

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовао комисију: 05.09.2024. Наставно-научно веће Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду.		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1. Др Тибор Лукић	редовни професор	Теоријска и примењена математика 31. 03. 2022.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Нови Сад		Председник
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. Др Силвиа Гилезан	редовни професор	Теоријска и примењена математика 25.02.2005.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Нови Сад		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. Др Драган Урошевић	научни саветник	Математика и рачунарство, 26.02.2014.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Математички институт САНУ		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. Др Вук Богдановић	редовни професор	Планирање, регулисање и безбедност саобраћаја 07. 06. 2017.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Нови Сад		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији

5.	Др Јелена Иветић	ванредни професор	Теоријска и примењена математика 01.04.2021.
	презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
	Факултет техничких наука, Нови Сад	Члан	
	установа у којој је запослен-а	функција у комисији	
6.	Др Татјана Давидовић	научни саветник	Математика и рачунарство, 26.04.2018.
	презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
	Математички институт САНУ	Ментор	
	установа у којој је запослен-а	функција у комисији	
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>			
1. Име, име једног родитеља, презиме:			
<b>Лука, Александар, Матијевић</b>			
2. Датум рођења, општина, држава:			
<b>29.06.1991., Аранђеловац, Република Србија</b>			
3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив:			
<b>Универзитет у Београду, Математички факултет, смер Информатика, Мастер информатичар</b>			
4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија:			
<b>2019., Математика у техници</b>			
<b>III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>			
<b>Metaheuristic approaches to the green vehicle routing problem including alternative fuel vehicles</b>			
<b>Метахеуристичне методе за проблем еколошког рутирања возила укључујући возила на алтернативни погон</b>			
<b>ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>			
Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.			
Докторска дисертација Луке Матијевића под називом “ <b>Metaheuristic approaches to the green vehicle routing problem including alternative fuel vehicles</b> ” изложена је на <b>238</b> страна и садржи седам поглавља у којима је приказано <b>22</b> слике, <b>88</b> графикона, <b>28</b> табела, као и 2 прилога. Поменути два прилога дата су у виду самосталних докумената и јавно су доступни на сајту аутора. Списак коришћене литературе обухвата укупно 392 референце.			

Дисертација се бави проблемом еколошког рутирања возила. Дисертација разматра и нуди решења на бази метахеурстичких оптимизационих метода за три различита проблема нарочито релевантна за индустрију. Први проблем се бави рутирањем електричних возила са флексибилним временским оквирима и временски зависним брзинама. Друга верзија проширује овај проблем тако што омогућава делимично пуњење батерија на станицама, како би се оптимално управљало временом и корисници били опслужени на време. Трећа верзија представља додатно проширење, укључујући флоту која обухвата и конвенционална возила, што одражава најреалнији сценарио. Поред тога, разматране су асиметричне дистанце између локација, карактеристичне за урбане средине, као и вишекритеријумска оптимизација за овај проблем.

Докторска дисертација садржи следећа поглавља:

- 1) Introduction
- 2) Metaheuristics overview
- 3) Green Vehicle Routing Problem
- 4) Electric Vehicle Routing Problem
- 5) Electric Vehicle Routing Problem with Partial Recharge
- 6) Multi-objective Green Vehicle Routing Problem
- 7) Conclusion

#### **V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Докторском дисертацијом обухваћена су три проблема из области еколошког рутирања возила који имају практичну примену, а који нису раније разматрани у литератури.

**Прво** поглавље, односно увод, садржи опис мотивације за решавање овог проблема, а у њему се такође уводе и општи појмови попут возила на алтернативни погон, операционих истраживања и оптимизационих проблема, те се пружа преглед уобичајених приступа решавању таквих проблема.

У **другом** поглављу говори се детаљније о метахеурстичким методама, представљају се различити начини за њихову класификацију, а као додатни материјал наводи се и опширна листа постојећих метахеурстичких метода. Осам метахеурстике које се користе у дисертацији описане су детаљно у овом поглављу.

