

UNIVERZITET U BEOGRADU
SAOBRAĆAJNI FAKULTET
Vojvode Stepe 305, Beograd

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
KOMISIJI ZA DOKTORSKE STUDIJE

PREDMET: Podobnost teme i kandidatkinje Ivane Jovanović, diplomiranog inženjera saobraćaja, za izradu doktorske disertacije

Odlukom Nastavno-naučnog veća br. 992/3 od 19.10.2018. godine imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidatkinje Ivane Jovanović za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme „Izbor i lokacija senzora na transportnim mrežama primenom metoda Operacionih istraživanja“.

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidatkinje, Komisija podnosi sledeći

IZVEŠTAJ

1. Podaci o kandidatkinji

1.1. Biografski podaci

Ivana Jovanović, diplomirani inženjer saobraćaja, rođena je u Beogradu 1968. godine. Osnovnu školu „Žarko Zrenjanin“ završila je kao nosilac Vukove diplome, a srednju školu „Mihailo Pupin“ 1986. godine u Beogradu. Diplomski rad „Primena novih tehnologija u upravljanju saobraćajem na autoputu“ odbranila je 1996. godine na Odseku za drumski i gradski saobraćaj i transport na Katedri za regulisanje saobraćaja. Doktorske akademske studije na studijskom programu „Saobraćaj“ Saobraćajnog fakulteta u Beogradu upisala je 2011. godine i položila sve ispite predviđene nastavnim planom sa prosečnom ocenom 9,64. Bila je član dve Komisije za ocenu i odbranu završnog rada. Majka je jednog deteta sa smetnjama u razvoju.

1.2. Stečeno naučno-istraživačko iskustvo

Položeni ispiti i ispunjene obaveze u okviru Doktorskih akademskih studija

Doktorske akademske studije na Saobraćajnom fakultetu kandidatkinja je upisala 2011. godine i položila sve ispite predviđene Nastavnim planom i programom Doktorskih akademskih studija sa prosečnom ocenom 9,64.

Hronologija položenih ispita i ispunjenih obaveza data je u nastavku:

		Ocena	ES PB	Datum
1.	Odabrana poglavlja iz operacionih istraživanja: matematičko programiranje i stohastički modeli i njihova primena u saobraćaju	10 (deset)	7	19.3.2012.
2.	Upravljanje tokovima na transportnim mrežama	9 (devet)	7	24.5.2012.
3.	Fazi sistemi sa primenama u saobraćaju i transportu	9 (devet)	7	24.5.2012.
4.	Teorija saobraćajnog toka – modeli	10 (deset)	7	19.11.2014.
5.	Metode višekriterijumskog vrednovanja u vodnom saobraćaju	10 (deset)	7	11.7.2016.
6.	Primena naprednih tehnologija GIS-a u vodnom saobraćaju	10 (deset)	7	11.7.2016.
7.	Modeli za tehnološko projektovanje i upravljanje rečnim i morskim lukama	10 (deset)	7	12.7.2016.
8.	Sistemi za podršku odlučivanju u saobraćaju i transportu	8 (osam)	7	23.9.2016.
9.	Informacioni sistemi u logistici	10 (deset)	7	23.2.2017.
10.	Saobraćajno projektovanje - složeni gradski sistemi	10 (deset)	7	11.7.2017.
11.	Godišnji rad na seminaru	-	4	9.7.2018.
12.	Predlog istraživanja u okviru doktorske disertacije	-	16	25.10.2018.
„Na osnovu člana 75. Statuta Saobraćajnog fakulteta u Beogradu, priznaju se i položeni ispiti sa drugih visokoškolskih ustanova.“				
13.	Operaciona istraživanja II (specijalne metode optimizacije)	10 (deset)	7	23.6.1997.

ukupno 97

Kandidatkinja je na Doktorskim akademskim studijama ostvarila 97 ESPB bodova.

Angažovanje u nastavi i vannastavne aktivnosti

Krajem maja 2013. godine izabrana je u zvanje asistenta za užu naučnu oblast „Operaciona istraživanja u saobraćaju“. Na osnovnim akademskim studijama angažovana je na izvođenju vežbi na obaveznom predmetu Operaciona istraživanja, a do školske 2016/17. bila je angažovana i na obaveznom predmetu Verovatnoća i statistika, kao i na izbornom predmetu Osnove statističkih istraživanja. Na Master akademskim studijama angažovana je u izvođenju vežbi na obaveznom predmetu Matematičko modeliranje transportnih mreža i izbornim predmetima Deterministički modeli operacionih istraživanja, Kvantitativne menadžment metode u transportu i komunikacijama i Metaheuristički algoritmi inspirisani prirodom i primene u saobraćaju.

Bila je član dve Komisije za ocenu i odbranu završnog rada.

U toku dosadašnjeg rada objavila je više naučno-istraživačkih radova na međunarodnim i domaćim konferencijama, objavljenih u zbornicima radova. Koautor je jednog pomoćnog udžbenika.

