

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**  
**ФАКУЛТЕТ ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА**

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Стефана Марковића

Одлуком бр. 05-01 бр. 3/137-5 од 26.09.2018.г, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Стефана Марковића под насловом

**"Оптимизационо-симулациони приступ решавању проблема стохастичког програмирања"**

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 Стефан Марковић уписао је докторске студије 2012. године на Факултету организационих наука (студијски програм Информациони системи и менаџмент). Положио је све планом и програмом предвиђене испите.

Приступни рад на докторским студијама пријавио је 15.10.2014. године, када је формирана Комисија за преглед и одбрану приступног рада и оцену научне заснованости пријављене докторске дисертације. За ментора приступног рада је именован проф. др Мирко Вујошевић. Приступни рад под насловом „Оптимизационо-симулациони приступ решавању проблема стохастичког програмирања“ одбрањен је 31.10.2014. године. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 09.02.2015. године, одлуком 02 број: 61206-204/2-15, одобрило израду предложене докторске дисертације.

Ментор др Мирко Вујошевић, редован професор, известио је Наставно-научно веће Факултета организационих наука да је Стефан Марковић завршио израду докторске дисертације. Наставно-научно веће Факултета организационих наука је одлуком бр. 05-01 бр. 3/137-5 од 26.09.2018. године именовало Комисију за преглед, оцену и одбрану завршене докторске дисертације у саставу:

1. др Мирко Вујошевић, ред. проф ФОН-а
2. др Раде Лазовић, ванр. проф ФОН-а
3. др Драгана Макајић Николић, ванр. проф ФОН-а
4. др Александар Ђоковић, доцент ФОН-а
5. др Игор Миљановић, ванр. проф Рударско - Геолошког факултета

## 1.2 Научна област дисертације

Предмет истраживања докторске дисертације је стохастичко програмирање, односно развој и испитивање различитих приступа решавању стохастичких модела оптимизације. Основни проблем у примени стохастичких модела произилази из неизвесности параметара и чињенице да се оптимално решење дефинише и добија само за детерминистички двојник (представник) оригинала.

Проблем је оценити квалитет решења одређеног детерминистичког двојника са становишта вредности критеријумске функције, која може бити случајног карактера, као и са становишта вероватноће задовољења стохастичких ограничења (*chance constraint programming*).

Докторска дисертација припада области организационих наука, односно науци о менаџменту, област операциона истраживања за коју је Факултет организационих наука матичан. Поред области операционих истраживања, у докторској дисертацији се коришћена сазнања из области рачунарске статистике и квантитативног менаџмента.

Ментор проф. др Мирко Вујошевић који је руководио израдом дисертације је редовни члан Академије инжењерских наука Србије и поседује одговарајуће компетенције и [објављење релевантне научне радове у часописима међународног значаја](#) из области операционих истраживања и квантитативног менаџмента.

## 1.3 Биографски подаци о кандидату

Кандидат Стефан Марковић рођен је у Краљеву 18.08.1987. године. Основну школу и Гимназију завршио је у Краљеву. Носилац је Вукове дипломе. Факултет организационих наука, Универзитета у Београду, уписао је школске 2006/07. године. Дипломирао је 2010. године, са просечном оценом 9,05. Школске 2010/11. уписао мастер студије на Факултета организационих наука, Универзитета у Београду, (студијски програм Менаџмент и организација, модул Организација пословних система). Мастер студије завршио са просечном оценом 9.71, и 2011. године одбранио мастер рад.

Кандидат Стефан Марковић је 2012. године уписао докторске академске студије на Факултету организационих наука, Универзитета у Београду, на студијском програму Информациони системи и менаџмент, изборно подручје - менаџмент. Положио је све предвиђене испите и у октобру 2014. године одбранио је приступни рад за израду дисертације под називом „Оптимизационо-симулациони приступ решавању проблема стохастичког програмирања“.

