

Наставно-научном већу  
Математичког факултета  
Универзитета у Београду

Одлуком Наставно-научног већа Математичког факултета Универзитета у Београду донетом на седници одржаној 11. 9. 2015. одобрена је тема дисертације и одређена Комисија за преглед и оцену. На седници 14.9.2018. промењен је састав Комисије за преглед и оцену рукописа

**„Математички модели и различити начини вишекритеријумске оптимизације у интермодалном транспорту“**

који је кандидат **Ђорђе Стакић** поднео као своју докторску дисертацију. Комисија је предати рукопис пажљиво прочитала и подноси Наставно – научном већу следећи

## **ИЗВЕШТАЈ**

### **Биографија кандидата**

Ђорђе Стакић је рођен 3. марта 1982. године у Крупњу, где је завршио основну школу као ученик генерације. Током школовања освајао је награде на републичком и савезном такмичењу из математике и републичком такмичењу из хемије. Завршио Математичку гимназију у Београду и Математички факултет Универзитета у Београду, где је 17.1.2007. дипломирао на смеру Рачунарство и информатика са просечном оценом 9,72. Исте 2007. године уписао је докторске студије на Математичком факултету, а од 2009. је студент докторских студија информатике по новом студијском програму. У периоду од 2007. до 2009. два пута је биран у звање сарадника у настави на Катедри за рачунарство и информатику Математичког факултета. Током тог периода држао је вежбе из предмета: Програмирање 1, Програмирање 2, Преводиоци и интерпретатори и Превођење програмских језика. После одслужења војне обавезе од 2010. године је запослен у Рачунарској лабораторији Математичког факултета. Био је члан организационог одбора симпозијума Математика и примене на Математичком факултету сваке године од 2011. до 2021. године, као и члан организационог одбора конференције SYMOPIS 2018. и 2022. године. Током две школске године 2012/13 и 2013/14 држао је факултативни курс Елементарна математика за студенте прве године Математичког факултета. Школске 2008/09 године хонорарно је био ангажован као професор у Математичкој гимназији у Београду. Иницијатор је идеје да се Википедија користи као платформа за студентске семинарске радове. На тај начин је остварио сарадњу са више факултета и средњих школа. Аутор је и реализатор семинара за стручно усавршавање наставника, као и семинара за обуку библиотекара (Вики-библиотекар). Од 2014. године се у научном смислу највише бави оптимизацијама које имају примене у транспорту. Из тога је проистекло више радова у научним часописима и на међународним конференцијама. Од 2018. године ради као асистент на Катедри за статистику и математику Економског факултета Универзитета у Београду, где је биран за предмете Пословна информатика, Математика и Финансијска и актуарска математика. Поред тога држао је вежбе из више информатичких предмета.

## Приказ дисертације

Ако се приликом транспорта добара користи нека комбинација водних, сувоземних или ваздушних путева, такав транспорт назива се интермодалним. У овом раду се решавају два проблема везана за интермодални транспорт: проблем расподеле великог пакета на више контејнера и проблем паковања у контејнере мањих пакета. У оба случаја полази се од претпоставке да су пакети карактерисани својим масама и запреминама, као и да су различити типови контејнера окарактерисани својим капацитетима у односу на масу и запремину.

Прво поглавље је уводно.

У другом поглављу је формулисан проблем и критеријуми оптимизације, као и приказ стања у области интермодалног транспорта. Треће поглавље разматра први од горе наведених проблема, проблем расподеле великог пакета на више контејнера. Направљено неколико варијанти модела, зависно од тога да ли се користе претходно одређене оптималне трасе по задатом параметру, или се у оквиру модела истовремено проналазе и оптималне трасе. За решавање проблема користе се егзактне и метахеуристичке методе. Приликом решавања проблема коришћени су реални улазни подаци добијени од компанија које се баве интермодалним транспортом. За веће инстанце проблема улазни подаци су случајно генерисани. За случај оптимизације по два критеријума, цене и загађења, имплементирано је одређивање Парето скупова.

