

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Факултет организационих наука

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о завршеној докторској дисертацији кандидата **Стефана Здравковића**

На седници Наставно-научног већа Факултета организационих наука, одржаној 30.03.2022. године, одлуком 05-01 бр. 3/36-3, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације, кандидата **Стефана Здравковића**, под насловом

„Интегрисани модел за класификацију и предвиђање понашања возача“

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

Студент докторских академских студија, Стефан (Срђан) Здравковић, је 2015/2016. школске године уписао докторске академске студије на Универзитету у Београду - Факултету организационих наука, студијски програм: Информациони системи и квантитативни менаџмент, изборно подручје: Информационе технологије. Положио је све испите предвиђене планом и програмом докторских академских студија, са просечном оценом 10,00 (десет и 00/100) и на тај начин стекао право на израду приступног рада. На седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Факултета организационих наука, одржаној 11.10.2017. године, одлуком 05-01 бр. 3/132-20, на лични захтев студента, одобрен је статус мировања за школску 2017/2018. годину.

На седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Факултета организационих наука, одржаној 19.06.2019. године, одобрена је израда приступног рада под насловом: „Унапређење система за мерење буке од друмског саобраћаја у реалном времену“ студенту докторских академских студија, Стефану Здравковићу. За ментора је именован др Мирослав Миновић, ванредни професор Универзитета у Београду, Факултета организационих наука. На основу молбе студента а уз сагласност ментора, на седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Факултета организационих наука, одржаној 23.09.2020. године, одлуком 05-01 бр. 3/82-12, одобрена је промена претходно усвојеног наслова приступног рада, новим насловом: „Интегрисани модел за класификацију и предвиђање понашања возача“, и одређена Комисија за преглед и одбрану приступног рада и оцену научне заснованости теме докторске дисертације

Студент докторских академских студија, Стефан Здравковић, је 16.04.2021. године одбранио приступни рад под називом „Интегрисани модел за класификацију и предвиђање понашања возача”, под менторством др Мирослава Миновића, редовног професора Универзитета у Београду - Факултета организационих наука. Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације усвојен је на Наставно-научном већу 21.04.2021. године, одлуком 05-01 бр. 3/41-1. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, на седници одржаној 28.04.2021. године, одлуком 02 број 61206-1881/2-21, одобрило је израду предложене теме докторске дисертације под насловом „Интегрисани модел за класификацију и предвиђање понашања возача“. За ментора је именован др Мирослав Миновић, редовни професор Универзитета у Београду - Факултета организационих наука. Веће студијских програма докторских академских студија Универзитета у Београду - Факултета организационих наука је обавештено о датој сагласности на предлог теме докторске дисертације и одређивању ментора на седници одржаној 17.05.2021. године. Наставно-научно веће Универзитета у Београду - Факултета организационих наука је обавештено о датој сагласности на предлог теме докторске дисертације и одређивању ментора на седници одржаној 19.05.2021. године.

Ментор проф. др Мирослав Миновић је 30.03.2022. године известио Наставно-научно веће Универзитета у Београду - Факултета организационих наука да је студент докторских академских студија, Стефан Здравковић, завршио израду докторске дисертације. Одлуком Наставно-научног већа 05-01 бр. 3/36-3 од 30.03.2022. године, одређена је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације, у саставу:

1. **др Мирослав Миновић**, редовни професор, Универзитет у Београду, Факултет организационих наука – ментор;
2. **др Милош Миловановић**, ванредни професор, Универзитет у Београду, Факултет организационих наука – председник Комисије;
3. **др Вељко Јеремић**, ванредни професор, Универзитет у Београду, Факултет организационих наука;
4. **др Милан Вукићевић**, ванредни професор, Универзитет у Београду, Факултет организационих наука;
5. **др Душан Младеновић**, ванредни професор, Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет.

1.2. Научна област дисертације

Предмет овог истраживања представља интеграција различитих модела за евалуацију понашања возача. Анализом постојећих модела, средстава, техника и технологија установљено је да постоји могућност њихове интеграције. На основу утврђеног стања, разматрана је могућност примене оваквог модела у развоју и имплементацији система за подршку и контролисању возних паркова транспортних компанија. Проблем истраживања у дисертацији се односи на идентификовање и мерење релевантних параметара вожње, који могу да открију и предвиде карактеристична понашања возача.

Докторска дисертација припада научној области техничке науке и ужој научној области Информационе технологије, за коју је Факултет организационих наука, Универзитета у Београду матичан. Поред ове области, у дисертацији се обрађују и теме из области друмског саобраћаја и економике саобраћаја.