Током мастер и докторских студија обавио је стручне праксе и учествовао у пројектима у више јавних предузећа:

- АД Електромрежа Србије
- ЈП Пошта Србије
- ЈП Електропривреда Србије
- ЈКП Паркинг Сервис
- ЈП Транснафта

Од априла 2013. године постаје стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја, распоређен на Факултету организационих наука као научноистраживачкој организацији на пројекту број ТР 35045 - Научно-технолошка подршка унапређењу безбедности специјалних друмских и шинских возила. Резултати добијени у раду на пројекту и истраживањима су искоришћени за објаву радова на конференцијама и часописима и за израду докторске дисертације. Од 2016. године ради у Нафтној индустрији Србије на више позиција у оквиру Сектора за организациону ефективност. Аутор је више научних радова са домаћих и међународних конференција и у међународним и домаћим научним часописима.

## 2 ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1 Садржај дисертације

Докторска дисертација је написана на 78 страница, садржи 2 слике и 9 табела. Дисертација се састоји од теоријског и методолошко-емпиријског дела. Дисертација садржи и кратак апстракт на српском и енглеском језику, биографију и обавезне прилоге: Изјава о истоветности штампане и електронске верзије рада, Изјава о коришћењу и Изјава о ауторству. Теоријски део обрађује теоријске поставке стохастичког програмирања: Концепт детерминистичког и стохастичког програмирања, Приступ робусног стохастичког програмирања, Приступ вероватносног задовољења ограничења (*Chance constrained programming*) и Симулациони приступ. Методолошко-емпиријски део дефинише иновативни оптимизационо-симулациони приступ и резултате експеримента.

Докторска дисертација се састоји из следећих поглавља и потпоглавља:

1. Увод
2. Стохастичко програмирање - теоријска поставка и емпиријска примена
  - 2.1. Основне поставке детерминистичког и стохастичког програмирања
    - 2.1.1. Постоптималне анализе
    - 2.1.2. Развој области стохастичког програмирања
    - 2.1.3. Основни параметри за дефинисање стохастичких модела
  - 2.2. Двофазни и вишефазни стохастички модели
  - 2.3. Робусни стохастички модели
  - 2.4. Приступ вероватносног задовољења ограничења (*Chance constrained programming*)
    - 2.4.1. Решивост модела вероватносног задовољења ограничења
    - 2.4.2. Симулациони приступ решавања проблема вероватносног задовољења ограничења
  - 2.5. Генерисање стабла сценарија као приступ решавања стохастичких проблема
    - 2.5.1. Стабилност генерисаних сценарија
3. Оптимизационо-симулациони приступ решавању проблема стохастичке оптимизације
  - 3.1. Приступ робусне оптимизације
  - 3.2. Приступ вероватносног задовољења ограничења
  - 3.3. Генерисање сценарија и метода симулације
  - 3.4. Итеративни оптимизационо-симулациони приступ
4. Поставка стохастичког проблема оглашавања
  - 4.1. Формулација математичког модела оглашавања
  - 4.2. Реални подаци коришћени у моделу
  - 4.3. Хеуристике за дефинисање и претрагу сценарија
    - 4.3.1. Хеуристика 1 - почетни и робусни сценарио
    - 4.3.2. Хеуристика 2 - корелације у оквиру група ограничења
    - 4.3.3. Хеуристика 3 - симулациони корак
5. Резултати истраживања и дискусија
  - 5.1. Дискусија и будућа истраживања

Литература

Прилози

### 2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу су укратко описани предмет, циљ, хипотезе (општа и посебне), методе истраживања, очекивани стручни и научни допринос, као и садржај дисертације. Назначене су основне карактеристике стохастичког програмирања, а посебно је истакнута проблематика неизвесности параметара у дефинисању детерминистичких двојника стохастичких проблема и њиховог решавања комбинованим методама оптимизације и симулације.