Položila je stručni ispit marta 2001. i poseduje licencu 370 za odgovornog projektanta saobraćaja i saobraćajne signalizacije. Bila je član organizacionog odbora savetovanja TES 2000-2012, kao i član Komisije za reviziju elaborata „Saobraćajna studija Grada Banja luka“, 2008.

U toku dosadašnjeg rada objavila je više naučno-istraživačkih radova u domaćim časopisima, međunarodnim i domaćim zbornicima radova.

Radovi u međunarodnim naučnim časopisima (Kategorija M23):

- [1] **Jovanović I.**, Šelmić, M. Nikolić, M. Metaheuristic approach to optimize placement of detectors in transport networks - Case study of Serbia, Canadian Journal of Civil Engineering, [Published online on 13 August 2018], <https://doi.org/10.1139/cjce-2018-0306> (M23, IF₂₀₁₇-0.869)

Radovi saopšteni na međunarodnim naučnim skupovima i štampani u celini u zbornicima radova (Kategorija M33):

- [2] Vukadinović K., Kantar S., Pjevčević D., Vukićević Biševac I., **Jovanović I.** Service quality in river transportation: Belgrade case study. Proceedings of the 3rd Logistics international conference LOGIC 2017, Belgrade 25-27. May 2017, pp 56-61, ISBN: 78-86-7395-373-1

Radovi saopšteni na domaćim naučnim skupovima i štampani u punom obimu u zbornicima radova (Kategorija M63):

- [3] **Jovanović I.**, Dimitrijević B., Šelmić M., Momčilović V. Izbor senzorske tehnologije za merenje parametara saobraćajnog toka u Republici Srbiji, SYM-OP-IS 2018: XLV Simpozijum o operacionim istraživanjima, Zlatibor, 16-19 septembar 2018, <https://symopis2018.ekof.bg.ac.rs/>.
- [4] Teodorović D., Šelmić M., Nikolić M., **Jovanović I.**, Vidas M. Metaheuristički pristup za lociranje detektora na mrežama, SYM-OP-IS 2017: XLIV Simpozijum o operacionim istraživanjima, Zlatibor, 25-28. septembar 2017, str. 723-728, ISBN: 978-86-7488-135-4
- [5] **Jovanović I.**, Vukićević Biševac I., Pjevčević D., Vukadinović K. Prognoza izvoza i uvoza žitarica preko rečnih luka u Srbiji, Zbornik radova SYM-OP-IS 2016: XLIII Simpozijum o operacionim istraživanjima, Tara, 20-23 septembar 2016, str. 577-582. ISBN: 978-86-335-0535-2
- [6] **Jovanović I.**, Vukićević I., Teodorović D. Model upravljanja zalihama krvi - primena Fazi linearnog programiranja, Zbornik radova SYM-OP-IS 2012: XXXIX SYMOPIS 2012, Visoka građevinsko-geološka škola, Tara 25-28. septembar 2012, str. 343-346. ISBN: 978-86-7488-086-9
- [7] **Jovanović I.**, Nikolić M., Teodorović D. Model upravljanja zalihama krvi, XXXVIII SYM-OP-IS 2012: XXXVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima, Zlatibor, 4-7. oktobar 2012, str. 803-806, ISBN: 978-86-403-1168-7.

Pomoćni udžbenik:

- [8] Paskota M., **Jovanović I.** „Osnove statističkih istraživanja – praktikum”, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2013, ISBN: 978-86-7395-315-1.

Studije i projekti:

- [9] Saobraćajna studija Tivta, CEP, Beograd, 2009.
- [10] Istraživanje karakteristika saobraćaja na području grada Beograda, Institut saobraćajnog fakulteta, Beograd 1994-2007.
- [11] Saobraćajna studija Šapca, CEP, Beograd, 2005.
- [12] Saobraćajna studija Novog Pazara, Institut saobraćajnog fakulteta, Beograd, 2001.
- [13] Transportni master plan Bosne i Hercegovine, Urbanistički zavod Banja Luka, Banja Luka, 2000.
- [14] Studija karakteristika kretanja u Bijeljini, Institut saobraćajnog fakulteta, Beograd, 2000.

[15] Studija javnog oglašavanja u Banja Luci, Urbanistički zavod Banja Luka, Banja Luka, 1999.

[16] Projekat ESIS (Eksploatacija Sistema svetlosne Signalizacije u Beogradu), Institut saobraćajnog fakulteta, Beograd_1995-1998.

1.3. Ocena podobnosti kandidatkinje za rad na predloženoj temi

Javna odbrana Predloga istraživanja u okviru doktorske disertacije održana je 25.10.2018. godine na Univerzitetu u Beogradu, Saobraćajnom fakultetu pred Komisijom u sastavu:

1. Prof. dr Milica Šelmić, vanredni profesor Univerziteta u Beogradu, Saobraćajnog fakulteta,
2. Prof. dr Jovan Popović, redovni profesor Univerziteta u Beogradu, Saobraćajnog fakulteta,
3. Dr Miloš Nikolić, docent Univerziteta u Beogradu, Saobraćajnog fakulteta,
4. Dr Marijo Vidas, docent Univerziteta u Beogradu, Saobraćajnog fakulteta
5. Prof. dr Dragana Makajić Nikolić, vanredni profesor Univerziteta u Beogradu, Fakulteta organizacionih nauka.