Ментор при изради докторске дисертације је проф. др Мирослав Миновић, редовни професор на Факултету организационих наука. Списак радова који га чине компетентним, односно, квалификују га за менторство при изради ове дисертације, обухвата:

1. Francisco José García Peñalvo, Mark Johnson, Gustavo Ribeiro Alves, **Miroslav Minović**, Miguel Ángel Conde-González, —Informal learning recognition through a cloud ecosystem—, Future Generation Computer Systems, Vol 32, March 2014, pp 282 – 294, ISSN 0167-739X, IF 2.786, DOI <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.08.004> M21a
2. Mladjan Jovanovic, Dusan Starcevic, **Miroslav Minovic**, Velimir Stavljanin, 'Motivation and Multimodal Interaction in Model-Driven Educational Games Design', IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, Special Issue on Human Semantic Web, vol. 41, no. 4, pp. 817-824, 2011, ISSN 1083-4427, IF 2.123, DOI 10.1109/TSMCA.2011.2132711 M21a
3. Strumberger Ivana, **Minovic Miroslav**, Tuba Milan, Bacanin Nebojsa, Performance of Elephant Herding Optimization and Tree Growth Algorithm Adapted for Node Localization in Wireless Sensor Networks, SENSORS, (2019), vol. 19 br. 11, MDPI Open Access Journals, DOI <https://doi.org/10.3390/s19112515> M21
4. Pavle Mijović, Miloš Milovanović, Vanja Ković, Bogdan Mijović, Ivan Gligorijević, **Miroslav Minović**, Ivana Mačutić, Communicating the user state: Introducing cognition-aware computing in industrial settings, Safety Science, Vol 119, November 2019, pp 375-384, Elsevier, 2019, DOI <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.12.024> M21
5. **Miroslav Minović**, Miloš Milovanović, Uroš Šošević, Miguel Ángel CondeGonzález, 'Visualisation of Student Learning Model in Serious Games—, Computers in Human Behavior, Vol 47, June 2015, pp 98-107, 2015, IF 2.694, DOI <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.09.005> M21
6. Milan Vukičević, Sandro Radovanović, Miloš Milovanović and **Miroslav Minović**, —Cloud Based Meta-learning System for Predictive Modeling of Biomedical Data—, The World Scientific Journal, Volume 2014 (2014), Article ID 859279, 10 pages, IF 1.219, DOI <https://doi.org/10.1155/2014/859279> M21
7. Miloš Milovanović, **Miroslav Minović**, Dušan Starčević, —Walking in colors: Human gait recognition using Kinect and CBIRI, IEEE Multimedia, Vol 20, No4, pp 28 – 36, DOI: 10.1109/MMUL.2013.16, IF 1.767 M21
8. Ivana Kovačević, **Miroslav Minović**, Miloš Milovanović, Patricia Ordóñez de Pablos, Dušan Starčević, 'Motivational Aspects of Different Learning Contexts: —My Mom Won't Let Me Play This Game...I—, Computers in Human Behaviour, Vol 29, No 2, pp 354 – 363, 2013, IF 2.273, DOI <https://doi.org/10.1016/j.chb.2012.01.023> M21
9. Bogicevic Sretenovic, M.; Milenkovic, I.; Jovanovic, B.; Simic, D.; **Minovic, M.**; Milovanovic, M. Bringing Biometric Sensors to the Classroom: A Fingerprint Acquisition Laboratory for Improving Student Motivation and Commitment. Appl. Sci. 2020, 10, 880. DOI <https://doi.org/10.3390/app10030880> M22
10. Ivan Milenković, Uroš Šošević, Dejan Simić, **Miroslav Minović**, Miloš Milovanović, Improving student engagement in a biometric classroom: the contribution of gamification, Universal Access in the Information Society, Vol 18, No 3, pp 523–532, Springer 2019, DOI <https://doi.org/10.1007/s10209-019-00676-9> M22

11. **Miroslav Minović**, Miloš Milovanović, Dušan Starčević, Learning Object Repurposing for Various Multimedia Platforms, Multimedia Tools and Applications, Vol 63, No 3, pp 927 – 946, 2013, IF 1.058, DOI **M22**
<https://doi.org/10.1007/s11042-011-0964-1>

1.3. Биографски подаци о кандидату

Стефан Здравковић је рођен 3. децембра 1990. године у Београду. Дипломирао је на Факултету организационих наука 2013. године, смер информациони системи и технологије. На истом факултету уписује мастер академске студије на студијском програму Операциона истраживања и рачунарска статистика. Звање мастер инжењера организационих наука стиче 2014. године положивши све испите са просечном оценом 10. Докторске академске студије уписује 2015. године – студијски програм Информациони системи и квантитативни менаџмент. До сада је положио све испите са просечном оценом 10,00 и успешно одбранио приступни рад са називом теме „Интегрисани модел за класификацију и предвиђање понашања возача“.

У летњем периоду 2013. и 2014. године обавио је стручне праксе у Управи за заједничке послове републичких органа у Сектору за информационо-комуникационе технологије.

У периоду 2014-2016. године био је ангажован као сарадник у настави на Саобраћајном факултету Универзитета у Београду за ужу научну област информатика. У звање асистента изабран је 2016. и 2019. године. Ангажован је у извођењу и организовању неколико предмета на основним академским студијама: Основи програмирања, Програмирање и Базе података, као и предмету Пројектовање оптимизационих апликација на мастер академским студијама. Посебно је заинтересован за истраживања у области паметних транспортних система. Жеља му је да у научном домену што више напредује, да се посвети истраживању примене технологија *Big Data* и машинског учења у решавању саобраћајних проблема.