У другом поглављу се дефинишу и дају основне поставке линеарне оптимизације, разматрају се приступи третирању неизвесности у математичком програмирању и дефинишу начини генерисања сценарија и симулационих техника. Потом је дат преглед развоја области стохастичког програмирања и основни параметри за дефинисање стохастичких модела. Даље се разматрају различите врсте приступа решавања стохастичких проблема.

У зависности од временске димензије и фаза у којима се доносе одлуке дефинисани су двофазни и вишефазни стохастички модели. У наставку је дефинисан робусни приступ решавању стохастичких модела чија решења имају особину да су ограничења задовољења без обзира на реализације случајних параметара из предефинисаног скупа. Робусна оптимизација се дефинише као конзервативни приступ и још се назива и најгорим могућим сценаријом (*worst case scenario*), а у дисертацији је дат преглед радова из области где је са успехом коришћен робусни приступ решавању стохастичких проблема. Приступ вероватносног задовољења ограничења (*chance constrained programming*) је описан и дефинисан у наставку другог поглавља као приступ у коме доносилац одлуке прихвата одређени ризик да добијено оптимално решење не буде допустиво. У наставку је разматрана и решивост ових модела, односно димензионалност и рачунска изводљивост, а као једно од могућих начина решавања предложена је симулација. Потом је разматран проблем дискретизације случајних параметара модела у оквиру дела о генерисању стабла сценарија. Проблем дефинисања детерминистичких двојника је одређен као кључни проблем сваког задатка стохастичке оптимизације, и овде је указано на однос између дискретизације и рачунске изводљивости решавања тако генерисаних сценарија.

Овим је завршен преглед теоријских поставки и приступа решавању проблема стохастичке оптимизације, а указано је на комплементарност наведених приступа за оптимизацију у условима неизвесности.

У трећем поглављу је дат методолошки приступ који је коришћен у решавању проблема стохастичког програмирања. Дефинисан је иновативни оптимизационо-симулациони приступ као итеративни поступак који се састоји из фазе генерисања сценарија (детерминистичких двојника оригиналног стохастичког проблема) и њиховог решавања до оптималности, и фазе провере допустивости добијених решења симулацијом. Приступ комбинује концепте стохастичке и робусне оптимизације, где је робусни модел дефинисан као гранични случај. За дефинисање одговарајућих сценарија предлаже се коришћење хеуристика које треба прилагодити специфичном проблему који се решава. Дат је и преглед литературе где су коришћени слични оптимизациони-симулациони приступи у разним областима и указано је да је у последње време значајно увећан број радова због повећаних рачунских капацитета рачунара.

Новина у предложеном приступу је то што се снага симулације користи за решавање најтежег дела проблема, одређивање вероватноћа задовољења вероватносних ограничења. Алгоритам је детаљно описан и дефинисана је улога доносиоца одлуке као активног учесника у моделирању стохастичког проблема кроз његово прихватање или аверзију према ризику. У наставку су дати и основни теоријски концепти хеуристика, с обзиром на њихову кључну улогу у дефинисању разумног броја сценарија (детерминистичких двојника) које треба решити и проверити.

У четвртом поглављу је представљен реалан проблем и експеримент који је спроведен са циљем верификације оптимизационо-симулационог приступа. Разматрани проблем се односи на проблем оглашавања у штампаним медијима. Дат је преглед релевантне литературе из области и примењених метода решавања проблема. Циљ оптимизационог задатка се односи на избор оптималног броја огласа које треба пласирати на одговарајуће позиције у различите новине. Рејтинзи огласа су стохастички параметар за које је дефинисана нормална расподела, а проблем је дефинисан као мешовити целобројни стохастички модел. У наставку је представљен математички модел, дефинисана су ограничења и одређена вероватноћа задовољења за стохастичка ограничења. Потом су дати реални подаци који су коришћени у моделу. На крају четвртог поглавља дефинисане су три групе хеуристика које су коришћене у првој фази оптимизационо-симулационог приступа, односно за генерисање сценарија.