Usmena odbrana Predloga istraživanja u okviru doktorske disertacije počela je u 10:00 časova. Na početku procesa odbrane Predloga istraživanja u okviru doktorske disertacije, predsednik Komisije prof. dr Jovan Popović upoznao je prisutne sa hronologijom prijave teme i odlukom Nastavno – naučnog veća o imenovanju Komisije. Posle toga je izneta kraća biografija kandidatkinje i osnovni podaci o temi prijavljene doktorske disertacije. Kandidatkinja je zatim jasno izložila Predlog istraživanja u okviru doktorske disertacije u trajanju od 20 minuta. Posle izlaganja, članovi Komisije su kandidatkinji postavili pitanja i dali sugestije i smernice za dalja istraživanja. Kandidatkinja je uspešno odgovorila na postavljena pitanja, posle čega se Komisija povukla na većanje i jednoglasno donela zaključak da je kandidatkinja **uspešno odbranila** Predlog istraživanja i time stekla pravo da nastavi rad na doktorskoj disertaciji.

Javna usmena odbrana Predloga istraživanja u okviru doktorske disertacije završena je u 10:40 časova. Komisija je posle toga sačinila Izveštaj koji su potpisali svi članovi Komisije.

Na osnovu spiska položenih ispita i ispunjenih obaveza predviđenih Nastavnim planom i programom Doktorskih akademskih studija zaključeno je da je kandidatkinja ostvarila 97 ESPB bodova i ispunila sve obaveze predviđene Članom 4. Pravilnika Doktorskih akademskih studija Saobraćajnog fakulteta – Studijskog programa Saobraćaj.

Na osnovu uspešno odbranjenog Predloga istraživanja u okviru doktorske disertacije, Komisija zaključuje da je predložena tema **naučno zasnovana** i da se daljim istraživanjima mogu ostvariti

značajni naučni doprinosi. Uvidom u dosadašnji naučno-istraživački rad kandidatkinje, Komisija zaključuje da predložena tema predstavlja nastavak dosadašnjeg naučno-istraživačkog rada i da je kandidatkinja podobna za rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. Predmet i cilj istraživanja

Predmet istraživanja predložene doktorske disertacije su problemi izbora senzorske tehnologije i određivanja lokacije senzora na transportnoj mreži.

Brojni su parametri saobraćajnog toka koji se koriste u kontroli, regulisanju i upravljanju saobraćajem. Ovi parametri, koji se mogu dobiti bilo direktnim merenjem ili indirektno, su: protok, brzina saobraćajnog toka, interval sleđenja, rastojanje sleđenja, vreme putovanja, prisustvo vozila, zauzeće, dužina reda, vremenski gubici, klasa vozila, masa vozila, itd. Najčešće se za merenje parametara saobraćajnog toka koriste raznorodne senzorske tehnologije ili kraće senzori. U tom smislu, izbor adekvatnog senzora zahteva prepoznavanje potreba njihovih korisnika i proučavanje karakteristika (tehnoloških rešenja i funkcija) svih raspoloživih tehnologija. Različita tehnološka rešenja i funkcije koje poseduju senzori za merenje parametara saobraćajnog toka ukazuju na postojanje nekoliko aspekata za donosioca odluke. Tako se ovi aspekti mogu svrstati u četiri grupe: prednosti - koristi (engl. benefit - B), mane - troškovi (engl. cost - C), ali i potencijalne koristi (engl. opportunity - O) i potencijalni troškovi (engl. risk- R). Pregledom relevantne literature (Mimbella i Klein 2000; Klein 2001, Martin i ostali 2003; Jelušić 2008; Jelušić i ostali 2009) može se zaključiti da donosioci odluke često koriste lingvističke promenljive ili kvalitativne vrednosti za evaluaciju kriterijuma, ali i za ocenu alternativa po različitim kriterijumima. Kako bi se nepreciznost i računanje rečima inkorporirali u metodološki okvir, u disertaciji će biti predstavljen model Fazi višekriterijumske analize (Fazi AHP) gde se ocenjivanje svih elemenata po svim kriterijumima predstavlja trouglastim fazi brojevima. S obzirom da postavljanje senzora na transportnoj mreži predstavlja strateški problem koji podrazumeva i veliku investiciju, logično je da u procesu odlučivanja učestvuje više donosilaca odluke koji mogu biti iz različitih interesnih grupa poput: upravljača puta, akademske institucije, nadležnih organa državne uprave ili lokalne samouprave, itd. Iz svega navedenog se nameće motivacija za razvoj inovativnog metodološkog okvira za izbor senzora za merenje parametara saobraćajnog toka znanog kao Fazi AHP-BOCR metodi.