Други наведени проблем, оптимално паковање пакета окарактерисаних својим масама и запреминама, разматра се у другом делу дисертације, који се састоји од четвртог и петог поглавља. Општији проблем је у литератури познат као хетерогени векторски проблем паковања (енгл. Heterogeneous vector bin packing). У специјалном случају који се овде разматра вектори придужени пакетима имају две координате, масу и запремину. Векторски проблеми паковања се разликују од геометријских који подразумевају просторно распоређивање пакета унутар контејнера. Векторски проблем паковања користе у пракси компаније које се баве контејнерским транспортом, а поред тога, ограничења масе и запремине дефинисана су стандардима. Проблем је хетерогени јер могу да се користе различити типови контејнера. Због сложености проблема за веће инстанце је тешко одредити егзактно решење, па је у раду развијено неколико варијанти метахеуристичких метода GRASP и VNS. Важни радови који се баве овим проблемом су рад [1] из 1994. године, где је модел први пут уведен, и новији рад [2] из 2016. године.

У поглављу 5 разматра се хомогена варијанта проблема паковања, када сви контејнери имају исте капацитете у односу на масу и запремину. За хомогено векторско паковање у раду [3] је описана библиотека од 400 инстанци, које су касније решаване и у другим радовима. Тако је у раду [4] оптимално решено 330 инстанци, док за 70 инстанци решење није добијено. У раду [64] приказана је друга хомогена библиотека од 400 већих инстанци. Аутори рада наводе да су за 339 инстанци пронашли оптимална решења, док су за осталих 61 инстанци пронашли границе у којима се оптимална решења налазе. Методе GRASP и VNS развијене у оквиру дисертације за нехомогени случај прилагођене су за решавање хомогеног случаја. Резултати су упоређени са тачним резултатима добијеним помоћу решавача CPLEX и са резултатима које су добили други аутори. Ови резултати за методу GRASP објављени су у раду [5]. Најбоље резултате постиже варијанта методе VNS, која оптимално решава 60 од 70 инстанци које нису решене у раду [4].

Поглавље 6 је закључак.

## Главни научни доприноси дисертације

Формирано је више математичких модела представљених у 3. поглављу, који описују разне аспекте интермодалног транспорта. У моделима се разматра распоређивање великих пакета, задатих својим масама и запреминама, у контејнере. Део ових резултата објављен је у радовима на конференцијама [30, 42].

Развијено је више варијанти метахуристичких метода GRASP и VNS за оптимално распоређивање више пакета на контејнере у складу са задатом циљном функцијом. За хетерогени случај генерисана је сопствена библиотека од 50 инстанци. Осим тога генерисано је и 6 малих инстанци, величина: 10, 11, 12, 13, 15 и 20 пакета. Развијени методи су тестирани на овој библиотеци инстанци. Добијена решења су упоређивана међусобно, као и са оним решењима добијеним егзактним решавачем CPLEX. Осим тога, варијанте метода GRASP и VNS су упоређене са поступцима приказаним у раду [2]; показале су боље перформансе приликом одређивања минималног броја потребних контејнера, као и код одређивања минималне цене транспорта свих пакета. Резултати добијени методом VNS објављени су у раду [63], а методом GRASP у раду [5].

За хомогени случај добијена решења су тестирана на библиотеци од 400 инстанци из рада [3] и упоређена су са решењима из литературе, међусобно, као и са решењима добијеним егзактним решавачем CPLEX. Резултати за методу GRASP објављени су у раду [5], при чему су у дисертацији додатно поправљени. Најбољи резултати добијају се методом VNS, којим је пронађено 365 гарантовано оптималних решења скупа од 400 хомогених инстанци из поменуте библиотеке. При томе је оптимално решено 60 од 70 нерешених инстанци из рада [4]. Осим на овој библиотеци хомогених инстанци метода VNS је тестирана на новијој библиотеци од 400 великих хомогених инстанци из рада [64], од којих за 61 инстанцу није пронађено оптимално решење, већ само границе у којима се оно налази. Предложеном методом VNS је из тог подскупа од 61 инстанце оптимално решено 10 инстанци, а за четири инстанце померена је горња границу за оптимално решење. Ови резултати су објављени у раду [63] на SCI листи.