Пето поглавље даје детаљне резултате истраживања, представљене табеларно и графички, коришћене софтвере и рачунарске капацитете. Представљени резултати показују на који начин су генерисани сценарији и потврђене предложене хеуристике из претходног поглавља уз задовољење минималних критеријума које је поставио доносилац одлуке.

У Закључку су наведени резултати истраживања и дати су описи неких од отворених питања која могу да представљају правце будућег истраживања.

У литератури је наведен списак референци од којих највећи број чине радови у часописима који имају међународни значај. Цитирани радови који се односе на примену комбинованих метода оптимизационо-симулационог приступа су претежно из последњих десетак година што указује на актуелност посматране проблематике.

### **3 ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1 Савременост и оригиналност**

Докторска дисертација "Оптимизационо-симулациони приступ решавању проблема стохастичког програмирања" кандидата Стефана Марковића обрађује проблематику стохастичког програмирања и интеграцију метода оптимизације и симулације за решавање сложених реалних проблема у којима су улазни параметри модела неизвесне променљиве. Развој области стохастичког програмирања почео је готово упоредо са развојем области линеарног програмирања јер су већ на самом почетку уочена одређена ограничења линеарних модела у представљању и решавању реалних проблема.

Концепт оптимизационо-симулационог приступа није новост у оптимизацији, али су димензионалност проблема и ограничени рачунски капацитети рачунара ограничавали ефикасно решавање стохастичких проблема и озбиљније практично коришћење методе. Међутим, број оптимизационо-симулационих приступа се знатно увећао услед значајно повећаних рачунских капацитета рачунара, а доказ убрзаном развоју ове области представља растући број радова у часописима међународног значаја и на међународним конференцијама који обрађују велики број области.

Наведена литература у дисертацији показује савременост општег приступа, што је и био мотив да се развије још један иновативни оптимизационо-симулациони приступ решавању стохастичких проблема. Анализом прегледне литературе закључено је да је интеграција метода оптимизације и симулације ефикасан начин решавања стохастичких проблема, а новина у предложеном приступу је та што се снага симулације користи како би се одредиле вероватноће за задовољење вероватносних ограничења. Симулација се користи за решавање најтежег дела проблема вероватносног ограничења, проналажење вероватноћа за задовољење ограничења, што је често основни узрок због чега су ови проблеми нерешиви.

Основна идеја је да се оригинални, стохастички модел, замени са новим детерминистичким моделом (сценаријом) који ће дати најбоља решења под условом да су ограничења задовољена са унапред дефинисаном вероватноћом. Сам приступ се састоји из две фазе - оптимизационе фазе у којој се дефинишу сценарији и детерминистички модели се решавају до оптималности, и од симулационе фазе, где се проверава валидност сценарија тако што се вероватноћа задовољења ограничења потврђује уз помоћ симулације.

Предложени приступ захтева дефинисање значајног броја сценарија које треба проверити како би се пронашао сценарио који ће испунити очекиване постављене вероватноће за задовољење ограничења. Разлог лежи у сложености стохастичких проблема, односно у неограниченом броју могућих сценарија које треба разматрати. Уочена је потреба за смисленим начином дефинисања сценарија који ће бити преточен у општа правила при решавању сличних проблема. Начин на који је превазиђен овај проблем је дефинисање неколико једноставних хеуристика чија примена доводи до ефикасног проналажења жељеног сценарија. Ефикасност и ефективност оптимизационо-симулационог приступа у великој мери зависи од хеуристика за генерисање сценарија.