Poslednjih godina potreba za senzorima na transportnim mrežama sve više raste zbog povećanog obima saobraćaja. Jedan od ciljeva istraživanja u okviru doktorske disertacije je razvoj metodologije za optimalno lociranje senzora na transportnim mrežama. Navedeni problem spada u klasu Teorije lokacije i ima karakteristiku da je *NP* težak problem. Iz tog razloga je neophodno da se rešava tehnikama operacionih istraživanja, u koje spada i metaheuristika Optimizacija kolonijom pčela (Lučić i Teodorović, 2001, 2002, 2003). Brojni autori su rešavali problem lokacije senzora na mreži primenom neke od heurističkih tehnika (Ban i ostali, 2009; Chan i

ostali, 2002; Danczyk i Lio, 2011; Edara i ostali, 2011; Kim, 2011). Međutim, kada je reč o Optimizaciji kolonijom pčela, u dosadašnjoj literaturi postoji samo pristup koji se oslanja na konstruktivnu verziju algoritma, u kojoj veštačke pčele iterativno grade rešenje (Teodorović i ostali, 2010; Šelmić, 2011). Drugi koncept, razvijen u radu (Davidović i ostali, 2011) podrazumeva da se krene od slučajno generisanog konačnog rešenja, pa se kroz iteracije to rešenje popravljja. Ovaj koncept će biti primenjen i testiran na primeru lokacije senzora na delu transportne mreže i to na realnim podacima prikupljenim na Ibarskoj magistrali u Republici Srbiji.

Na osnovu obrazloženja teme i kratkog pregleda literature, uočava se veliki značaj optimalnog postavljanja senzora na transportnim mrežama. Jedan od ciljeva istraživanja je kontinuirani razvoj metaheuristike Optimizacija kolonijom pčela i njena dalja implementacija, kroz dobijanje konkretnih i za inženjersku struku veoma primenljivih rezultata.

Naučni ciljevi doktorske disertacije se mogu analizirati kroz dva aspekta:

- Razvoj opšteg metodološkog okvira za podršku odlučivanju prilikom izbora senzorske tehnologije za potrebe prikupljanja podataka o saobraćajnom toku, koji bi uzeo u obzir stanovišta brojnih interesnih grupa i uključio različite, relevantne kriterijume za izbor senzora;
- Formiranje modela za izbor optimalnih lokacija senzora na transportnim mrežama, čiji je kriterijum minimizacija greške u proceni vremena putovanja, uz istovremenu težnju da se minimiziraju ulaganja u postavljanje i održavanje senzora.

U nastavku je dat spisak relevantne literature na koju se nadovezuje istraživanje u okviru ove doktorske disertacije:

- [1] Ban, X., Herring, R., Margulici, J. D., Bayen, A. M. (2009) Optimal sensor placement for freeway travel time estimation. *Transportation and traffic theory 2009: Golden jubilee*, 697-721.
- [2] Bartın, B., Ozbay, K., Iyigun, C. (2007) Clustering-based methodology for determining optimal roadway configuration of detectors for travel time estimation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 98-105.
- [3] Bianco, L., Confessore, G., Gentili, M. (2006) Combinatorial aspects of the sensor location problem. *Annals of Operations Research*, 144, 01-234.
- [4] Chan, K. S., Lam, W. H. K. (2002) Optimal speed detector density for the network with travel time information. *Transportation Research Part A*, 36, 203-223.
- [5] Chong, C. S., Low, M. Y. H., Sivakumar, A. I., Gay, K. L. (2006) A Bee Colony Optimization Algorithm to Job Shop Scheduling Simulation. In: *Proceedings of the Winter Conference*, Washington DC: 1954-1961.