Тренутно је ангажован на пројекту *PANACEA – Setting foundation for capacity building of sharing community in Serbia*, финансираног од стране Фонда за науку Републике Србије. Аутор и коаутор је преко 30 радова објављених на међународним конференцијама, домаћим и међународним часописима. Посебно се истичу радови који су објављени на SCIE и SSCI листи:

Zdravković, S., Vujanović, D., Stokić, M., & Pamučar, D. (2021). Evaluation of professional driver's eco-driving skills based on type-2 fuzzy logic model. *Neural Computing & Applications*, 33, 11541–11554 . DOI: 10.1007/s00521-021-05823-z, IF(2020) – 5.606

Vujanović, D., Janković, S., Stokić, M. & **Zdravković, S.** (in press). Evaluation of the influence of terrain and traffic road conditions on the driver's driving performances by applying machine learning. *Thermal Science*. DOI: 10.2298/TSCI211019355V, IF(2020) – 1.625

Mladenović, S., **Zdravković, S.**, Vesković, S., Janković, S., Đorđević, Ž., & Đalić, N. (2019). Development of a Novel Freight Railcar Load Planning and Monitoring System. *Symmetry*, 11, 756. DOI: 10.3390/sym11060756 IF(2019) - 2.645

Marković, M., **Zdravković, S.**, Mitrović, M., & Radojčić, A. (2016) An Iterative Multivariate Post Hoc I-Distance Approach in Evaluating OECD Better Life Index. *Social Indicator Research*, 126, 1–19. DOI: 10.1007/s11205-015-0879-8 IF(2016) - 1.743

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација „Интегрисани модел за класификацију и предвиђање понашања возача“ је написана на 131 страни, садржи 20 табела, 19 графикана и 44 слике. Наведено је 213 литературних извора које је кандидат користио приликом израде дисертације.

Докторска дисертација се састоји из 9 поглавља, поред којих су укључени додаци у виду листе слика, листе табела, биографије кандидата. Такође, у прилогу дисертације се налази приказ дела података који је коришћен у спровођењу емпиријског истраживања.

На крају, у складу са *Упутством о облику и садржају докторске дисертације која се брани на Универзитету у Београду*, а све у циљу адекватног похрањивања докторске дисертације у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду, дисертација као обавезне елементе садржи и: Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу.

Докторска дисертација се састоји из следећих поглавља и потпоглавља:

1. Увод
 - 1.1. Проблем и предмет истраживања
 - 1.2. Циљ истраживања и полазне хипотезе
 - 1.3. Методе истраживања
 - 1.4. Допринос докторске дисертације
2. Преглед области
 - 2.1. Технологије и системи за мерење параметара вожње
 - 2.1.1. OBD системи
 - 2.1.2. Телематски системи
 - 2.1.3. Интернет ствари – ИоТ
 - 2.2. Преглед и правци даљег развоја комерцијалних возила у Европској унији
3. Еко-вожња и мерење потрошње горива
 - 3.1. Методологија еко-вожње
 - 3.2. Параметри еко-вожње
 - 3.2.1. Број обртаја мотора
 - 3.2.2. Убрзање возила
 - 3.2.3. Притисак педале гаса
 - 3.3. Модели потрошње горива
 - 3.4. Основе и мерење потрошње горива
4. Методе и технике за препознавање понашања возача
 - 4.1. Машинско учење
 - 4.1.1. Технике класификације и регресије
 - 4.1.2. Кластероване
 - 4.1.3. Примена машинског учења у евалуацији понашања возача
 - 4.1.4. Примена машинског учења у моделирању потрошње горива
 - 4.2. Фази скупови и фази логички системи типа 2

5. Архитектура интегрисаног модела за класификацију и предвиђање понашања возача
 - 5.1. Структура ФЛС2 модела за оцену стила вожње
 - 5.2. Модел машинског учења у предвиђању потрошње горива
 - 5.3. *Potthoff* анализа
 6. Примена модела
 - 6.1. Опис истраживања
 - 6.2. Резултати истраживања
 - 6.3. Дискусија и кратак осврт на постојећа решења
 7. Предлог система за награђивање возача
 8. Закључак
 - 8.1. Доприноси докторске дисертације
 9. Литература
- Биографија

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У **уводном поглављу** се описује предмет и циљ истраживања, дефинишу се полазне хипотезе, методе истраживања, опис, садржај и допринос дисертације.

Друго поглавље конципирано је на детаљном прегледу литературе и анализи постојећих система помоћу којих се врши праћење и снимање параметара на возилу, као и телематским системима за евалуацију понашања возача и пружања подршке возачу у реалном времену. Разматрани су правци даљег развоја комерцијалних возила у Европској унији (ЕУ) зависно од врсте горива. Транспортна возила са дизел моторима имају значајно велики удео на тржишту ЕУ, а уједно представљају предмет посматрања у спроведеном истраживању. Додатно, сагледани су тренутни развој технологија, доступна ИоТ решења и економска исплативост имплементације постојећих телематских система и уређаја за снимање параметара на возилу.