У складу са Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, извршена је провера оригиналности дисертације коришћењем програма iThenticate. Анализа је дала мање од 4% поклапања при чему су сва утврђена поклапања са процентом мањим од 1%, а само три поклапања су већа од 50 речи и то: (1) 201 реч: Општи делови из назива дисертације (nardus.mpn.gov.rs : назив факултета, афилације чланова комисије и слично); (2) 108 речи: бројке као улазни подаци којима се дефинишу опсеги симулационог експеримента на основу математичког очекивања и одступања; (3) 52 речи: исто као под (2). За све остале изворе поклапање је мање од 45 речи и односи се на опште појмове који се користе у операционим истраживањима и сл. Закључено је да су поштована су академска правила цитирања и да је у потпуности је потврђена оригиналност дисертације.

Оригиналност у приступу решавања проблема и добијених резултата у оквиру ове дисертације потврђује и рад публикован у међународном часопису (Stefan Marković, Mirko Vujošević, Dragana Makajić-Nikolić, An Optimization-Simulation Approach to Chance-Constraint Programming, Journal of Information Technology and Control, 47(2), 2018, DOI 10.5755/j01.itc.47.2.18712), као и радови саопштени на међународним научним скуповима.

На основу изложеног, може се закључити да добијени резултати докторске дисертације представљају научни допринос у односу на постојеће стање, и отварају простор за даља истраживања. Значај теме докторске дисертације огледа се и у чињеници да је модел примењив у пракси на велики број различитих области.

### 3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

Коришћена литература у дисертацији обухвата преглед од настанка области стохастичког програмирања до савремених истраживања и релевантна је и адекватна дефинисаном предмету истраживања и његовом садржају. Највећи број релевантних истраживања из области којом се бави ова дисертација објављени су у међународним часописима и на релевантним научним конференцијама. Кандидат је приликом писања докторске дисертације користио литературу која обухвата 84 референци, а међу коришћеним изворима највише је радова објављених у научним часописима са SCI и SSCI листе.

Часописи из којих је највећи број референци су: *Journal of Marketing, Operations Research, Marketing Science, Journal of Optimization Theory and Applications, Expert*

*Systems with Applications, European Journal of Operational Research, Omega, Journal of Advertising, Management Science, Mathematics of Operations Research, SIAM Journal on Optimization, Psychological Review.* Осим наведених разматрани су и следећи часописи у прегледу литературе: *Renewable Energy, Manufacturing Service Operations Management, Strategic Management Journal, IMA Journal of Management Mathematics, Computers in Industry, Computational Optimization and Applications, Journal of Marketing Research, Econometrica, The American Economic Review, Mathematical Programming, International Journal of Production Economics, Strategic Management Journal, Journal of Finance, Journal of Business Research, Water Resources Management.*

Литература обухвата утицајне ауторе и радове из релевантних часописа и са конференција који су сродни са темом и облашћу истраживања којом се дисертација бави:

- Bunn, Derek W. and Spiros N. Paschentis. 1982. "Linear Programming with Uncertain Parameters: An Applications Review." *Computers in Industry* 3(4):283–96.
- Ben-Tal, A. and A. Nemirovski. 1998. "Robust Convex Optimization." *Mathematics of Operations Research* 23(4):769–805.
- Dupačová, Jitka, N. Growe-Kuska, and W. Romisch. 2003. "Scenario Reduction in Stochastic Programming an Approach Using Probability Metrics." *Mathematical Programming* 95(3):493–511.
- Ben-Tal, A., B. Golany, A. Nemirovski, and J. Vial. 2005. "Retailer-Supplier Flexible Commitments Contracts: A Robust Optimization Approach." *Manufacturing Service Operations Management* 7(3):248–71.
- Kall, Peter and Janos Mayer. 2005. *Stochastic Linear Programming*. Berlin: Springer.
- Bertsimas, D. and A. Thiele. 2006. "A Robust Optimization Approach to Supply Chain Management." *Operations Research* 54(1):150–68.
- Pagnoncelli, B. K., S. Ahmed, and A. Shapiro. 2009. "Sample Average Approximation Method for Chance Constrained Programming: Theory and Applications." *Journal of Optimization Theory and Applications* 142(2):399–416.
- King, A. J. and S. W. Wallace. 2012. *Modeling with Stochastic Programming*. New York: Springer.
- Mousavi, Shabnam and Gerd Gigerenzer. 2014. "Risk, Uncertainty, and Heuristics." *Journal of Business Research* 67(8):1671–78. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.jbusres.2014.02.013>).
- Arnold, Uwe and Özgür Yildiz. 2015. "Economic Risk Analysis of Decentralized Renewable Energy Infrastructures - A Monte Carlo Simulation Approach." *Renewable Energy* 77(1):227–39.
- Bruni, M. E., P. Beraldi, and D. Conforti. 2015. "A Stochastic Programming Approach for Operating Theatre Scheduling under Uncertainty." *IMA Journal of Management Mathematics* 26(1):99–119.
- Mavrotas, George, Olena Pechak, Eleftherios Siskos, Haris Doukas, and John Psarras. 2015. "Robustness Analysis in Multi-Objective Mathematical Programming Using Monte Carlo Simulation." *European Journal of Operational Research* 240(1):193–201.
- Beltran-Royo, C., L. F. Escudero, and H. Zhang. 2016. "Multiperiod Multiproduct Advertising Budgeting: Stochastic Optimization Modeling." *Omega* 59(A):26–39.

### 3.3 Опис и адекватност примењених научних метода

Научне методе коришћене у дисертацији у потпуности одговарају предмету истраживања и циљу провере општих и посебних хипотеза. За потребе истраживања сакупљана је и проучавана доступна литература из области оптимизационо-

симулационог приступа, као и област оглашавања из које је урађен експеримент. Основне методе истраживања које су коришћене су методе прикупљања, анализе и критичке обраде научних резултата, класификација резултата и експериментата из праксе и туђих искустава у предметној области. Детаљно је анализирана и систематизирана област метода стохастичке оптимизације, симулације и хеуристике са циљем да се покаже оправданост и корисност интеграције поменутих области у развоју иновативног приступа решавања проблема у условима неизвесности.

При тестирању општих и посебних хипотеза коришћен је већи број научних метода. Од општих метода коришћене су методе компаративне анализе, аналитичке и статистичке методе, дескриптивне анализе и метода моделовања. Поред општих метода, коришћене су и посебне методе истраживања у складу са предметом и циљем истраживања докторске дисертације, и то: методе операционих истраживања и математичког програмирања за решавање проблема стохастичког програмирања, метода генерисања сценарија и хеуристичке методе за дефинисање корисних правила генерисања сценарија. За тестирање резултата истраживања коришћен је комбиновани оптимизационо симулациони приступ и метод експериментисања на рачунару.

Ради тестирања стохастичког проблема и решавања детерминистичких двојника коришћен је програмски пакет (солвер) *GLPK* (GNU Linear Programming Kit - <https://www.gnu.org/software/glpk/>), а симулациони део је у потпуности програмиран на *Java* платформи коришћењем софтвера *NetBeans IDE 7.3* одакле је коришћен и генератор случајних бројева за одговарајућу расподелу случајних параметара. Тестирања су извршена на процесору: *Intel (R) Core (TM) i3-2310M 2.10GHz*.

На основу анализе докторске дисертације може се закључити да су коришћене научне методе и технике одговарајуће и у складу са разматраним проблемом, предметом и циљевима истраживања.

### 3.4 Применљивост остварених резултата

Резултати представљени у докторској дисертацији имају широку практичну примену при решавању реалних проблема у условима неизвесности. Имајући у виду сложеност и неизвесност савременог пословања, велики број непознатих и непредвидивих параметара на основу којих је потребно донети управљачку одлуку, развој једног иновативног оптимизационо-симулационог приступа има своју оправдану сврху и примену у реалним проблемима. Сам приступ врло добро користи рачунску моћ савремених рачунара у решавању проблема велике димензионалности. Итеративни поступак приступа омогућава ономе ко моделира проблем да са сваком новом итерацијом, односно сценаријом, стекне нови увид о проблему који решава.