- [6] Chou, C.C. (2003) The canonical representation of multiplication operation on triangular fuzzy numbers, *Computers and Mathematics with Applications*, 45, 1601–1610.
- [7] Danczyk, A., Liu, H. X. (2011) A mixed-integer linear program for optimizing sensor locations along freeway corridors. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(1), 208-217.
- [8] Davies, M.A.P. (1994) A Multicriteria Decision Model Application for Managing Group Decisions. *The Journal of the Operational Research Society*, 45(1), 47-58.
- [9] Davidović, T., Jakšić, T., Ramljak, D., Šelmić, M., Teodorović, D. (2016) The Bee Colony Optimization Algorithm and its Convergence. *Special Issue on Theoretical Analysis and Benchmarking of Nature-Inspired Algorithms*, 8(5), 340-354.
- [10] Davidović, T., Ramljak, D., Šelmić, M., Teodorović, D. (2011) Bee colony optimization for the p-center problem. *Computers & Operations Research*, 38(10), 367-1376
- [11] Davidović, T., Šelmić, M., Teodorović, D., Ramljak, D. (2012) Bee Colony Optimization for Scheduling Independent Tasks to Identical Processors. *Journal of Heuristics*, 8(1), 549-569
- [12] Dimitrijević, B. (2017) Višeatributivno odlučivanje - Primene u saobraćaju, Saobraćajni fakultet, Beograd.
- [13] Dobrota, M., Macura, D., Šelmić, M. (2015) Multi Criteria Decision Making For Distribution Center Location Selection-Serbia Case Study. In *Proceedings of the 2nd Logistics International Conference*, Belgrade, Serbia, 32-37.
- [14] Edara, P., Guo, J., Smith, B. L., McGhee, C. (2008) Optimal placement of point detectors on Virginia's highways: case studies of Northern Virginia and Richmond. Final Report VTRC 08-CR3, Virginia Transportation Research Council, Richmond, VA.
- [15] Edara, P., Smith, B., Guo, J., Babiceanu, S. (2011) Methodology to Identify Optimal Placement of Point Detectors for Travel Time Estimation, *Journal of Transportation Engineering*, 137(3) 155-183.
- [16] Ehlert, A., Bell, M., Grosso, S. (2006) The Optimization of traffic count locations in road networks. *Transportation Research B*, 40, 460-479.
- [17] Eisenman, S. M., Fei, X., Zhou, X. S., Mahmassani, H. (2006) Number and location of sensors for real-time network traffic estimation and prediction - Sensitivity analysis. *Transportation Research Record*, 1964, 253-259.
- [18] Fonseca, R., Paluszewski, M., Winter, P. (2010) Protein structure prediction using bee colony optimization metaheuristic. *J. Math. Model. Alg.* 9:181–194.

- [19] Fujito, I., Margiotta, R., Huang, W., Perez, W. A. (2006) Effect of Sensor Spacing on Performance Measure Calculations. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1945(1), 1-11.
- [20] Hu, S. R., Peeta, S., Chu, C. H. (2009) Identification of vehicle sensor locations for link-based network traffic applications. *Transportation Research Part B*, 43, 873-893.
- [21] Jelušić, N. (2008) Evaluacija senzorskih tehnologija u sustavu automatskog upravljanja cestovnim prometom, Doktorska disertacija, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- [22] Jelušić, N., Anžek, M., Mandžuka, S., (2009) Evaluation of Sensor Technologies for Intelligent Transport Systems. In *Proceedings of 16th ITS World Congress "ITS in Daily Life"*, Stockholm, Sweden, 5549-5561.
- [23] Jie, L.H, Meng, M.C. (2006) Web Based Fuzzy Multicriteria Decision Making Tool, *International Journal of the Computer, the Internet and Management*, 14(2), 1-14.
- [24] Jovanović, A., Nikolić, M., Teodorović, D. (2017) Area-wide urban traffic control: A Bee Colony Optimization approach. *Transportation Research Part C*, 77, 329-350.
- [25] Kianfar, J., Edara, P. (2010) Optimizing freeway traffic sensor locations by clustering global-positioning-system-derived speed patterns. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 11(3), 738-747.
- [26] Kim, J., Park, B, Lee, J. Won J. (2011) Determining optimal sensor locations in freeway using genetic algorithm-based optimization, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24, 318-321.
- [27] Klein L. A., Mills M. K., Gibson D. R.P. (2006) *Traffic Detector Handbook*, Third Edition, Volume I, Publication No. FHWA-HRT-06-108, Federal Highway Administration, Washington D.C., USA
- [28] Klein, L.A. (2001) *Sensor Technologies and Data Requirements for ITS*, Artech House, Boston, London.
- [29] Lučić, P., Teodorović, D. (2001) Bee System: modeling combinatorial optimization transportation engineering problems by swarm intelligence. *TRISTAN IV Triennial Symposium on Transportation Analysis*, Sao Miguel, Azores Islands, Portugal: 441-445.
- [30] Lučić, P., Teodorović, D. (2002) Transportation modeling: an artificial life approach. *14th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, Washington DC, 216-223.
- [31] Lučić, P., Teodorović, D. (2003a) Computing with bees: attacking complex transportation engineering problems. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 12, 375-394.