Треће поглавље посвећено је методологији и одређивању релевантних параметра еко-вожње, поред тога разматрани су модели и мерења потрошње горива. Број обртаја мотора, притисак педале гаса и убрзање возила представљају три параметра који су важни у процени перформанси и дефинисању стила вожње возача. Иако су спроведена многа истраживања, квантитативни ефекти понашања возача на потрошњу горива су и даље нејасни. Прегледом литературе, идентификовани су кључни проблеми који се односе на ниску енергетску ефикасност проузроковану понашањем возача. Поред тога, закључено је да је при евалуацији и класификацији понашања возача неопходно узети у разматрање услове у саобраћају, као један од важних фактора који може значајно да утиче на стил вожње. Модели потрошње горива, осим што се користе за предвиђање, могу се искористити у евалуацији понашања возача са аспекта енергетске ефикасности. Стога је у раду извршена системска анализа и класификација постојећих модела потрошње горива.

У **четвртном поглављу** разматрани су модели машинског учења и фази логички системи типа 2 (ФЛС2), као главне методе и технике за препознавање образаца понашања возача. Различите технике машинског учења користе се за решавање сложених проблема класификације и регресије. Анализом постојећих алгоритама машинског учења истакнуте су њихове перформансе, предности и недостаци. Архитектура предложеног модела за предвиђање и класификацију понашања возача треба да омогући примену неке од техника рударења за генерисање потрошње горива. Прегледом литературе установљено је да многи аутори дефинишу различите границе за исте посматране параметре који се односе на еко-вожњу. То се углавном дешава због лингвистичке природе при дефинисању правила еко-вожње. Фази

логика сматра се адекватном методологијом за пројектовање робусних система, који треба да испуне одговарајуће перформансе у стањима неизвесности и непрецизности. Развијањем модела, користећи релевантне параметре вожње као улаз, и применом ФЛС2, може се решити недостатак у дефинисању нејасних правила еко-вожње и њених граница.

Пето поглавље конципирано је на архитектури интегрисаног модела за класификацију и предвиђање понашања возача. Главни циљ дисертације представља прављење новог методолошког оквира за евалуацију понашања и класификације возача, који је заснован на утврђивању и избору најутицајнијих параметара вожње помоћу којих је могуће дефинисати коначну оцену вожње. Користећи ФЛС2 модел, модел машинског учења и Potthoff анализу, дат је предлог модела за класификацију и предвиђање понашања возача са аспекта потрошње горива. У првој фази у оквиру ФЛС2 подмодела извршена је евалуација стила вожње. Вожња се оцењивала сваке секунде на основу снимљених вредности параметара о вожњи. Након тога, на основу добијених оцена прво се формира дневна оцена возача. По истом принципу израчунава се коначна оцена за посматрани период, којом се класификује стил вожње. За верификацију добијених оцена неопходно је измерити стварну потрошњу горива. С обзиром на различите проблеме и потешкоће у мерењу потрошње горива, у другом подмоделу врши се предикција потрошње горива која ће се након одређивања услова у саобраћају користити за верификацију оцена вожње у реалном времену. Одабиром релевантних улазних параметара о раду возила и применом алгоритама машинског учења, врши се предвиђање потрошње горива. Исти скуп параметара користи се у оба подмодела. У последњој фази применом Potthoff анализе, врши се предвиђање потрошње горива на основу оцена вожње зависно од услова у саобраћају. Овом анализом пружају се информације о томе да ли се регресиони модели засновани на различитим групама са истим варијаблама разликују.

У **шестом поглављу** описана је примена модела на основу спроведеног истраживања и приказаних резултата. Предложени интегрисани модел дао је занимљиве резултате након прве фазе, у којима коначна оцена возача може да зависи од броја посматраних улазних параметара. Коначне оцене вожње које представљају излаз ФЛС2 подмодела, поређене су са моделом са два улазна параметра. Уочена је осетљивост резултата и могућност различитог рангирања возача зависно од броја посматраних параметара. Категоризацијом коначних оцена извршена је класификација понашања возача. Оне уједно представљају квантитативни израз стила вожње. У другој фази, након поређења перформанси најпопуларнијих алгоритама машинског учења, извршен је одабир алгорита који представља најбоље решење. На овај начин, решен је проблем који се односи на моделирање потрошње горива. Допринос дисертације огледа се у примени интегрисаног модела којим је утврђена могућност мерења утицаја градских услова при евалуацији стила вожње и предвиђању потрошње горива.

У **седмом поглављу** дат је предлог система за награђивање возача који поштују принципе еко-вожње. Прегледом литературе нису уочени модели награђивања возача засновани на оцењивању вожње, који интегрисано користе фази логичке скупове и машинско учење. На основу предложеног интегрисаног модела за класификацију и предвиђање понашања возача разматране су могућности за развијањем система награђивања, који би био заснован на већ израчунатим оценама током вожње. Потенцијални бенефити и уштеде у гориву применом оваквог система су детаљно разматрани и приказани. Посебно је анализирана дугорочна одрживост самог система, која представља један од главних проблема оваквих система.