Важно је истаћи да је сам приступ је интуитиван и релативно лако разумљив тако да омогућава доносиоцу одлуке да на прилично једноставан начин претражује област допустивих решења и да, према сопственим критеријумима, изабере оно решење за које сматра да ће му највише одговорати. У ту сврху, за класу проблема која је посматрана развијене су хеуристике које олакшавају претрагу области допустивих решења, односно једноставна правила која у разумном временском периоду и уз проверу релативно малог броја сценарија проналазе тражено решење под задатим условима и за прихваћени ризик. Експеримент приказан у докторској дисертацији показује да представљени комбиновани оптимизационо-симулациони приступ може бити успешно коришћен на примеру из праксе, али у другим сличним областима.

### 3.5 Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад



Области научног интересовања кандидата Стефана Марковића су операциона истраживања и квантитативни менаџмент. Стекао је значајно практично искуство радећи на побољшању ефикасности организације у Нафтној индустрији Србије.

У току израде дисертације кандидат је показао самосталност у раду као и способност да сагледа проблем из области истраживања коришћењем адекватних научних метода и техника са више аспеката и да приступи његовом решавању. Кандидат је на адекватан начин представио постојећа сазнања из области комбинованих оптимизационо-симулационих приступа, дефинисао структуру проблема истраживања и развио иновативни приступ решавању проблема стохастичке оптимизације, што је потврдио експериментом на реалном проблему. Све наведено је верификовано објављивањем постигнутих резултата у научним часописима и конференцијама.

Претходно наведено потврђује оцену да кандидат Стефан Марковић поседује потребно теоријско, стручно и практично знање и искуство за самосталан научни рад.

## 4 ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1 Приказ остварених научних доприноса

Основни допринос докторске дисертације представља дефинисање оригиналног оптимизационо-симулационог приступа који се базира на комбинованим методама решавања проблема стохастичке оптимизације, а који је потврђен кроз тестирање на реалном примеру. Дефинисан је итеративни приступ који на систематичан начин, уз примену предложених хеуристика, претражује област допустивих решења користећи снагу симулације за проверу вероватноће задовољења ограничења које дефинише доносилац одлуке.

Коначни резултат истраживања је примена предложеног приступа на примеру оглашавања у штампаним медијима. Нови приступ знатно олакшава претраживање области допустивих решења генерисањем и провером сценарија симулацијом, и пружа једноставан апроксимативни начин решавања, иначе сложених, стохастичких проблема који је интуитиван и лако применљив на реалне проблеме.

У складу са наведеним, кључни доприноси докторске дисертације објављени у научној и стручној литератури су следећи:

- развој методолошког оквира који представља нови приступ решавању проблема стохастичке оптимизације
- интеграција метода оптимизације и симулације на иновативан начин
- примена концепта робусног програмирања и концепта вероватносног задовољења ограничења приступа при решавању реалних проблема
- имплементација предложеног модела оптимизационо-симулационог приступа на реалном проблему
- анализиран је проблем оглашавања, односно неизвесност података у реалном проблему и начин њиховог дефинисања као случајних улазних параметара стохастичког проблема
- развијене су и примењене оригиналне хеуристике које дају правила за генерисање сценарија за посматрани проблем
- верификација хеуристика извршена је у оквиру самог модела, симулирањем неизвесности у моделу и провером вероватноће задовољења ограничења
- дат је преглед и критички осврт на литературу из области која је предмет истраживања

## 4.2 Критичка анализа резултата истраживања

Циљ истраживања спроведеног у дисертацији је да се предложи нови комбиновани приступ решавању проблема стохастичког програмирања, користећи методе оптимизације и симулације. Полазна основа за развој новог приступа је била постојећа литература и научни радови из наведене области. Највећи проблем који је требало решити је начин провере вероватноће задовољења ограничења (*chance-constraints*) са сваким новим сценаријом, односно детерминистичким двојником оригиналног стохастичког проблема. Проблем је превазиђен коришћењем снаге симулације за генерисање матрице случајних улазних параметара за познату расподелу и њиховом провером за задати сценарио.