- [32] Lučić, P., Teodorović, D. (2003b). Vehicle routing problem with uncertain demand at nodes: the Bee System and fuzzy logic approach. In: Verdegay J L (Ed.) *Fuzzy Sets in Optimization* (pp67-82). Springer – Verlag, Berlin Heidelberg.
- [33] Marković, G., Teodorović, D., Aćimović Raspopović, V. (2007) Routing and wavelength assignment in all-optical networks based on the bee colony optimization. *AI Communication - The European Journal of Artificial Intelligence*, 20, 273 – 285.
- [34] Martin, P.T., Feng, Y., Wang, X. (2003) Detector Technology Evaluation, MPC Report No. 03-154, University of Utah Traffic Lab.
- [35] Middleton, D., Charara, H. Longmire, R. (2009) Alternative Vehicle Detection Technologies For Traffic Signal Systems, Technical Report, Report no. FHWA/TX-09/0-5845-1, Texas Department of Transportation, Austin, Texas, USA.
- [36] Mimbela, L.E.Y., Klein, L.A. (2000) Summary of vehicle detection and surveillance technologies used in intelligent transportation systems. Federal Highway Administration, Intelligent Transportation Systems Joint Program Office. Washington DC, USA.
- [37] Mimbela, L.E.Y., Klein, L.A. (2007) Summary of vehicle detection and surveillance technologies used in intelligent transportation systems. Federal Highway Administration, Intelligent Transportation Systems Joint Program Office. Washington D.C., USA.
- [38] Minge, E., Kotzenmacher, J., Peterson, S. (2010) Evaluation of Non- Intrusive Technologies for Traffic Detection, Minnesota Department of Transportation, Report no. MN/RC 2010-36, Final report.
- [39] Nikolić, M., Teodorović, D. (2013a) Empirical study of the Bee Colony Optimization (BCO) algorithm. *Expert Systems with Applications*, 40(11), 4609-4620.
- [40] Nikolić, M., Teodorović, D. (2013b) Transit network design by Bee Colony Optimization. *Expert Systems with Applications*, 40(15), 5945-5955.
- [41] Nikolić, M., Teodorović, D. (2014) A simultaneous transit network design and frequency setting: Computing with bees. *Expert Systems with Applications*, 41(16), 7200-7209.
- [42] Nikolić, M., Teodorović, D. (2015) Vehicle rerouting in the case of unexpectedly high demand in distribution systems. *Transportation Research Part C*, 55, 535-545.
- [43] Nikolić, M., Teodorović, D., Vukadinović, K. (2015) Disruption Management in Public Transit: The Bee Colony Optimization (BCO) approach. *Transportation Planning and Technology*, 38(2), 162-180.
- [44] Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill International, New York.

- [45] Sherali, H. D., Desai, J., Rakha, H. (2006) A discrete optimization approach for locating automatic vehicle identification readers for the provision of roadway travel times. *Transportation Research Part B*, 40, 857–871.
- [46] Sobie, C. (2016) Life Cycle Cost Analysis of Vehicle Detection Technologies and their Impact on Adaptive Traffic Control Systems, ITE 2016 Western District Meeting, Albuquerque, New Mexico, USA
- [47] Stevenson, W.J. (1993) *Production / operations management*. (4th ed.). Richard D. Irwin Inc., Homewood.
- [48] Suguna, N., Thanushkodi, K. (2010) A novel rough set reduct algorithm for medial domain based on bee colony optimization. *Journal of Computing*, 2, 49–54.
- [49] Šelmić, M., Teodorović, D., Vukadinović, K. (2010) Locating inspection facilities in traffic networks: an artificial intelligence approach. *Transportation planning and technology*, 33(6), 481-493.
- [50] Šelmić, M. (2011) *Lociranje objekata na transportnim mrežama primenom metoda računarske inteligencije*, Doktorska disertacija, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- [51] Teodorović, D., Dell’Orco, M. (2005) Bee colony optimization – a cooperative learning approach to complex transportation problems. In: *Advanced OR and AI Methods in Transportation. Proceedings of the 10th Meeting of the EURO Working Group on Transportation*, Poznan, Poland: 51–60.
- [52] Teodorović, D., Dimitrijević, B., Simić, V., Šelmić, M. (2012) A Bee Colony Optimization Approach to Solving the Anti-Covering Location Problem, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 26(6), 759-768.
- [53] Teodorović, D., Šelmić, M., Praveen, E. (2010) Bee Colony Optimization Approach to Optimize Placement of Traffic Sensors on Highways, *International Conference on Traffic Science*, Portoroz, Slovenia. <http://www.fpp.edu/~mzanne/ICTS2010/>.
- [54] Teodorović, D., Van Aerde, M., Zhu, F., Dion, F. (2002) Genetic algorithms approach to the problem of the automated vehicle identification equipment locations. *Journal of Advanced Transportation*, 36, 1-21.
- [55] Turner, S.M., Eisele W.L., Benz R.J., Holdener D.J. (1998) *The Travel Time Data Collection Handbook*. Texas Transportation Institute, Federal Highway Administration Report No. FHWA-PL-98-035

- [56] Vassiliadis, V., Dounias, G. (2008) Nature inspired intelligence for the constrained portfolio optimization problem. In: Artificial Intelligence: Theories, Models and Applications (pp. 431–436), LNCS 5138. Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg.
- [57] Vukanović, S. (2010) Inteligentni transportni sistemi (ITS) i upravljanje saobraćajem – pregled, I deo, Tehnika 1/2010, str. 11-18.
- [58] Yang, H., Zhou, J. (1998) Optimal traffic counting locations for origin-destination matrix estimation. Transportation Research Part B, 32, 109-126.
- [59] Yang, J. Kim, S.H., Zuo, B. (2015) Evaluation of Vehicle Detection Technologies for Applications in Georgia, Kennesaw State University, Georgia Pavement and Traffic Research Center, Report number FHWA-GA-10-1326., Final report.
- [60] Zadeh, L.A. (1965) Fuzzy sets, Infomation Control 8, 338-353.