## Научни радови кандидата

Оригинални резултати кандидата који се односе на проблематику докторске дисертације публиковани су у више радова.

### Радови у часописима са SCI листе:

- [1] Đorđe Stakić, Miodrag Živković, Ana Anokić: „A Reduced Variable Neighborhood Search Approach to the Heterogeneous Vector Bin Packing Problem“. *Information Technology and Control*, vol. 50, no. 4, pp. 808-826, 2021, ISSN 1392-124X, <https://doi.org/10.5755/j01.itc.50.4.29009> (M23, IF 2020 1.228)
- [2] Ana Anokić, Zorica Stanimirović, Đorđe Stakić, Tatjana Davidović: „Metaheuristic approaches to a vehicle scheduling problem in sugar beet transportation“, *Operational Research*, vol. 21, issue 3, 2021–2053 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12351-019-00495-z> (M22, IF 2020 2.410)
- [3] Ana Anokić, Zorica Stanimirović, Tatjana Davidović, Đorđe Stakić: „Variable neighborhood search based approaches to a vehicle scheduling problem in agriculture“, *International Transactions in Operational Research*, print ISSN 0969-6016, online ISSN 1475-3995, Vol. 27, No. 1, 2020, pp. 26-56, <https://doi.org/10.1111/itor.12480> (M21, IF 2020 4.193)
- [4] Radoslav Rajković, Nenad Zrnić, Đorđe Stakić: „Application of a Mathematical Model for Container Transport Flow of Goods: from the Far East to Serbia“, *Tehnički vjesnik/Technical Gazette*, print ISSN 1330-3651, online ISSN 1848-6339, Vol. 23, No. 6, 2016, pp. 1739-1746, <https://doi.org/10.17559/TV-20140629203730> (M23, IF 2016 0.723)

### Радови у осталим часописима:

- [5] Đorđe S. Stakić, Aleksandra K. Popović, Oja Krinulović: „Wiki-librarian: A Project to Train Librarians and Students to Work with Wikipedia“. *Infotheca - Journal for Digital Humanities*, v. 21, n. 1, p. 55-72, nov. 2021. ISSN 2217-9461. DOI: <https://doi.org/10.18485/infotheca.2021.21.1.3>. (M53)
- Ђорђе С. Стакић, Александра К. Поповић, Оја Кринуловић: „Вики-библиотекар, пројекат за обуку библиотекара и студената за рад на Википедији“. *Infotheca - Journal for Digital Humanities*, v. 21, n. 1a, p. 59-78, oct. 2021. ISSN 2217-9461. (српска верзија истог рада)
- [6] Đorđe Stakić, Marija Tasić, Marko Stanković, Milena Bogdanović: „Students' Attitudes Towards the Use of Wikipedia: A Teaching Tool and a Way to Modernize Teaching“, *Área Abierta*, Vol. 21, No. 2, pp. 309-325, 2021, <https://doi.org/10.5209/arab.72760> (M51, индексиран у WOS - Web of Science ESCI)
- [7] Ana Anokić, Zorica Stanimirović, Tatjana Davidović, Đorđe Stakić: „Variable neighborhood search for optimizing the transportation of agricultural raw materials“, *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, ISSN 1571-0653, Vol. 58, 2017, pp. 135-142. (M51, индексиран у Scopus)
- [8] Марко Станковић, Ђорђе Стакић, Милена Богдановић, Марија Јордановић: Википедија као могућност за иновације у настави информатике на примеру Учитељског факултета, „Иновације у настави“, 2015, vol. 28, no. 4, стр. 114-120, ISSN 0352-2334 (M52)
- [9] Оја Кринуловић, Миле Стијеповић, Ђорђе Стакић: Библиотечки допринос „српској Википедији“, „Глас библиотеке“, 2015, број 21, стр. 21-28, ISSN 0353-7595 (рецензирани часопис)
- [10] Рајковић, Р., Зрнић, Н., Стакић, Ђ., Махнич, Б. (2014): „The Costs of Container Transport Flow Between Far East and Serbia Using Different Liner Shipping Services“,