На основу резултата, **осмо закључно поглавље** садржи одговоре на питања у вези са постављеним циљевима и хипотезама докторске дисертације. Извршени су преглед и систематизација научних доприноса који су проистекли из истраживања. Изложена је актуелна проблематика и дат предлог даљег правца истраживања у посматраној области. На крају је дата литература коришћена приликом израде дисертације, која садржи релевантне референце других истраживача.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација „Интегрисани модел за класификацију и предвиђање понашања возача“ кандидата Стефан Здравковића, бави се актуелном проблематиком евалуације стила вожње и класификацијом понашања возача са аспекта енергетске ефикасности, тј. потрошње горива.

Докторска дисертација детаљно анализира досадашња истраживања и сазнања из области телематике, са посебним освртом на примену фази логичких скупова и алгоритама машинског учења у евалуацији стила вожње, класификацији и превиђању понашања возача. Методе машинског учења се користе за решавање проблема у којима веза између улаза и излаза није позната или је тешко закључива. Последњих година многи радови бавили су се применом алгоритама машинског учења у препознавању понашања возача (Xue, Q., Wang, K., Lu, J. J., & Liu, Y. (2019). Rapid Driving Style Recognition in Car-Following Using Machine Learning and Vehicle Trajectory Data. *Journal of Advanced Transportation*, 2019(1)). Машинско учење уз помоћ различитих алгоритама пружа рачунарима могућност идентификације патерна (знања) у подацима (Mitchell, T. M. (1999). Machine learning and data mining. *Communications of the ACM*, 42(11)), који се касније могу применити на нове случајеве. У зависности од посматраног проблема, многи савремени модели коришћени су за моделирање понашања возача током вожње, као што су нпр. Гаусов мешани модел, скривени Марков модел, метод к-средњих вредности, метод подржавајућих вектора, метод насумичне шуме, метод к-најближих суседа, фази-неуронске мреже и стабло одлучивања (Zhang, J., Wu, Z. C., Li, F., Xie, C., Ren, T., Chen, J., & Liu, L. (2019). A deep learning framework for driving behavior identification on in-vehicle CAN-BUS sensor data. *Sensors*, 19(6), 6–8). Прегледом литературе установљен је проблем да многи аутори дефинишу различите границе за исте посматране параметре који се односе на еко-вожњу. То се углавном дешава због лингвистичке природе при дефинисању правила еко-вожње. Нпр. у циљу остваривања ефикасне вожње аутори предлажу: благо убрзање/успорење, одржавање умерене и константне брзине (Barla, P., Gilbert-Gonthier, M., Lopez Castro, M. A., & Miranda-Moreno, L. (2017). Eco-driving training and fuel consumption: Impact, heterogeneity and sustainability. *Energy Economics*, 62, 187–194), умерено убрзање, избегавање наглог кочења и убрзања (Schall, D. L., & Mohnen, A. (2017). Incentivizing energy-efficient behavior at work: An empirical investigation using a natural field experiment on eco-driving. *Applied Energy*, 185, 1757–1768), итд. Модел заснован на фази логици може да описује операције вожње користећи лингвистичке термине. Развијањем модела користећи параметре вожње (убрзање, притисак педале гаса и број обртаја мотора) као улаз и применом фази логичких скупова типа 2, може се решити недостатак у дефинисању нејасних правила еко-вожње и њених граница. Прегледом литературе, закључено је да постоји могућност интеграције модела машинског учења и ФЛС2 модела у развоју и имплементацији новог оквира за класификацију и предвиђање понашања возача. На основу утврђеног стања, разматрана је могућност примене оваквог модела у развоју и имплементацији система за подршку и контролисању возних паркова транспортних компанија.

У складу са *Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација* које се бране на Универзитету у Београду, Универзитетска библиотека Светозар Марковић је извршила проверу оригиналности дисертације коришћењем програма iThenticate и у потпуности је потврђена оригиналност дисертације. Оригиналност у приступу решавања проблема и добијених резултата у оквиру ове дисертације потврђују и радови који су публиковани у врхунском међународном часопису (M21) (Zdravković, S., Vujanović, D., Stokić, M., & Pamučar, D. (2021). Evaluation of professional driver's eco-driving skills based on type-2 fuzzy logic model. *Neural Computing & Applications*, 33, 11541–11554), међународном часопису (M23) (Vujanović, D., Janković, S., Stokić, M. & Zdravković, S. (in press). Evaluation of the influence of terrain and traffic road conditions on the driver's driving performances by applying machine learning. *Thermal Science*). У оквиру интегрисаног модела за класификацију и предвиђање понашања возача, применом ФЛС2 подмодела који се састоји од три улазна параметра, израчунате су коначне оцене возача и поређење са резултатима постојећег модела у литератури са два улазна параметра (Cisel Aras, A., & Gocer, I. (2016). Driver Rating based on Interval Type-2 Fuzzy Logic System. *IFAC-PapersOnLine*, 49(11), 95–100). Поређењем ова два модела, ФЛС2 модел прецизније вреднује понашање током војње, праћено адекватним рангирањем возача са аспекта енергетске ефикасности.