3. Polazne hipoteze

Doktorska disertacija ima četiri polazne hipoteze koje bi trebalo dokazati istraživanjima:

- U postojećoj praksi ne postoji jedna senzorska tehnologija koja je optimalna po više postavljenih kriterijuma. Definisanjem odgovarajućeg opšteg metodološkog okvira mogao bi se formirati sistem za podršku odlučivanju za evaluaciju i izbor senzorske tehnologije za prikupljanje podataka o saobraćajnom toku.
- Odabir lokacije senzora je veoma značajan problem s obzirom da je u pitanju strateška odluka koja iziskuje velika ulaganja i prilagođavanja postojećim tehničko-eksploatacionim karakteristikama saobraćajne deonice, urbanističkim, pravnim, ekonomskim i organizacionim ograničenjima.
- Broj i raspored senzora na transportnim mrežama utiče na grešku u proceni vremena putovanja na deonici puta. Određivanjem optimalnih lokacija senzora na mreži moguće je smanjiti grešku u proceni vremena putovanja.
- Metaheuristika Optimizacija kolonijom pčela može se uspešno koristiti kao univerzalni alat za rešavanje čitavog niza saobraćajnih i drugih kombinatornih problema.

4. Naučne metode istraživanja

Tokom istraživanja i rešavanja postavljenih problema koristiće se više naučnih metoda. U svrhu prikupljanja podataka o osobinama senzora koristiće se metoda kompilacije iz više različitih

izvora (monografije, knjige, stručni i naučni radovi, izveštaji sa projekata i dr.). Za dobijanje informacija o važnostima pojedinačnih kriterijuma koristiće se metoda ankete.

Za formulisanje i rešavanje oba problema: evaluacije i izbora vrste senzorske tehnologije i lociranja senzora na transportnim mrežama koristiće se metode operacionih istraživanja, kao što su Višeatributivno odlučivanje, Analitičko-hijerarhijski proces, BOCR (Benefit, Opportunity, Cost, Risk) modeli, Fazi logika, metaheuristika Optimizacija kolonijom pčela.

U cilju testiranja problema evaluacije i izbora senzorske tehnologije, za ispitivanje konzistentnosti ocena dobijenih od anketiranih stručnjaka koristiće se program SuperDecisions. Za potrebe testiranja i implementacije predložene metode za određivanje optimalnih lokacija senzora biće razvijeni programski kodovi u programskom jeziku Java (editor NetBeans 8.2).

5. Očekivani naučni doprinos

Očekivani rezultati predloženog istraživanja su razvoj matematičkih modela, algoritama i metoda kojima se mogu rešavati problemi koji su povezani sa efikasnim prikupljanjem parametara o saobraćajnom toku pomoću senzora na transportnim mrežama. U skladu sa definisanim predmetom istraživanja i postavljenim ciljevima očekuju se sledeći naučni doprinosi:

- Razvoj originalnog metodološkog okvira za problem evaluacije i izbora senzorske tehnologije za potrebe prikupljanja podataka o saobraćajnom toku.
- Razvoj modela za problem određivanja optimalnih lokacija senzora na mreži puteva i testiranje modela primenom metaheuristike Optimizacija kolonijom pčela na realnim podacima prikupljenim na deonici dvotračnog puta u Republici Srbiji.
- Analiza uticaja broja i lokacija senzora na grešku u proceni vremena putovanja na transportnim mrežama.

Poseban doprinos bi predstavljali dobri rezultati dobijeni primenom Optimizacije kolonijom pčela na rešavanje *NP* teškog problema, a za prihvatljivo vreme rada računara. Ostvareni naučni rezultati će biti saopšteni na domaćim i međunarodnim naučnim skupovima i publikovani u domaćim i međunarodnim naučnim časopisima sa SCI liste.

Pored naučnih doprinosa, očekuje se da će rad imati i praktičnu vrednost kroz razvoj i implementaciju pomenute metodologije, ali i primenjene metaheuristike. Veliki broj testiranih numeričkih primera iz saobraćajne inženjerske prakse nesumnjivo će pokazati primenljivost predložene metaheuristike i mogućnost njene dalje implementacije.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Planirana istraživanja u okviru doktorske disertacije biće realizovana u skladu sa definisanim predmetom, postavljenim hipotezama, ciljevima i očekivanim naučnim doprinosima doktorske disertacije.

Faza 1 – Pregled relevantne naučne literature. Pregled naučnih radova u kojima su opisane i klasifikovane raznorodne senzorske tehnologije. Analiza naučnih radova u kojima je dat kritički pregled dosadašnjih rezultata koji se odnose na lokacijsku analizu, sa posebnim osvrtom na problem lociranja senzora na transportnim mrežama.