Proceeding of the 11th International Conference on Logistics and Sustainable Transport „ICLST 2014“, Celje, Slovenia, 19-21. June 2014, print ISSN 1854-3332, online ISSN 2232-4968. (M33) *мало дорађен и штампан у: Logistics & Sustainable Transport Vol. 6, No. 1, November 2015, 34–40, doi: 10.1515/jlst-2015-0009, ISSN 2232-4968 (M51)*

[11] Đorđe Stakić: Wiki technology: Origin, development and importance. (in Serbian: Viki tehnologija - nastanak, razvoj i značaj). Infoteka, 2009, 10, 1-2, pp 69-78 (Serbian), pp 61a-69a (English) (M53)

### **Поглавље у монографији:**

[12] Рајковић, Р., Зрнић, Н., Бојић, С., Стакић, Ђ. (2016): Role of Cargo Weight and Volume: Minimizing Costs and CO2 Emissions in Container Transport, in Commercial Transport, Proceedings of the 2nd Interdisciplinary Conference on Production Logistics and Traffic 2015, Lecture Notes in Logistics, Chapter 10, pp. 159-173, DOI 10.1007/978-3-319-21266-1\_10, print ISBN 978-3-319-21265-4, online ISBN 978-3-319-21266-1, series ISSN 2194-8917 (M13, индексан у WOS - Web of Science и Scopus)

### **Радови у зборницима са међународних конференција:**

[13] Đorđe Stakić, Ana Anokić, Raka Jovanović. Comparison of Different Grasp Algorithms for the Heterogeneous Vector Bin Packing Problem. 2019 China-Qatar International Workshop on Artificial Intelligence and Applications to Intelligent Manufacturing, AIAIM 2019, Doha, Qatar, 1-4 Jan. 2019, pp. 63-70. IEEE. DOI [10.1109/AIAIM.2019.8632779](https://doi.org/10.1109/AIAIM.2019.8632779), ISBN 978-1-5386-6445-2 (M33, индексан у WOS - Web of Science и Scopus)

[14] Ana Anokić, Đorđe Stakić, Đorđe Moravčević, Vlade Zarić: „Modelling and Optimization of the Real-life Crop Rotation Problem in Serbia“, XIV Balkan Conference on Operational Research, Hybrid BALCOR 2020, Thessaloniki, Greece, 30 September - 3 October, 2020, Book of Proceedings, pp. 60-64, ISBN 978-618-85079-0-6 (M33)

[15] Nebojša Ratković, Đorđe Stakić, Filip Maljković: „Professional development of teachers - example of accredited seminar of Wikimedia Serbia“ (“Desenvolvimento profissional de professores - o exemplo do curso credenciado da Wikimedia Sérvia” – наслов и апстракт су доступни и на португалском језику), Prisma.com, (40) 2019, p. 125-134, ISSN 1646-3153 (свеска часописа повезана са конференцијом „International Wiki Scientific Conference“ одржаном 11-13.3.2019. у Порту, Португалија, доступна на <https://ojs.letras.up.pt/index.php/prismacom/issue/view/466>, рад доступан на <https://ojs.letras.up.pt/index.php/prismacom/article/download/6534/6091>) (M33)

[16] Anokić, A., Stanimirović, Z., Stakić, Đ., Davidović, T. (2018, October). General Variable Neighborhood Search for Scheduling Heterogeneous Vehicles in Agriculture. In International Conference on Variable Neighborhood Search (pp. 125-140). Springer, Lecture Notes in Computer Science. ISBN 978-3-030-15842-2 (M33, индексан у Scopus)

[17] Ђорђе Стакић, Миодраг Живковић, Ана Анокић, Радослав Рајковић: „Решавање проблема паковања пакета у контејнере уз ограничења масе и запремине методом VNS“ (наслов на енглеском: „Solving the problem of packing packages in the containers with the limitation of the mass and volume by VNS method“), XLV Симпозијум о операционим истраживањима – Зборник радова, SYM-OP-IS 2018, 16-18. септембар, 2018, Златибор, Србија, стр. 112-117, ISBN 978-86-403-1567-8. (M33)