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 интегрисани модела за класификацију и предвиђање понашања возача примењив и тестиран у реалним условима.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Коришћена литература за израду дисертације је релевантна, актуелна и адекватна за дефинисани предмет и циљеве истраживања. Кандидат је приликом писања докторске дисертације користио обимну литературу, која обухвата 213 референци. Међу коришћеним изворима највише је радова објављених у научним часописима са SCiE и SSCI листе.

Стога се закључује да је приликом израде докторске дисертације кандидат користио референтне и савремене литературне изворе. Такође, одређен број научних радова који су обрађени садржи емпијско истраживање, те се у дисертацији наводе добијени резултати и преиспитују у контексту резултата других истраживања, што представља значајан квалитет дисертације.

Литература обухвата радове утицајних аутора, објављених у релевантним научним часописима и публикацијама, у складу са темом дисертације. Неке од референци које су од посебног значаја за садржај ове дисертације су:

1. Cisel Aras, A., & Gocer, I. (2016). Driver Rating based on Interval Type-2 Fuzzy Logic System. *IFAC-PapersOnLine*, 49(11), 95–100.
2. Díaz-Ramirez, J., Giraldo-Peralta, N., Flórez-Ceron, D., Rangel, V., Mejía-Argueta, C., Huertas, J. I., & Bernal, M. (2017a). Eco-driving key factors that influence fuel consumption in heavy-truck fleets: A Colombian case. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 56, 258–270.
3. Elamrani Abou Elassad, Z., Mousannif, H., Al Moatassime, H., & Karkouch, A. (2020). The application of machine learning techniques for driving behavior analysis: A conceptual framework and a systematic literature review. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 87, 103312.

4. Estaji, M., Harvey, J. T., & Coleri, E. (2020). Evaluation of Different Machine Learning Tools in End-to-End Prediction of Vehicle Fuel Consumption in California. *International Conference on Transportation and Development 2020: Emerging Technologies and Their Impact*. 74–84.
5. Farooq, D., Moslem, S., & Duleba, S. (2019). Evaluation of driver behavior criteria for evolution of sustainable traffic safety. *Sustainability*, 11(11).
6. Ozgul, O. F., Cakir, M. U., Tan, M., Amasyali, M. F., & Hayvaci, H. T. (2018, September 25-27). A Fully Unsupervised Framework for Scoring Driving Style. *9th International Conference on Intelligent Systems 2018: Theory, Research and Innovation in Applications, IS 2018 - Proceedings*, 228–234, Madeira Island, Portugal.
7. Perrotta, F., Parry, T., & Neves, L. C. (2017, December 11-14). Application of machine learning for fuel consumption modelling of trucks. *Proceedings - 2017 IEEE International Conference on Big Data*, 3810–3815, Boston, MA.
8. Perrotta, F., Parry, T., & Neves, L. C. (2017, December 11-14). Application of machine learning for fuel consumption modelling of trucks. *Proceedings - 2017 IEEE International Conference on Big Data*, 3810–3815, Boston, MA. doi: 10.1109/BigData.2017.8258382
9. Sagberg, F., Selpi, Bianchi Piccinini, G. F., & Engström, J. (2015). A review of research on driving styles and road safety. *Human Factors*, 57(7), 1248–1275.
10. Said, H., Nicoletti, T., & Perez-Hernandez, P. (2016). Utilizing Telematics Data to Support Effective Equipment Fleet-Management Decisions: Utilization Rate and Hazard Functions. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(1).
11. Şimşek, B., Pakdil, F., Dengiz, B., & Testik, M. C. (2013). Driver performance appraisal using GPS terminal measurements: A conceptual framework. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 26, 49–60.
12. Yao, Y., Zhao, X., Zhang, Y., Chen, C., & Rong, J. (2020). Modeling of individual vehicle safety and fuel consumption under comprehensive external conditions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 79, 102224.
13. Zdravković, S., Vujanović, D., Stokić, M., & Pamučar, D. (2021). Evaluation of professional driver's eco-driving skills based on type-2 fuzzy logic model. *Neural Computing and Applications*, 33(18), 11541–11554.
14. Zhang, C., He, J., Bai, C., Yan, X., Gong, J., & Zhang, H. (2021). How to Use Advanced Fleet Management System to Promote Energy Saving in Transportation: A Survey of Drivers' Awareness of Fuel-Saving Factors. *Journal of Advanced Transportation*, 2021.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Научне методе, примењене у дисертацији, у потпуности одговарају предмету истраживања и захтевима у погледу провере постављених хипотеза. Основни метод истраживања базирао се на прикупљању, анализи и класификацији постојеће литературе и теоријских и експерименталних резултата у предметној области. За потребе истраживања, сакупљана је и проучавана доступна литература која се односи на телематске системе, постојеће моделе евалуације стила вожње и предвиђања потрошње горива. Сакупљена литература је детаљно анализирана и систематизована, са циљем да се покаже оправданост и корисност развоја новог интегрисаног модела заснованог на примени ФЛС2 модела и модела машинског учења.