У **трећем** поглављу уводи се основни проблем рутирања возила, као и његово проширење еколошко рутирање возила (енг. Green Vehicle Routing Problem – GVRP). Детаљно су продискутована различита обележја (атрибути) која се могу посматрати у контексту овог проблема, као и различите функције циља које је потребно оптимизовати. У овом поглављу такође се представљају неки основни модели потрошње енергије код возила на алтернативни погон, као и модели пуњења батерије. У оквиру овог поглавља представљен је преглед постојеће литературе у области примене метахеурстичких метода на GVRP. Анализирана су

72 рада из периода између 2013. и 2023. године. Читаоцу се такође даје увид у најчешће посматране атрибуте, коришћене метахеуристичке методе, као и функције циља.

**Четврто** поглавље представља оригинални допринос аутора. У њему се дефинише проблем рутирања електричних возила са необавезним, тзв. меким (енг. soft) временским оквирима и временски зависним брзинама. Проблем је дефинисан као мешовити целобројни линеарни програм (Mixed-Integer Linear Program, MILP) који је тестиран над постојећим инстанцама из литературе коришћењем CPLEX решавача. Осам метахеуристичких метода тестирано је за решавање овог проблема: метода променљивих околина (VNS), похлепна рандомизована адаптивна процедура претраге (GRASP), оптимизација колонијом мрава (ACO), оптимизација колонијом мрава са локалном претрагом (ACOLS), оптимизација колонијом пчела (BCO), генетски алгоритам (GA), меметски алгоритам (MA) и модификовани меметски алгоритам (MMA). Псеудокодови за све ове алгоритме и помоћне процедуре дати су у овом поглављу. Експериментална евалуација вршена је над два скупа инстанци из литературе, а резултати поређења су представљени јасно и концизно. Алгоритми се на мањим инстанцама углавном нису статистички значајно разликовали по перформансама, док се на већим инстанцама издвојио модификовани меметски алгоритам као најефикаснији, праћен методом променљивих околина.

У **петом** поглављу проблем рутирања електричних возила надограђен је омогућавањем парцијалног допуњавања батерије за возила. Ова надоградња значајно повећава комплексност одговарајуће варијанте проблема. За ову варијанту проблема коришћени су исти алгоритми као и за претходну, али су адаптирани у складу са новим специфичностима. На основу представљених резултата може се закључити да су перформансе развијених алгоритама сличне као код претходне варијанте проблема: На мањим инстанцама нема статистички значајних разлика, а на већим инстанцама најбоља решења добили су MMA и VNS.

У **шестом** поглављу описана је нова варијанта проблема која је значајно проширена тако да, поред парцијалног допуњавања батерије, меким временским оквира и временски зависних брзина, узима у обзир и асиметричност дистанци, хетерогену флоту која се састоји из електричних возила и возила на унутрашње сагоревање, а подразумева и вишекритеријумску оптимизацију. Претходно поменути алгоритми су модификовани у складу са новим захтевима проблема, а креирана су два нова скупа инстанци за тестирање, базирана на онима из литературе. Добијени резултати потврђују претходно изведене закључке, MMA и VNS се препоручују као најефикасније методе и за ову варијанту GVRP.

У **седмом** поглављу представљени су закључци дисертације и уочене могућности за потенцијална побољшања и даље истраживање.

**VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:**

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

- 1) **Luka Matijević.** General variable neighborhood search for electric vehicle routing problem with time-dependent speeds and soft time windows. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 14(2):275–292, 2023. doi:10.5267/j.ijiec.2023.2.001. URL <https://doi.org/10.5267%2Fj.ijiec.2023.2.001>. (M22)
- 2) **Luka Matijević.** Metaheuristic approaches for the green vehicle routing problem. *Yugoslav Journal of Operations Research*, (00):16–16, 2022a. doi:10.2298/yjor211120016m. URL <https://doi.org/10.2298%2Fyjor211120016m>. (M24)
- 3) **Luka Matijević, Vladimir Ilin, Tatjana Davidović, Tatjana Jakšić-Krüger, and Panos M. Pardalos.** General VNS for asymmetric vehicle routing problem with time and capacity constraints. *Computers & Operations Research*, 167: 106630, July 2024. ISSN 0305-0548. doi:10.1016/j.cor.2024.106630. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2024.106630>. (M21)
- 4) Milan Todorović, **Luka Matijević**, Dušan Ramljak, Tatjana Davidović, Dragan Urošević, Tatjana Jakšić Krüger, and Đorđe Jovanović. Proof-of-useful-work: Blockchain mining by solving real-life optimization problems. *Symmetry*, 14 (9):1831, September 2022. ISSN 2073-8994. doi:10.3390/sym14091831. URL <http://dx.doi.org/10.3390/sym14091831>. (M22)
- 5) **Luka Matijević, Slobodan Jelić, and Tatjana Davidović.** General variable neighborhood search approach to group Steiner tree problem. *Optimization Letters*, 17(9):2087–2111, July 2022. ISSN 1862-4480. doi:10.1007/s11590-022-01904-7. URL <http://dx.doi.org/10.1007/s11590-022-01904-7>. (M22)
- 6) **Luka Matijević.** Utilizing metaheuristics to guide the training of neural networks. In *Proc. L International Symposium on Operational Research SYMOP-IS 2023*, Tara, 18-21.09.2023., 2023. (M33)
- 7) **Luka Matijević.** Variable neighborhood search for multi-label feature selection. In *Lecture Notes in Computer Science*, page 94–107. Springer International Publishing, 2022b. ISBN 9783031096075. doi:10.1007/978-3-031-09607-5\_7. URL [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-09607-5\\_7](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-09607-5_7). (M33)

- 8) **Luka Matijević**. Bee colony optimization for multi-label feature selection. In *Proc. XLIX International Symposium on Operational Research SYM-OP-IS 2022*, Vrnjačka Banja, 19-22.09.2022., 2022a. (M33)
- 9) **Luka Matijević** and Milan Todorović. Integrating blockchain into supply chain management. In *Proc. XLIX International Symposium on Operational Research SYM-OP-IS 2022*, Vrnjačka Banja, 19-22.09.2022., 2022. (M33)
- 10) Tatjana Davidović, Milan Todorović, Dušan Ramljak, Tatjana Jakšić Krüger, **Luka Matijević**, Đorđe Jovanović, and Dragan Urošević. COCP: Blockchain proof-of-useful-work leveraging real-life applications. In *2022 Fourth International Conference on Blockchain Computing and Applications (BCCA)*. IEEE, sep 2022. doi:10.1109/bcca55292.2022.9922117. URL <https://doi.org/10.1109%2Fbcca55292.2022.9922117> (M33)
- 11) Dušan Ramljak, Tatjana Davidović, Dragan Urošević, Tatjana Jakšić Krüger, **Luka Matijević**, Milan Todorović, and Đorđe Jovanović. Combinatorial optimization for self contained blockchain: An example of useful synergy. In *Proc. XLVIII International Symposium on Operational Research, SYM-OP-IS 2021*, Banja Koviljača, 20-23. septembar 2021., 2021. (M33)
- 12) Una Stanković, **Luka Matijević**, and Tatjana Davidović. Mathematical models for the weighted scheduling problem with deadlines and release times. In *Proc. XLVIII International Symposium on Operational Research, SYM-OP-IS 2021*, Banja Koviljača, 20-23. septembar 2021., 2021. (M33)
- 13) **Luka Matijević**, Una Stanković, and Tatjana Davidović. General variable neighborhood search for the weighted scheduling problem with deadlines and release times. In *Proc. XLVIII International Symposium on Operational Research, SYM-OP-IS 2021*, Banja Koviljača, 20-23. septembar 2021., 2021. (M33)
- 14) Tatjana Davidović and **Luka Matijević**. Matheuristics based on variable neighborhood search. In *Proc. XLVII Symposium on Operational Research, SYMOPIS 2020*, Virtual conference, Sept. 20-23, 2020, 2020. (M33)
- 15) **Luka Matijević**, Tatjana Davidović, Vladimir Ilin, and Panos M. Pardalos. General variable neighborhood search for asymmetric vehicle routing problem. In *Proc. XLVI Symposium on Operational Research, SYMOPIS 2019*, Kladovo, Sept. 15-18, 2019, 2019a. (M33)
- 16) Vladimir Ilin, **Luka Matijević**, Tatjana Davidović, and Panos M. Pardalos. Asymmetric capacitated vehicle routing problem with time window. In *Proc. XLV Symposium on Operational Research, SYMOPIS 2018*, 2018. (M33)
- 17) Tatjana Davidović, Dušan Ramljak, Tatjana Jakšić Krüger, Dragan Urošević, Jovanović, Milan Todorović, and **Luka Matijević**. Applying VNS in blockchain