[18] Ana Anokić, Zorica Stanimirović, Tatjana Davidović, Đorđe Stakić: „Vehicle Scheduling Problem in Sugar Beet Transportation: A General Variable Neighborhood Search Approach“, XIII Balkan Conference on Operational Research, Proceedings, BALCOR 2018, Belgrade, Serbia, 25-28 May, 2018, pp. 125-132, ISBN 978-86-80593-64-7 (M33)

[19] Rajković R., Znić N., Dragović B., Stakić Đ., Bojić S. ANALYSIS AND ALGORITHMS FOR CONTAINER LOADING-ROUTING PROBLEM FROM CHINA

MAIN PORTS TO BALKAN REGION CONCERNING BELGRADE AS NEW HUB, Proceedings of the XXII MHCL International Conference 2017, Part I, Beograd, 4-6 October, 2017, pp. 281-286. ISBN 978-86-7083-949-6 (M33)

[20] Stakić S. Đ., Rajković Z. R., Zrnić Đ. N., Dragović M. B., Bojić S. S. IMPACT OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS IN CONTAINER TRANSPORT, Proceedings of the XXII MHCL International Conference 2017, Part II, Bar, 2017, pp. 385-388. (M33)

[21] Рајковић Р., Зрнић Н., Стакић Ђ.: Different approaches for minimizing transport costs in intermodal networks, 13th International Logistics and Supply Chain Congress - Proceedings, Izmir, Turkey, 22nd-23rd October 2015, pp. 160-167, ISBN 978-605-84194-2-1 (M33)

[22] Рајковић Р., Зрнић Н., Стакић Ђ., Седмак А., Кирин С.: Environmental protection in intermodal networks by minimizing CO2 emission, Proceedings of TEAM 2015, 7<sup>th</sup> International Scientific and Expert Conference of the International TEAM Society 15-16<sup>th</sup> October 2015, Belgrade, Serbia, pp. 274-278, ISBN 978-86-7083-877-2 (M33)

[23] Александра Поповић, Милица Шевкушић, Ђорђе Стакић: Библиотеке и Википедија заједно на вебу: слободно знање за све, (Четрнаеста међународна научна конференција Дигитална хуманистика у организацији Филолошког факултета Универзитета у Београду, 25-27. септембар 2015) „Дигитална хуманистика: тематски зборник у 2 књиге, књига 1“, Београд, 2015, стране 151-161, ISBN 978-86-6153-352-5 (M33)

[24] Рајковић Р., Зрнић Н., Драговић Б., Стакић Ђ.: Multi-criteria decision making methods in container transport, XXI International conference on material handling constructions and logistics – MHCL '15, September 23-25, 2015, Vienna, Austria, pp. 289-294, ISBN 978-86-7083-863-5 (M33)

[25] Рајковић Р., Зрнић Н., Стакић Ђ., Седмак А., Кирин С.: An approach to determine optimal number of containers for cargo stacking in function of transportation cost, Proceedings - 6<sup>th</sup> International Symposium on Industrial Engineering - SIE 2015, 24<sup>th</sup>-25<sup>th</sup> September 2015, Belgrade, Serbia, pp. 300-303, ISBN 978-86-7083-864-2 (M33)

[26] Ђорђе Стакић, Радослав Рајковић, Душан Тошић, Ненад Зрнић: Evaluation of Pareto Optimal Solutions in Intermodal Networks, 42nd International Symposium on Operations Research - Proceedings, SYM-OP-IS 2015, September 15-18, 2015, Srebrno jezero, Serbia, pp. 319-322, ISBN 978-86-80593-55-5 (M33)

[27] Рајковић Р., Зрнић Н., Стакић Ђ. (2014): „Contribution to Optimal Container Flow Routing between Far East and Serbia through selected Adriatic Ports“, Proceedings of the 5th International Conference Transport and Logistics „TIL 2014“, Niš, Serbia, 05-06. June 2014, pp. 87-91, ISBN 978-86-6055-053-0 (M33)

[28] Рајковић Р., Зрнић Н., Стакић Ђ. (2014): „Application of Mathematical Model for Container Transport Flow of Goods: From Far East to Serbia“, Proceedings of 12th International Conference on Industrial Logistics „ICIL 2014“, Bol on island Brac, Croatia, 11-13, June 2014, pp. 159-166, ISBN 978-953-7738-29-7 (M33, индексан у Scopus)

