну примену у пракси с обзиром на то да се у највећем броју актуелних приступа у пројектовању и одржавању сложених система највећа пажња усмерава на критичне компоненте система. Такође, овим приступом је омогућена надоградња и проширење на системе са више стања исправности компонената и самих система.

На основу прегледа литературе, имплементације развијеног приступа, спроведених експеримената и њихових резултата приказаних у овој докторској дисертацији, може се закључити да су **постављени циљеви, научни и општи**, остварени:

- Креиран је нови приступ за одређивање компонената најзначајнијих за поузданост система који разматра заједнички утицај групе компонената на поузданост и омогућава њихово истовремено издвајање. Извршена је валидација приступа упоређивањем експерименталних резултата са резултатима добијених традиционалним приступима над групом тест примера.
- Развијене су хеуристике за одређивање најкритичнијих компонената у сложеним системима које су евалуиране над групом тест примера..

На основу изложеног, може се закључити да добијени резултати докторске дисертације представљају оригинални научни допринос у односу на постојеће стање и отварају простор за даља истраживања.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у дисертацију, полазне хипотезе и циљеве истраживања, остварене резултате, научне и стручне доприносе, Комисија констатује да је кандидат успешно анализирао и систематизовао постојећа научна сазнања истраживањем обимне литературе, да је реализовао веома комплексно истраживање везано за развој новог приступа за одређивање компонената најкритичнијих за поузданост система. Остварени резултати истраживања оправдавају почетна очекивања и испуњавају захтеве за квалитет докторске дисертације. Поред оствареног научног доприноса, дисертација садржи и резултате који су значајни за практичну примену предложеног решења. Све постављене хипотезе су верификоване кроз теоријска разматрања и проверене експериментално, те је тиме остварен значајан допринос и добијена су сазнања која су релевантна за научну и стручну заједницу у овој области.

4.3. Верификација научних доприноса

Из докторске дисертације кандидата Петра Павловића проистекло је више научних радова објављених у часописима међународног значаја, као и у зборницима са домаћих и међународних конференција (категоризација извршена према препорукама Министарства просвете, науке и технолошког развоја Србије):

Категорија M22:

1. **Pavlović P**, Makajić-Nikolić D, Vujošević M. (2017) A new approach for determining the most important system components and the budget-constrained system reliability improvement. *EksploatacijaiNiezawodnosc – Maintenance and Reliability*; 19 (3): 413–419, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2017.3.12> (IF2016: 1,145)

Категорија M33:

1. Vujošević M., Makajić-Nikolić D, **Pavlović P** (2017) A New Approach to Determination of the Most Critical Multistate Components in Multi-State Systems, *Proceedings of 2nd Maintenance Forum 2017: Maintenance and Asset Management*, Montenegro, Bečići, 23-27th May 2017, 141-147, ISBN 978-86-84231-42-2; COBISS.SR-ID 234788620

Категорија M63:

1. **Pavlović P**, Makajić-Nikolić D, Vujošević M, Čabarkapa D. (2016) Nova troškovna mera značajnosti, *Zbornik radova XLIII Simpozijuma o operacionim istraživanjima, Sym-Op-Is 2016*, Tara, 20-23 Septembar, 435-438. ISBN: 978-86-335-0535-2
2. **Pavlović P**, Makajić Nikolić D, Vujošević M. (2015) Novi pristup određivanju K najznačajnijih komponenata sistema, *Zbornik radova XLII Simpozijuma o operacionim istraživanjima, Sym-Op-Is 2015*, Srebrno Jezero, ISBN 978-86-80593-55-5, 634-637

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и анализе докторске дисертације, Комисија сматра да је докторска дисертација под називом „Одређивање скупа компонената најзначајнијих за поузданост система“ кандидата Петра Павловића написана према свим стандардима научно-истраживачког рада. Такође, ова докторска дисертација испуњава све услове прописане Законом о високом образовању, стандардима, правилницима и статутима Факултета организационих наука и Универзитета у Београду. На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, Комисија констатује да је кандидат Петар Павловић успешно завршио докторску дисертацију, у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања.

Докторска дисертација приказује нови приступ дефинисању скупа најкритичнијих компонената и њихово одређивање решавањем одговарајућих оптимизационих проблема. Предложеним приступом се превазилази један од главних недостатака великог броја постојећих метода. Поред тога, развијени су и хеуристички алгоритми за одређивање критичних компонената у сложеним системима када због сложености израчунавања није могуће ефикасно примењивати егзактне алгоритме оптимизације. Приступ је евалуиран над групом тест примера поређењем са постојећим приступима одређивању најкритичнијих компонената. Развијене хеуристике су, такође, евалуиране над групом тест примера поређењем са оптималним решењима добијеним егзактним алгоритмима.

Петар Павловић је у докторској дисертацији дошао до оригиналних научних закључака, што је потврђено кроз публикацију једног рада у међународном научном часопису са SCIE листе са импакт фактором, категорије M22, као и радовима објављеним на

међународним и националним конференцијама. С обзиром на научну актуелност дисертације, оригиналност приказаних резултата, методолошку и тематску адекватност, ова докторска дисертација задовољава највише критеријуме и квалификује кандидата, Петра Павловића, за самосталан научно-истраживачки рад. Ценећи научне и стручне доприносе, који су изразом докторске дисертације остварени, Комисија констатује да су остварени постављени циљеви истраживања и дисертацију позитивно оцењује.

На основу свега претходно изложеног, предлажемо Наставно-научном већу Факултета организационих наука да се докторска дисертација под насловом **„Одређивање скупа компонената најзначајнијих за поузданост система“**, кандидата **Петра Павловића**, прихвати, изложи на увид јавности и, потом, упуту на коначно усвајање Већу научних области техничко-технолошких наука Универзитета у Београду.

У Београду 04.07.2017. године,

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Драгана Макајић-Николић, доцент,
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

др Мирко Вујошевић, редовни професор,
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

др Милан Станојевић, редовни професор,
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

др Мирјана Чангаловић, редовни професор у пензији,
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

др Владимир Поповић, ванредни професор,
Машински факултет, Универзитет у Београду