Faza 2 – Opis saobraćajnih pokazatelja koji se prikupljaju putem sistema detekcije. Klasifikacija i opis senzorskih tehnologija za prikupljanje podataka o saobraćajnom toku.

Faza 3 – Opis problema evaluacije i izbora senzorske tehnologije za prikupljanje podataka o saobraćajnom toku, opis različitih pristupa rešavanju ovog problema, uz razmatranje prednosti i nedostataka pojedinih pristupa.

Faza 4 – Definisanje relevantnih kriterijuma, alternativa, interesnih grupa, kao i njihove važnosti za donosioca odluke. Formulisanje metodološkog okvira za problem evaluacije i izbora senzorske tehnologije.

Faza 5 – Primena razvijenog metodološkog okvira na podacima prikupljenim u Republici Srbiji.

Faza 6 – Opis problema lociranja senzora za prikupljanje podataka o saobraćajnom toku na transportnim mrežama. Formiranje matematičkog modela za problem lociranja senzora na transportnim mrežama.

Faza 7 – Prikupljanje realnih podataka i njihova obrada.

Faza 8 – Rešavanje matematičkog modela i definisanje metaheurističke procedure. Analiza dobijenih rešenja.

Faza 9 – Zaključna razmatranja. Verifikacija postavljenih hipoteza. Definisanje pravaca budućih istraživanja.

Imajući u vidu predmet, cilj i očekivane rezultate doktorske disertacije, u nastavku je data okvirna struktura disertacije:

1. Uvodna razmatranja – obrazloženje motiva za izbor teme, predmet istraživanja, značaj istraživanja i ciljevi istraživanja.
2. Pregled literature od značaja - kritički pregled dosadašnjih rezultata koji se odnose na razmatrane probleme.

3. Definisanje najznačajnijih saobraćajnih pokazatelja - klasifikacija i opis senzorskih tehnologija za prikupljanje podataka o saobraćajnom toku.
4. Metodologija koja će biti primenjena u disertaciji - detaljan opis grupnog donošenja odluke – Analitičko-hijerarhijskog procesa, BOCR modela, Fazi logike, Fazi analitičko-hijerarhijskog procesa, kao i metaheuristike Optimizacija kolonijom pčela.
5. Rešavanje problema izbora senzorske tehnologije za merenje parametara saobraćajnog toka - formiranje metodološkog okvira, primena Fazi analitičko-hijerarhijskog procesa, prikupljanje i obrada realnih podataka, implementacija razvijenog metodološkog okvira.
6. Rešavanje problema lociranja senzora za merenje parametara saobraćajnog toka – definisanje matematičkog modela, primena metaheuristike Optimizacija kolonijom pčela, prikupljanje i obrada realnih podataka, numerički primer.
7. Zaključna razmatranja – najvažniji zaključci, doprinosi doktorske disertacije i pravci budućih istraživanja.

7. Zaključak i predlog

Na osnovu uvida u prijavu teme doktorske disertacije, kao i na osnovu uspešno odbranjenog Predloga istraživanja u okviru doktorske disertacije, Komisija zaključuje da je tema koju predlaže kandidatkinja naučno zasnovana i u naučnom i stručnom smislu značajna i aktuelna, kao i da se daljim ozbiljnim istraživanjima mogu ostvariti očekivani naučni doprinosi koje je kandidatkinja navela u prijavi.

Na osnovu podataka o dosadašnjem naučno-istraživačkom iskustvu i na osnovu ostvarenih rezultata u toku Doktorskih akademskih studija, Komisija zaključuje da je kandidatkinja, Ivana Jovanović, diplomirani inženjer saobraćaja, podobna za izradu doktorske disertacije pod nazivom: „Izbor i lokacija senzora na transportnim mrežama primenom metoda operacionih istraživanja“.

Predložena tema doktorske disertacije pripada užoj naučnoj oblasti „Operaciona istraživanja u saobraćaju“ za koju je matičan Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet.

Komisija sa zadovoljstvom predlaže Nastavno-naučnom veću Saobraćajnog fakulteta i Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu da prihvate temu i kandidatkinji odobre izradu doktorske disertacije. Komisija predlaže da se za mentora odredi prof. dr Milica Šelmić, vanredni profesor Univerziteta u Beogradu, Saobraćajnog fakulteta.

U Beogradu, 25.10.2018. godine

ČLANOVI KOMISIJE:

Prof. dr Milica Šelmić,
vanredni profesor Univerziteta u Beogradu,
Saobraćajnog fakulteta

Prof. dr Jovan Popović,
redovni profesor Univerziteta u Beogradu,
Saobraćajnog fakulteta

Doc. dr Miloš Nikolić,
docent Univerziteta u Beogradu, Saobraćajnog fakulteta

Doc. dr Marijo Vidas,
docent Univerziteta u Beogradu, Saobraćajnog fakulteta

Prof. dr Dragana Makajić Nikolić,
vanredni profesor Univerziteta u Beogradu, Fakulteta
organizacionih nauka