У циљу тестирања постављених хипотеза у току израде дисертације примењен је већи број научних метода. Примењене су следеће опште методе: методе индукције-дедукције, методе дескриптивне анализе, методе анализе и синтезе, компаративне анализе и статистичке методе. У спроведеном истраживању су, поред општих метода истраживања, коришћене и посебне методе и технике чија употреба произилази из формулисаног предмета и циља истраживања: фази логички системи типа 2 и метода машинског учења. Могућност примене предложеног интегрисаног модела огледа се у коришћењу података прикупљених током вожње у реалним условима саобраћаја.

На основу анализе докторске дисертације, може се закључити да примењене научне методе и технике одговарају, по свом значају и структури, проблему, предмету и циљевима истраживања.

3.4. Применљивост остварених резултата

Развијен интегрисани модел омогућује руководиоцима возних паркова транспортних и логистичких компанија једноставан и правовремени увид у возачев стил вожње. Руководиоци на основу увида у добијене оцене возача имају могућност да довољно брзо реагују и предузму одговарајуће мере према возачима са агресивним, енергетски неефикасним стилем вожње, као што су упозорење или додатне обуке еко-вожње. На тај начин директно утичу на возаче са лошијом оценом да постану енергетски ефикаснији, чиме се остварују потенцијалне уштеде у потрошњи горива.

Поред тога, како би возачи били мотивисани и тежили ефикасном стилу вожње, у докторској дисертацији је дат предлог система за награђивање возача. На основу интегрисаног модела могуће је развити и имплементирати систем награђивања возача који би био заснован на већ израчунатим оценама током вожње. Исто тако, оцена вожње би служила као основа за рачунање потрошње горива. Поређењем свих возача на ранг листи након одређеног периода, може се вршити награђивање најбољих возача у виду новчане накнаде или добијања додатних дана одмора.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Област научног интересовања кандидата Стефана Здравковића су информационе технологије. Стекао је педагошко и научно-истраживачко искуство радећи на Саобраћајном факултету, Универзитета у Београду као сарадник у настави и асистент за ужу научну област Информатика.

Током израде докторске дисертације Стефан Здравковић је показао способност да сагледа проблем истраживања са више аспеката и да влада материјом, која је била предмет истраживања. Кандидат је уочио главне недостатке и проблеме постојећих модела евалуације понашања возача. Показао је способност структурирања проблема истраживања, обликовања теоријског оквира истраживања и развоја оригиналног и применљивог модела за класификацију и предвиђање понашања возача, што је верификовао публикавањем постигнутих резултата у научним часописима.

Резултати истраживања проистекли из рада на докторској дисертацији објављени су у часопису категорије M21 и часопису категорије M23. Потврђене су способности кандидата да адекватно интерпретира, уопштава и дискутује резултате истраживања.

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.

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

4. ОСТВАРЕН НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Основни допринос докторске дисертације представља дефинисање оригиналног методолошког оквира за евалуацију понашања и класификације вожње возача, који је заснован на утврђивању и избору најутицајнијих параметара вожње помоћу којих је могуће дефинисати коначну оцену вожње.

Коначни резултат истраживања огледа се у развој и имплементација модела за класификацију и предвиђање понашања возача са аспекта енергетске ефикасности. На основу најутицајнијих параметара вожње и њихове анализе у реалном времену, руководиоцима компанија ће бити омогућити брзо реаговање и предузимање одговарајућих мера према возачима који теже агресивном стилу вожње.

Сходно томе, кључни научни доприноси дисертације су верификовани и у објављеним научним радовима, који су наведени у поглављу 4.3 овог извештаја, огледају се у:

- систематизацији, класификацији и компаративној анализи постојећих модела за евалуацију и класификацију понашања возача,
- систематизацији и класификацији параметара који учествују у препознавању образаца понашања возача,
- дефинисању нове примене ФЛС2 у евалуацији вожње возача у реалним условима, као и предлог архитектуре новог система,
- развоју модела машинског учења за предвиђање и евалуацију понашања возача у реалним условима,
- вредновању утицаја услова у саобраћају у предвиђању потрошње горива.

Докторска дисертација је пружила и бројне доприносе у стручном смислу од којих су најважнији:

- дефинисање захтева при изради система на основу предложеног модела,
- пројектовање система који испуњава претходно дефинисане захтеве,
- потенцијално смањење штетних гасова и очување животне средине.

У спроведеном истраживању коришћена су достигнућа и сазнања из неколико научних дисциплина, попут математике, статистике и економике саобраћаја. Прегледом литературе, утврђено је да није било радова који су предложили модел за класификацију и предвиђање понашања возача, заснован на фази скуповима и машинском учењу. Самим тим, материја и модел који су изложени у докторској дисертацији представљају својеврстан научни допринос и као такви имају посебну вредност.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Узимајући у обзир дефинисани интегрисани модел за класификацију и предвиђање понашања возача, постављене хипотезе, као и квалитет резултата добијених критичком анализом савремених литературних извора, те оригиналним емпиријским истраживањем и тестирањем хипотеза и интегрисаног модела, констатује се да је кандидат успешно одговорио на сва питања релевантна за решавање проблема истраживања.