[29] Рајковић Р., Зрнић Н., Чокорило, О., Рајковић, С., Стакић, Ђ. (2014): „Multi-Objective Container Transport Optimization on Intermodal Networks Based on Mathematical Model“, Proceeding of the International Conference on Traffic and Transport Engineering „ICTTE 2014“, Beograd, Serbia, 27-28. November 2014, pp. 26-36, ISBN 978-86-916153-1-4 (M33, индексан у WOS - Web of Science)

[30] Ђорђе Стакић, Срђан Весић, Филип Маљковић: Википедија - слободна енциклопедија. 14. телекомуникациони форум Телфор, 2006, pp 68-70. (M33)

### **Радови у зборницима са домаћих конференција:**

[31] Ana Anokić, Zorica Stanimirović, Đorđe Stakić, Tatjana Davidović: Problem raspoređivanja vozila pri optimizaciji troškova transporta poljoprivrednih sirovina, Зборник радова VII симпозијум Математика и примене 4. и 5. новембар 2016, Београд, 2017, стр. 49-60, ISBN 978-86-7589-122-2 (M63)

[32] Đorđe S. Stakić: Vikipedija na fakultetima i u srednjim školama u Srbiji – iskustva i izazovi, Књига радова, Други научни симпозијум са међународним уčešћем Теорија и пракса науке у друштву – изазови и перспективе 6-7. новембар 2014. године, Београд, 2014, стр. 30-37, ISBN 978-86-7220-064-5 (M63)

[33] Ђорђе Стакић, Душко Парезановић: Коришћење Википедије као иновативне алатке у школама – пример Гимназије Ивањица, Зборник резимеа са шесте конференције „Иновационо-комуникациона технологија у настави“, Нови Сад, 2014, стр. 11, ISBN 978-86-88487-00-9 (M64)

[34] Ђорђе Стакић, Марина Нешовић, Иван Лазаревић: Иновације у настави информатике у школама кроз рад ученика на Википедији, Зборник радова IV симпозијум Математика и примене 24. и 25. мај 2013, Београд, 2014, стр. 144-149, ISBN 978-86-7589-089-8, (електронско издање ISBN 978-86-7589-090-4) (M63)

### **Остале публикације:**

[35] Đorđe Stakić: Biographical articles on Serbian Wikipedia and application of the extraction information on them, Wikipedia Academy: Research and Free Knowledge, Berlin, Germany, 29th June -1st July 2012, poster presentation

[36] Ђорђе Стакић: Википедија и Интернет у настави математике и информатике, стр. 99, Књига апстраката, 12. српски математички конгрес, Нови Сад, 28. август – 2. септембар 2008. године. COBISS.SR-ID 238037767 (M34)

Укупно је 8 публикација индексирано у WOS - Web of Science (14 цитата) и 9 публикација у Scopus (22 цитата). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3241-4289>

## Закључак

У рукопису „**Математички модели и различити начини вишекритеријумске оптимизације у интермодалном транспорту**“, кандидат **Ђорђе Стакић** је показао систематично знање из области оптимизације, математичког моделирања и метахеуристичких метода. Експериментални резултати добијени на реалним и генерисаним тест примерима су показали да све предложене метахеуристичке методе представљају адекватан приступ решавању разматраних проблема.

Кандидат је кроз рад на дисертацији дао теоријски и практични допринос моделирању и решавању проблема интермодалног транспорта. Стога предлагемо Наставно-научном већу Математичког факултета Универзитета у Београду да рукопис „**Математички модели и различити начини вишекритеријумске оптимизације у интермодалном транспорту**“ кандидата **Ђорђа Стакића** прихвати као докторску дисертацију и одреди комисију за јавну одбрану.

У Београду,  
23. 5. 2022. године

---

(др Миодраг Живковић, редовни професор у пензији - ментор)

---

(др Владимир Филиповић, редовни професор)

---

(др Ненад Зрнић, редовни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет)

---

(др Александар Савић, ванредни професор)