proof-of-useful-work consensus protocols. In *Book of Abstracts, ICVNS Abu Dhabi, U.A.E.*, October, 25-28, 2022, 2022a. (M34)

- 18) Tatjana Davidović, Dragan Urošević, Tatjana Jakšić Krüger, **Luka Matijević**, Jovanović, Milan Todorović, and Dušan Ramljak. Combinatorial optimization for efficient and trustful blockchain. In *Book of Abstracts, 19th International Conference on Operational Research, KOI 2022, Šibenik, Croatia*, Sept. 28-30, 2022, 2022b. (M34)
- 19) **Luka Matijević**. General variable neighborhood search for electric vehicle routing problem. In *Book of Abstracts, ICVNS Abu Dhabi, U.A.E.*, October, 25-28, 2022, 2022b. (M34)
- 20) **Luka Matijević**, Rebeka Čorić, and Mateja Đumić. Metaheuristic approaches to neural networks training. In *Book of Abstracts, KOI 2022, Šibenik, Croatia*, September 28-30, 2022, 2022. (M34)
- 21) **Luka Matijević**. General variable neighbourhood search approach to MAX-3SAT problem. In *Book of Abstracts, The 8th International Conference on Logic and Applications - LAP 2019, Dubrovnik, Croatia*, 2019. (M34)
- 22) **Luka Matijević**, Tatjana Davidović, Vladimir Ilin, and Panos M. Pardalos. Matheuristic approach to asymmetric vehicle routing problem with time window. In *Book of Abstracts, Mathematical Optimization Theory and Operations Research - MOTOR2019, Yekaterinburg, Russia*, 2019b. (M34)

## VII ZAKЉUČCI OДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

Циљ истраживања био је идентификовање специфичних варијанти проблема рутирања возила на алтернативни погон, које би што боље описале стварне ситуације са којима се сусрећу дистрибутивне компаније, адекватно математичко моделирање тих варијанти, као и предлог ефикасних алгоритама за њихово решавање.

У оквиру дисертације идентификоване су три верзије проблема које нису до сада разматране у литератури, а које имају конкретан значај за индустрију. Трећа верзија је посебно значајна јер разматра мешовиту флоту возила састављену од електричних возила и возила на унутрашње сагоревање, што вероватно најбоље одговара ситуацији са којом се сусрећу дистрибутивне компаније. Такође, ова верзија је посебно корисна за дистрибуцију у урбаном окружењу јер узима у обзир временски зависне брзине и асиметричне дистанце између локација, док је меки временски оквири чине погодном за планирање квалитетне доставе крајњим корисницима. Ова верзија такође разматра мултикритеријумску оптимизацију, чиме се компанијама даје могућност да оптимизују неколико пословних циљева истовремено.