Полазна основа за развој модела били су постојећи научни резултати и проблеми везани за одређивање најугицајнијих параметара евалуације вожње. Анализирана је обимна литература, различите методе и приступи за оцењивање понашања возача и мерење потрошње горива, њихове предности и недостаци.

Користећи ФЛС2 модел, модел машинског учења и *Potthoff* анализу, дат је предлог модела за класификацију и предвиђање понашања возача са аспекта потрошње горива. Прегледом литературе установљено је да многи аутори дефинишу различите границе за исте посматране параметре који се односе на еко-вожњу. То се углавном дешава због лингвистичке природе при дефинисању правила еко-вожње. Развијањем модела, користећи релевантне параметре вожње (убрзање, притисак педале гаса и број обртаја мотора) као улаз, и применом ФЛС2, решен је недостатак у дефинисању нејасних правила еко-вожње и њених граница. У првој фази у оквиру ФЛС2 подмодела извршена је евалуација стила вожње. Вожња се оцењивала сваке секунде на основу снимљених вредности параметара о вожњи. У обзир нису узете вредности када је брзина била једнак нули, тј. када се возило не креће. На тај начин елиминисан је утицај рада мотора у празном ходу на коначну оцену вожње и оцену његовог понашања. На основу добијених оцена по секундама прво се формирала дневна оцена возача. По истом принципу израчунавала се коначна оцена за посматрани период, којом се класификује стил вожње. С обзиром на различите проблеме и потешкоће у мерењу потрошње, у другом подмоделу врши се предикција потрошње горива која ће се након одређивања услова у саобраћају користити за верификацију оцена вожње у реалном времену. Применом алгоритама машинског учења, врши се предвиђање потрошње горива. Исти скуп параметара користи се у оба подмодела. У последњој фази применом *Potthoff* анализе, врши се предвиђање потрошње горива на основу оцена вожње зависно од услова у саобраћају. На овај начин решен је проблем потенцијалног утицаја градске вожње и веће потрошње горива у односу на приградске и градске услове вожње.

Постављена истраживачка питања и хипотезе верификоване су резултатима емпиријског истраживања, као и критичком анализом релевантне литературе. Кандидат је свеобухватно приступио анализи предмета истраживања и разматрању и повезивању елемената значајних за модел, те се детаљност и аналитичност ове дисертације може сматрати њеним додатним научним доприносом.

4.3. Верификација научних доприноса

Верификација научних доприноса је обављена кроз процес ригорозне рецензије и објављивање радова у врхунском међународном часопису (M21) и у међународном часопису (M23).

Рад објављен у врхунском међународном часопису (M21):

Zdravković, S., Vujanović, D., Stokić, M., & Pamučar, D. (2021). Evaluation of professional driver's eco-driving skills based on type-2 fuzzy logic model. *Neural Computing & Applications*, 33, 11541–11554 . DOI: 10.1007/s00521-021-05823-z, IF(2020) – 5.606

Рад објављен у међународном часопису (M23):

Vujanović, D., Janković, S., Stokić, M. & **Zdravković, S.** (in press). Evaluation of the influence of terrain and traffic road conditions on the driver's driving performances by applying machine learning. *Thermal Science*. DOI: 10.2298/TSCI211019355V, IF(2020) – 1.625

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације под називом „Интегрисани модел за класификацију и предвиђање понашања возача“, кандидата Стефана Здравковића, Комисија констатује да је докторска дисертација написана у складу са свим захтевима стандарда научно-истраживачког рада, као и да испуњава услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима, правилницима и Статутом Факултета организационих наука, Универзитета у Београду.

Тема докторске дисертације је веома актуелна, а резултати добијени истраживањем одговарају предмету и циљевима истраживања. Хипотезе постављене у истраживању су тестиране на релевантном скупу прикупљених података у реалним условима. Такође, резултатима истраживања је потврђена општа хипотеза, тј. доказано је да је могуће развити интегрисани модел за класификацију и предвиђање понашања возача, као подршку у евалуацији стила вожње.

Најзначајнији допринос овог рада је имплементација модела машинског учења и фази скупова у евалуацији стила вожње и развоју интегрисаног модела са циљем смањења потрошње горива и потенцијалног смањења емисије штетних гасова.

Кандидат Стефан С. Здравковић је у докторској дисертацији приказао оригиналне научне закључке, што је научно верификовано публикацијом рада у истакнутом међународном часопису категорије M21.

С обзиром на постигнуте резултате, комплексност, актуелност и мултидисциплинарност обрађене теме, ова дисертација задовољава највише критеријуме и показује способност Стефана С. Здравковића за научно-истраживачки рад.

На основу свега наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета организационих наука да се докторска дисертација под називом „**Интегрисани модел за класификацију и предвиђање понашања возача**“ кандидата **Стефана С. Здравковића**, прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

Проф. др Мирослав Миновић, редовни професор, ментор
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

Проф. др Милош Миловановић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

Проф. др Вељко Јеремић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

Проф. др Милан Вукићевић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

Проф. др Душан Младеновић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

Београд, 12.04.2022.