Резултат истраживања је нови приступ решавању проблема стохастичког програмирања који користи комбиновани приступ и хеуристике за генерисање, проверу и проналажење одговарајућег сценарија. Развијени приступ је показао применљивост и ефикасност при решавању реалних проблема, уз уважавање преференција доносиоца одлуке које је интегрисано у сами модел. Такође, спроведено истраживање показује значај хеуристика за налажење „довољно добрих решења” и даје могућност за развој нових хеуристика за друге, специфичне реалне проблеме.

Верификација научних доприноса је обављена кроз процес ригорозне рецензије и објављивање радова у међународном часопису (M23), као и саопштењима на једној од водећих конференција у области операционих истраживања код нас и у свету:

Stefan Marković, Mirko Vujošević, Dragana Makajić-Nikolić, An Optimization-Simulation Approach to Chance-Constraint Programming, *Journal of Information Technology and Control*, 47(2), 2018, DOI 10.5755/j01.itc.47.2.18712, IF 0.800; M23.

Vujošević, M., Marković, S., Optimizaciono-simulacioni pristup stohastičkom linearnom programiranju, XL Simpozijum o operacionim istraživanjima, SYM-OP-IS 2013, Zlatibor, 09-12 septembar 2013., pp. 523-527, ISBN 978-86-7680-286-9,

Lukić, M., Marković, S., Robusna optimizacija na primeru određivanja optimalnog plana proizvodnje, XLII International Symposium on Operational Research, SYM-OP-IS 2015, Silver Lake Resort, 15-18. September 2015., pp 261-264, ISBN 978-86-80593-55-5

Vujosevic, M. Markovic S. (2013). An optimization — simulation approach to stochastic linear programming problem. In the Proceedings of the 26th European Conference on Operational Research - EURO 2013 (p. 108). Rome, Italy. 1-4 July.

Vujosevic, M. Markovic S. (2016). An Advertisement Placement Problem Solved by Optimization-simulation Approach. In the Proceedings of the 28th European Conference on Operational Research - EURO 2016 (p.134). Poznan, Poland. 3-6 July.

## 5 **ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

На основу прегледа докторске дисертације под називом "Оптимизационо-симулациони приступ решавању проблема стохастичког програмирања" кандидата Стефана Марковића, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је докторска дисертација написана у складу са свим стандардима научно-истраживачког рада и да испуњава услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима, правилницима и Статутом Факултета организационих наука, Универзитета у Београду.

Тема докторске дисертације је актуелна, а представљени резултати истраживања одговарају предмету и циљевима истраживања. Све хипотезе, општа и појединачне, тестиране су на реалном проблему и потврђене примером из праксе и Комисија констатује да је кандидат Стефан Марковић успешно завршио докторску дисертацију.

На основу свега наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета организационих наука да се докторска дисертација под називом "Оптимизационо-симулациони приступ решавању проблема стохастичког програмирања" кандидата Стефана Марковића, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

#### **ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ**

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

.....  
Проф. др Раде Лазовић, ванредни професор,  
Универзитет у Београду, Факултет организационих  
наука

.....  
Проф. др Драгана Макајић Николић, ванредни  
професор,  
Универзитет у Београду, Факултет организационих  
наука

.....  
Проф. др Александар Ђоковић, доцент,  
Универзитет у Београду, Факултет организациони  
наука

.....  
Проф. др Игор Миљановић, ванредни професор,  
Универзитет у Београду, Рударско - геолошки  
факултет