За сваку од разматраних варијанти проблема развијено је по осам алгоритама, као и помоћне методе за убацивање посета станицама за пуњење батерије, рачунање

полазака са локације како би се корисници опслужили унутар изабраног временског оквира, а дефинисан је и скуп околина локалне претраге које се могу користити за овај тип проблема. Додатно, релативни утицај околина је детаљно тестиран користећи методе машинског учења како би се утврдиле околине које највише доприносе побољшању решења. Закључци овог тестирања корисни су и као самосталан резултат, јер се могу применити на било коју метахеуристику која користи локалну претрагу за овај или сличан тип проблема.

Сви алгоритми тестирани су над два скупа инстанци и идентификовани су најбољи алгоритми у односу на неколико посматраних метрика. Резултати су потврђени коришћењем статистичких метода. За тестирање треће варијанте проблема, креирана су два нова скупа инстанци који укључују информације о композицији флоте, временски зависним брзинама и асиметричним дистанцама.

Додатно, као пропратни материјал дисертације приложена је и опсежна, најкомплетнија до сада, листа метахеуристичких метода.

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

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

Резултати истраживања у овој дисертацији су добро описани и приказани. Изучавани проблеми су јасно дефинисани и објашњени. За коришћене алгоритме дати су детаљни и јасни псеудокодови. Резултати су представљени јасно, табелама и графиконима, а за њихову валидацију коришћене су одговарајуће методе за тестирање статистичких хипотеза.

Комисија констатује да докторска дисертација представља оригиналан научно-истраживачки рад и да су резултати истраживања адекватно приказани и протумачени применом општих и посебних научних метода.

#### **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање. Навести нумеричке податке о резултатима провере оригиналности рада и дати текстуално образложење.

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

Да, докторска дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Да, дисертација садржи све битне елементе, тј. мотивацију истраживања, опис проблема, позиционирање проблема у контексту релевантне стручне и научне литературе, опис научне методологије, приказ и верификацију резултата.



3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Дисертација формулише три нова проблема у области рутирања возила која одражавају стварне потребе индустрије. С обзиром на комплексност ових проблема, за њихово решавање предложене су метахеуристичке методе. Конкретно, осам метахеуристика предложено је за сваки проблем, а након тестирања закључено је које метахеуристике дају најбоље резултате. Такође, дисертација посматра различите околине које се могу употребити при локалној претрази за ове проблеме и даје закључак о најутицајнијим околинама које најбрже доводе до побољшања решења. Додатно, дисертација представља до сада најкомплетнију листу метахеуристика, како би истраживачи знали које све методе имају на располагању. Коначно, креирана су два скупа инстанци за евалуацију решења који се могу користити приликом евалуације ових или других варијанти проблема рутирања возила.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

Дисертација нема битне недостатке.

5. Образложење резултата провере оригиналности рада (нумерички и наративно):

Докторска дисертација је проверена у софтверу за детекцију подударања текста iThenticate. Вредност индекса сличности је 11%. Подударање је детектовано пре свега са два већ објављена рада аутора који су у уској вези са темом дисертације. На осталим местима где је детектовано подударање извршено је адекватно цитирање или је подударање искључиво на нивоу језика и нема везе са доприносом дисертације.

На основу изнесеног, Комисија констатује да је теза у потпуности оригинално ауторско дело кандидата.

**X ПРЕДЛОГ:**

На основу наведеног, комисија предлаже:

а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана.

На основу наведеног, Комисија предлаже да се прихвати позитивна оцена докторске дисертације под насловом „*Metaheuristic approaches to the green vehicle routing problem including alternative fuel vehicles*” и да се кандидату Луки Матијевићу одобри одбрана.

Место и датум: Нови Сад, 4.11.2024.

1. Др Тибор Лукић, редовни професор  
\_\_\_\_\_, председник

2. Др Силвиа Гилезан, редовни професор  
\_\_\_\_\_, члан

3. Др Драган Урошевић, научни саветник  
\_\_\_\_\_, члан

4. Др Вук Богдановић, редовни професор  
\_\_\_\_\_, члан

5. Др Јелена Иветић, ванредни професор  
\_\_\_\_\_, члан

6. Др Татјана Давидовић, научни саветник  
\_\_\_\_\_, ментор

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